

# **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PUERTOS MÁS IMPORTANTES DE ESPAÑA USANDO BOOTSTRAPPED DEA**

**Antonio Gil Ropero**

Grupo de Investigación de Modelado Inteligente de Sistemas. Departamento de Ingeniería Industrial y Civil. Universidad de Cádiz.

**Ana Gema Gil García**

Escuela Politécnica Superior de Algeciras Universidad de Cádiz.

**María del Mar Cerbán Jiménez**

Grupo de Investigación de Transporte e innovación Económica. Departamento de Economía General. Universidad de Cádiz.

**Ignacio J. Turias Domínguez**

Grupo de Investigación de Modelado Inteligente de Sistemas. Departamento de Ingeniería Informática. Universidad de Cádiz.

## **RESUMEN**

El objetivo del presente trabajo de investigación es estudiar los valores de eficiencia de una muestra de los doce principales puertos de contenedores del mundo junto con los puertos de Bahía de Algeciras, Valencia, Barcelona y Tanger Med (Lloyd's List, 2018) durante el periodo 2014 – 2018. Es importante realizar el análisis de comparación de estos cuatro puertos frente a los más importantes del mundo para ver el comportamiento de su eficiencia cuando forman parte de una muestra compuesta por el conjunto de las principales terminales de contenedores. En este estudio se aplica en primer lugar el Análisis Envoltante de Datos (DEA) con escalas retorno constante (CCR) y variable (BCC), con orientación input. En una segunda etapa aplicamos la metodología Bootstrap con el propósito de obtener la eficiencia corregida, además de los correspondientes intervalos de confianza para cada una de dichas eficiencias.

Los factores clave de competitividad portuaria, y que permiten a un puerto ser más eficiente, dependen del tipo de tráfico. Las variables elegidas, tanto inputs como output, dependen de la operativa y de ahí que las variables seleccionadas, de los puertos que conforman la muestra de nuestro análisis, influyen directamente en dicha operatividad.

Tras un riguroso y amplio análisis sobre las variables a emplear en estudios de eficiencia portuaria de los numerosos investigadores, gran número de autores han coincidido en el uso de la longitud de los muelles, sobre todo de los de calado superior a catorce metros, del número de grúas de muelle, y de la superficie de la terminal, como inputs.

Del mismo modo, muchos estudios optan por analizar dicha eficiencia tomando como dato de salida (outputs) el número de TEUs (Twenty Equivalent Units) manipulados.

Los puertos están en continuo avance, intentado automatizar las terminales que les sean posibles para así poder incrementar la eficiencia y ser más productivos, con el fin de mantenerse en el ranking de los principales puertos de contenedores del mundo. Este estudio tiene como objetivo analizar la eficiencia de los puertos seleccionados y comprobar en qué medida su eficiencia productiva corregida ha ido evolucionando a lo largo del periodo de los últimos 5 años.

Los resultados muestran que entre los puertos españoles el que presenta mayor eficiencia en los dos modelos estudiados es el puerto de Algeciras, que pese a tener menor volumen de equipamiento y capacidad que el puerto de Valencia. Otro puerto que presenta unos importantes valores de eficiencia es el puerto de Tánger, con resultados muy próximos a los puertos de Algeciras y Valencia. Tanger-Med está aumentando su número de contenedores manipulados progresivamente y en los próximos años se prevé que con las nuevas terminales dicho tráfico sea bastante más elevado, pudiendo ser una fuerte competencia para el puerto algecireño, debido también a la posición estratégica que presenta.

## **1. INTRODUCCIÓN**

El transporte marítimo mundial ha ido experimentando en los últimos años un gran crecimiento. Desde 1985 viene aumentando de forma ininterrumpida y en el caso concreto del comercio marítimo en contenedor el desarrollo ha sido muy importante, debido también al gran incremento del tamaño de los buques, llegando a ser como uno de los pilares de la globalización.

Los puertos están adquiriendo cada vez más importancia en todo el mundo, ya que son centros de desarrollo económico y social y constituyen puntos de conexión esenciales entre el transporte marítimo y el terrestre. Debido a esto, la eficiencia de las actividades que se llevan a cabo en todo el recinto portuario es un factor de gran relevancia, para que la mercancía que es transportada por vía marítima pueda llegar a los distintos puntos finales de consumo, intentando que sea al menor coste y tiempo posible.

En cuanto al rendimiento de los puertos de contenedores, se ha ido incrementando continuamente desde los últimos diez años, aunque desde 2014 de manera más lenta que antes. En ese año, el transporte mundial de contenedores aumentó un 5,3 %, mientras que en 2015 tuvo un aumento menor, de un 2,3 %. Sin embargo, teniendo en cuenta algunos datos, se estima que en unos 30 años el volumen de transporte internacional pueda aumentar hasta cuatro veces más.

Después de que en los años 2015 y 2016 se produjeran aumentos moderados de volumen en los principales puertos de contenedores del mundo, en 2017 se registró un firme regreso a la trayectoria del crecimiento, tal y como lo muestra la edición de 2018 de la “Lloyd’s List’s One Hundred Container Ports”. Las instalaciones portuarias incrementaron el manejo de contenedores en 2017, representando un crecimiento del volumen de casi el 6% con respecto al año anterior, en el que fueron manipulados unos 700 millones de TEUs en los puertos de todo el mundo.

Con respecto al continente con la economía mejor conectada de la red marítima global en 2016 fue Asia. El dominio chino continúa teniendo un papel importante, ya que gran parte de sus puertos se siguen manteniendo entre los principales del mundo. En Europa destacan Rotterdam, Amberes y Hamburgo, encontrándose dentro de los veinte primeros puertos del mundo. Con respecto a España, los puertos de Algeciras y Valencia compiten por el primer puesto, estando en el listado de los 40 puertos más importantes del mundo. Con respecto al continente africano, el puerto que tiene mayor relevancia es el de Tánger.

El crecimiento económico mundial, que en 2016 registró la tasa más baja desde la crisis financiera mundial con un 3,2%, tuvo bastante fuerza en el año 2017. Hubo una reactivación de la inversión, del comercio internacional y de la producción industrial que fortaleció la recuperación, añadiéndose además la mejora de la confianza de las empresas y consumidores.

En el año 2017 los puertos asiáticos continuaban siendo los más destacados, ya que sufrieron en ese año un notable aumento. El puerto de Shanghai (China) es actualmente el puerto más activo del mundo en relación al tráfico de contenedores. El puerto de Singapur está en segundo lugar, seguido del puerto de Shenzhen.

Con respecto al continente europeo el puerto más importante es el de Rotterdam, debido al gran volumen de contenedores que manipula, encontrándose en el listado de los 12 puertos más importantes del mundo.

Haciendo referencia al sistema portuario español en el año 2017, se han movido 15.992.613 TEUs, un 5,07% más que en 2016.

En el mundo existen entre 6000 y 7000 puertos, aunque solo unos pocos centenares tienen realmente una importancia en un contexto global, concentrando la mayor parte del tráfico marítimo. El objetivo del presente trabajo es estudiar la eficiencia técnica de un número determinado de puertos, los que manipulan las mayores cantidades de contenedores, junto con los puertos de Algeciras, Valencia, Barcelona y Tánger, empleando el Análisis Envoltante de Datos (DEA).

El método de Análisis Envolvente de Datos (DEA) es una técnica de programación matemática, no paramétrica y determinista, que permite establecer la estimación de fronteras de producción y evaluación de la eficiencia de un conjunto de muestras de unidades de producción o DMUs. En este tipo de análisis se calcula la eficiencia relativa para cada DMU comparando sus inputs y outputs (grupo de datos de entradas-salidas) respecto a todas las demás DMUs.

Dentro de esta metodología se puede diferenciar dos modelos básicos, como son el modelo DEA-CCR (Charnes, Cooper y Rhodes) y el modelo DEA-BCC (Banker, Charnes y Cooper), que son los modelos que se han empleado concretamente para este estudio.

Para el análisis de la eficiencia se han seleccionado los 12 puertos más importantes del mundo en relación con el tráfico de contenedores anualmente, como se ha dicho anteriormente, junto con los tres puertos más importantes de España, y con el puerto de Tánger. A continuación, se puede ver la clasificación de los puertos más importantes de los años 2017-2018 con su cantidad de TEUs, más los cuatro puertos citados (Tabla 1):

	<b>Puerto</b>	<b>TEUs 2017</b>	<b>TEUs 2018</b>	<b>Crecimiento 2017 – 2018</b>
<b>1</b>	Shanghai	40.233.000	42,010,200	+4.4%
<b>2</b>	Singapore	33.666.600	36,599,300	+8.9%
<b>3</b>	Shenzhen	25.208.700	25,740,000	+2.1%
<b>4</b>	Ningbo & Zhoushan	24.607.000	26,351,000	+7.1%
<b>5</b>	Hong Kong	20.770.000	19,596,000	-5.7%
<b>6</b>	Busan	20.493.475	21,663,000	+5.7%
<b>7</b>	Guangzhou	20.370.000	21,922,100	+7.6%
<b>8</b>	Qingdao	18.262.000	19,315,400	+5.8%
<b>9</b>	Dubai Port	15.368.000	14,954,000	-2.7%
<b>10</b>	Tianjin	15.040.000	15,972,000	+6.2%
<b>11</b>	Rotterdam	13.734.334	14,512,661	+5.7%
<b>12</b>	Port Klang	11.978.466	12,316,003	+2.8%
<b>29</b>	Valencia	4.779.749	5,128,855	+7.3%
<b>34</b>	Algeciras	4.389.836	4,773,079	+8.7%
<b>46</b>	Tánger Med	3.312.409	3,472,451	+4.8%
<b>55</b>	Barcelona	2.972.795	3,422,978	+15.1%

**Tabla 1: Posición de los puertos en Lloyd's List 2017-2018**

**Fuente: Lloyd's List 2021**



**Figura 1. Puertos seleccionados para la elaboración del estudio.**

**Fuente: Elaboración propia.**

Observando el gran número de contenedores que se manipulan en estos principales puertos y habiendo hecho referencia al volumen manipulado en el año anterior en todo el mundo, se entiende que el transporte marítimo por contenedor sea cada vez más importante y una de las principales vías para el desarrollo económico tanto a nivel regional, como nacional e internacional.

## 2. ESTADO DEL ARTE

La eficiencia portuaria es un tema que se ha ido estudiando a lo largo de los años. La metodología del Análisis Envolvente de Datos (DEA), ha sido tradicionalmente utilizada para la estimación de la eficiencia relativa de un conjunto de unidades productivas por numerosos autores y, en concreto, se ha empleado para estudiar diferentes aspectos de la actividad portuaria.

Farrell (1957) es considerado como el precursor en la medida de la eficiencia técnica, quien hace referencia a tres definiciones de eficiencia, tales como eficiencia técnica, eficiencia en precios y eficiencia global, que se construyen bajo el supuesto de una función de producción eficiente.

La tesis doctoral de Rhodes (1978), que se basó en el trabajo de Farrell (1957), plantea una programación matemática para la construcción de una frontera eficiente, para medir la eficiencia de las unidades evaluadas.

En un principio se contrastan solo entidades comparables, ya que el índice de eficiencia obtenido es relativo, por lo que se debe tener cuidado al definir la unidad de análisis (DMU) y las entradas que a través del proceso se transforman en salidas.

Hay una generación de estudios basada en medidas formales de eficiencia, que tiene como fuente el trabajo de Chang (1978), que se considera como el principio en la estimación de las funciones de producción en el sector portuario. Sin embargo, en los años siguientes no se desarrolla esta línea de investigación y destaca el uso de indicadores.

Dentro de la metodología no paramétrica DEA, los modelos más utilizados para su aplicación son los propuestos por Banker et al. (1984), que admite retornos variables de escala (BCC) y por Charnes et al. (1978), que asume retornos constantes de escala (CCR). Martínez-Budría et al. (1999) y Pestana (2003) recurren al modelo BCC para las economías de escala y, por otro lado, Bonilla et al. (2002) y Tongzon (2001) utilizan el CCR. Ambos modelos son empleados y comparados por Cullinane et al. (2004), Park y De (2004), Pestana y Athanasiou (2004) y Cullinane et al. (2005).

A mediados de la década de los 90 la literatura sobre eficiencia, que ya se había aplicado a numerosas industrias, se introduce en el sector portuario. Los diferentes enfoques indican un desacuerdo para establecer el método que mejor pueda analizar este sector.

Cullinane et al (2002) analizan la estructura administrativa y de propiedad de las terminales de los 15 principales puertos de contenedores de Asia. Otro estudio que se centra en la relación que existe entre tipo de propiedad y eficiencia es el de Liu (1995), en su análisis se refiere a los puertos británicos, ya que en ellos coexisten varios tipos de propiedad.

Tongzon y Heng (2005) investigan si la privatización portuaria mejora la posición competitiva de los puertos. Para ello miden la eficiencia de terminales portuarias internacionales y estudian la relación que existe entre la eficiencia medida y la estructura de propiedad de las terminales. Cullinane y Song (2003) también analizan la relación entre la estructura de propiedad y eficiencia, siendo este objetivo compartido por Cullinane et al. (2005-a), pero con una muestra internacional de terminales portuarias.

Bichou (2012) realizó un análisis de eficiencia de 420 terminales de contenedores entre los años 2004-2010 a partir de los modelos DEA-CCR y DEA-BCC y, además, analizó la eficiencia de 10 terminales de contenedores con ambos modelos durante el período 2002-2008.

Notteboom et al. (2000) tenía como finalidad analizar la eficiencia de las terminales de contenedores más importantes de Europa, comparándolas con las cuatro terminales más grandes asiáticas.

Una vez tenidos los resultados, investigan los efectos que tienen algunos factores pudiendo afectar a la eficiencia de las operaciones (terminales grandes-pequeñas; puertos hub-feeder; privadas-públicas; norte de Europa-sur europeo).

El objetivo de Pestana (2003) es estudiar si los incentivos que se han introducido por la regulación portuguesa han aumentado la eficiencia. Haciendo uso del análisis DEA, se comprueba la eficiencia de cinco autoridades portuarias portuguesas (1999-2000). A partir de esto, Pestana y Athanassiou (2004) establecen un listado de autoridades portuguesas y griegas, cuyo objetivo es la detección de puertos que son capaces de ofrecer mejoras en su rendimiento dentro de los objetivos de la política portuaria europea.

Martín (2002) centra su estudio en las consecuencias que las reformas del sistema portuario español han tenido sobre la eficiencia y productividad. Para esta evaluación aplica un DEA a las 27 autoridades portuarias españolas (1990-1999).

González (2004) hace un análisis del impacto que tienen algunos factores en el entorno en que operan las principales autoridades portuarias españolas respecto al tráfico de contenedores.

El sistema portuario español es objeto de estudio de otros trabajos como Coto-Millán et al. (2000) que hacen un análisis de la eficiencia económica de las 27 autoridades portuarias en los años 1985-1989 a partir de una frontera de costes.

Martínez-Budría et al. (1999) emplean un DEA a 26 autoridades portuarias (1993-1997), con el fin de analizar su eficiencia. Hacen una comparación separando las autoridades portuarias en cuatro categorías, atendiendo a su dificultad. Bonilla et al. (2002) hacen un estudio con la misma finalidad, con la diferencia que son 23 autoridades portuarias durante los años 1995-1998.

El propósito de Tongzon (2001) es comparar la eficiencia de puertos internacionales de contenedores. Aplica un DEA para obtener los índices de eficiencia de cuatro puertos australianos, que compara con otros 12 puertos internacionales.

Roll y Hayuth (1993) intentan verificar que este método es útil para medir la eficiencia portuaria y la utilidad de los índices de eficiencia con el objetivo de mejorarla y así controlar la actividad de los operadores.

Como algunos estudios más recientes pueden destacar el de Gil Ropero et al. (2015) donde se hace un análisis de la eficiencia de 13 puertos españoles con mayor tráfico de contenedores aplicando DEA durante el período 2008-2011.

Camarero et al. (2016) que, a partir de una serie de indicadores caracterizadores de la actividad portuaria, clasifica los puertos españoles, o Ruiz Aguilar et al. (2016) en cuyo trabajo estudia predecir situaciones de congestión en el tráfico de mercancías, aplicándolo al Puerto de Algeciras.

En base a esto, se puede comprobar que la metodología DEA ha sido empleada por muchos autores a lo largo de los años. En sus estudios relacionados con el sector portuario, aplican este método para poder obtener la eficiencia y ver así la productividad de los puertos o terminales portuarias.

En la amplia revisión bibliográfica enfocada a los artículos que aplican la metodología Bootstrap, Barros et al. analizaron la eficiencia de una muestra representativa de los puertos africanos, durante el período 2004-2006, utilizando un enfoque DEA Bootstrap. Barros et al. (2012) en su estudio nos apuntan que en cuanto al análisis de la productividad y eficiencia portuaria en Brasil entre los años 2004 al 2010, se han utilizados dos técnicas DEA: paramétricas y no paramétricas, obteniendo como resultados que los puertos tuvieron una menor productividad en la eficiencia y reducción de los cambios tecnológicos. En este análisis, nos mencionan que DEA ha identificado las unidades ineficientes, tal como lejanía del puerto, falta de inversión y prácticas de gestión inadecuadas. Indican también que los puertos brasileños, que necesitan mejorar su producción, deberían enfocarse en la mejora de los procedimientos de inversión y nuevos métodos que aumenten el cambio tecnológico. Munisamy y Danxia (2013) analizan a través de la técnica Bootstrap la eficiencia de una manera más fiable a 69 principales puertos asiáticos. Se logró determinar que el 48% de los puertos de contenedores podrían ser considerados para una expansión con acuerdos de cooperación, mientras que el 35% de los puertos deberían considerar la mejora de sus eficiencias por medio de la mejora de sus operaciones.

Uno de los últimos artículos publicados sobre el análisis Bootstrap se ha realizado por Nguyen et al. (2015) que evaluaron la eficiencia de los 43 puertos más grandes de Vietnam. El análisis solucionó la sobreestimación de los índices de eficiencia generados por el DEA tradicional por medio de la técnica Bootstrap, pero a su vez conservando las ventajas del DEA. Wanke y Barros (2006) analizaron la eficiencia de 27 puertos principales de Brasil entre 2007 y 2011, a través de la técnica Bootstrap, utilizando varias estimaciones de DEA. Los resultados arrojaron un grado de deficiencia en la capacidad de dichos puertos, con respecto a las tareas que realizan, pero a su vez demostró tres impactos positivos: a) infraestructura de conectividad en los niveles de eficiencia de escala; b) la administración privada en los niveles de eficiencia de gestión; c) los niveles de eficiencia técnica más altas en los costes de manipulación y gestión en los tiempos de espera. Y más recientemente, Gil Roperó et al. (2018) propusieron un enfoque basado en DEA Bootstrap para evaluar la eficiencia de 16 puertos de la Península Ibérica (España y Portugal).

Este artículo es uno de los primeros estudios en aplicar Bootstrap para medir la eficiencia portuaria en el contexto del caso de España y Portugal. El documento proporciona información útil sobre la aplicación de un DEA Bootstrap como herramienta de modelado y como apoyo para ayudar a la toma de decisiones en la medición de la eficiencia del puerto.

### 3. OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es la aplicación del Análisis Envolvente de Datos (DEA), que propone la resolución de un programa lineal para cada unidad productiva o DMU observada. Optimiza cada observación individual con el fin de ver la eficiencia de cada puerto estudiado a partir de los datos que se han introducido en el análisis, como son una serie de variables de entrada o inputs y una o varias variables de salida u outputs, y así poder comprobar cuáles son los puertos más eficientes y establecer una comparación entre unos y otros.

En el caso de este estudio, se han establecido como variables de entrada o inputs las siguientes:

- La longitud de los muelles expresada en metros lineales, que es uno de los factores más representativos que tiene un organismo portuario, teniendo como condición en que el calado de los muelles sea mayor de 14 metros.
- El número de grúas muelles que tiene cada entidad portuaria a estudiar, siendo una variable de entrada importante a tener en cuenta.
- La superficie terrestre expresada en metros cuadrados, que viene relacionada con la capacidad que tiene cada terminal portuaria.

Y en cuanto a las variables de salida u outputs, se han considerado el número de contenedores anuales del período 2014-2016 que son manipulados en cada uno de los puertos del estudio.

### 4. METODOLOGÍA

La eficiencia es uno de los conceptos más importantes en la medición del desempeño. La eficiencia de un puerto, en el desarrollo de su actividad, está relacionada con la utilización de los recursos disponibles. De este modo, desde un punto de vista productivo, la eficiencia trata de describir el proceso de producción que emplea de forma óptima sus recursos, según la tecnología existente. Esta eficiencia en producción se la conoce como eficiencia técnica.

Para la medición de la eficiencia destacan dos metodologías como son del Análisis Envolvente de Datos (DEA) y del Análisis de frontera estocástica (SFA).

El modelo SFA fue desarrollado por Aigner, Lovell y Schmidt (1977) y Meeusen y Van Den Broeck (1977), quienes exponen el concepto de frontera estocástica, a partir de la que se fundamenta la metodología del estudio sobre eficiencia, en la que se toma como origen la función de comportamiento eficiente, siendo de producción, de costos o de beneficios, según el caso a estudiar.

La metodología DEA, que es la que se ha optado mejor para utilizar en este análisis, se trata de una técnica de programación matemática, no paramétrica, basada en el trabajo seminal de Farrell y que fue propuesta formalmente por Charnes et al. (1978) y se ha seguido empleando a lo largo de los años. Esta metodología permite hacer una evaluación de la eficiencia de un grupo concreto de elementos (puertos, en el caso de este trabajo) a partir de la identificación de una frontera que incluye las que han obtenido el resultado más eficiente. Esta frontera eficiente revela una tecnología de referencia que se elabora a partir de los inputs y outputs de las observaciones de la muestra.

El conjunto de elementos mencionados anteriormente se conoce como unidades de toma de decisión (DMU: Decision Making Unit), utilizándose para hacer la evaluación de entradas y salidas para cada una de las DMUs que se consideren. Estas deben ser comparables, es decir, tanto las entradas como las salidas deben poder medirse en unidades homogéneas para todas ellas. La eficiencia de cualquier DMU siempre será menor o igual que la unidad, siendo aquella que tenga el valor de la eficiencia igual a uno la que se considera eficiente.

Aunque existen múltiples modelos DEA, estos se pueden dividir principalmente en dos alternativas como son la de retornos constantes a escala (DEA-CCR) y de retorno de escala variable (DEA-BCC). Los primeros miden la eficiencia puramente técnica y la ineficiencia de escala, mientras que los segundos solo evalúan la eficiencia puramente técnica. A su vez, cada uno de estos modelos puede tener orientación de entrada (input) o de salida (output).

#### **4.1 Análisis Envolvente de Datos (DEA)**

La utilización de la metodología no paramétrica DEA permite cuantificar una medida de eficiencia individual para cada una de las observaciones de la muestra a partir de su distancia respecto a la frontera de eficiencia. Esta frontera refleja una tecnología de referencia que se elabora a partir de los inputs y outputs de las observaciones de la muestra.

En el modelo inicial de Charnes et al. (1978), la medida de eficiencia es la razón entre el sumatorio ponderado de entradas y salidas de cada DMU, con la restricción de que este índice debe ser positivo y menor que la unidad.

En cuanto al modelo DEA-CCR fue el primer modelo DEA desarrollado y recibe el nombre por los que lo llevaron a cabo que fueron Charnes, Cooper y Rhodes (1978).

También se le conoce como modelo CRS o de rendimiento de escala constante.

Se emplea cuando las DMU a evaluar presentan rendimientos constantes a escala tanto para las entradas como para las salidas.

La fórmula orientada a las entradas se puede formular así:

$$\text{Max} \quad h_0 = \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} \quad (1)$$

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1 ; \quad (2)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0 \quad \forall j \quad (3)$$

$$u_r; v_i \geq \varepsilon \quad \forall r, i \quad (4)$$

Siendo:

$$j = 1, 2, 3, \dots, n$$

$x_{ij}$  ( $x_{ij} \geq 0$ ) como la cantidad de entrada  $i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, m$ ), consumida por la  $j$ -ésima DMU.

$y_{rj}$  ( $y_{rj} \geq 0$ ) como la cantidad de salida  $r$  ( $r = 1, 2, 3, \dots, s$ ), consumida por la  $j$ -ésima DMU.

$x_{i0}$  la cantidad de entrada consumida por la DMU<sub>0</sub>.

$y_{r0}$  la cantidad de salida producida por la DMU<sub>0</sub>.

Unidad evaluada, *Unidad*o.

$u_r$  y ( $r = 1, 2, 3, \dots, s$ ),  $v_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, m$ ) representan los pesos o multiplicadores de salidas y entradas.

La siguiente formulación está orientada a la entrada, una DMU se considera eficiente si cumple dos condiciones: que el valor de  $\theta_0$  sea igual a uno y que las variables  $S^-$  y  $S^+$  sean cero, en caso contrario la DMU se considera ineficiente.

$$\text{Min} \quad \theta_0 - \varepsilon (\sum_{r=1}^s S_r^+ + \sum_{i=1}^m S_i^-) \quad (5)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + S_i^- = \theta_0 x_{i0}; \quad \forall i \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - S_r^+ = y_{r0}; \quad \forall r \quad (7)$$

$$\lambda_j, S_i^-, S_r^+ \geq 0; \quad \forall j \quad (8)$$

Donde:

- $\theta$  es la eficiencia técnica de la DMU<sub>0</sub>
- $\lambda$  es el vector de intensidades (nx1)
- $S^-$  es el vector de holgura de las entradas
- $S^+$  es el vector de holgura de las salidas

Para la formulación orientada a las salidas se plantea matemáticamente de la siguiente forma:

$$\text{Max } \gamma_0 + \varepsilon(\sum_{r=1}^s S_r^+ + \sum_{i=1}^m S_i^-) \quad (9)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + S_i^- = x_{i0}; \quad \forall i \quad (10)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - S_r^+ = \gamma_0 y_{r0}; \quad \forall r \quad (11)$$

$$\lambda_j, S_i^-, S_r^+ \geq 0; \quad \forall j \quad (12)$$

El segundo modelo destacado es el DEA-BCC, que fue desarrollado por Banker, Charnes y Cooper (1984) y lo que añadió a la metodología anteriormente explicada fue la inclusión de retornos variables de escala.

Para considerar esta variación, se incluye una restricción adicional al modelo DEA-CCR que permita que las DMU con rendimientos crecientes, constantes o decrecientes, puedan aparecer en la frontera de eficiencia por ser consideradas técnicamente eficientes. La superficie envolvente se considera representada por una combinación lineal convexa, producto del conjunto de observaciones de las DMU seleccionadas.

Este modelo tiene como origen la siguiente ecuación, que se le añade como restricción a la formulación del modelo DEA-CCR, y el conjunto da lugar a la formulación completa del modelo DEA-BCC:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad (13)$$

#### 4.2 Análisis Bootstrap

El Bootstrap es una herramienta que aporta estimaciones del error estadístico, introducida por Efron (1977), que ofrece una aproximación para el contraste de hipótesis en el modelo DEA. De hecho, es la única aproximación que existe con múltiples inputs y outputs.



De la misma manera es adecuado elaborar un estimador de  $\theta(X_0, Y_0)$  mejorado del sesgo, calculado. Así mismo parece razonable construir un estimador de  $\theta(X_0, Y_0)$  corregido del sesgo, calculado.

$$\widehat{\theta}^{\wedge}(X_0, Y_0) = \widehat{\theta}(X_0, Y_0) - \widehat{SESGO} B [\widehat{\theta}(X_0, Y_0)] = 2\widehat{\theta}(X_0, Y_0) - B^{-1} \sum_{b=1}^B [\widehat{\theta}_b^*(X_0, Y_0)]$$

Sin embargo, según Efron y Tibshirani (1993), esta corrección introduce ruido adicional. El error cuadrático medio de  $\widehat{\theta}^{\wedge}(X_0, Y_0)$  puede ser mayor que el de  $\widehat{\theta}(X_0, Y_0)$ .

## 5. DATOS OBTENIDOS

Este trabajo realiza un estudio de los 12 puertos más importantes del mundo junto con los tres puertos más importantes de España (Algeciras, Valencia y Barcelona) y con el puerto de Tánger. Los datos que se han utilizado para el análisis DEA se han obtenido de las diferentes páginas web de los puertos y de las autoridades portuarias respectivas, así como de las terminales que los conforman, atendiendo a los requisitos expuestos en el apartado 3 *conclusiones* del presente trabajo. Para los datos respecto al volumen de contenedores de cada uno de los puertos se han utilizado las páginas web del puerto de Rotterdam y Lloyd's List, como se podrá ver en el apartado *Referencias*.

Como ya se ha mencionado, en los datos de entrada o inputs se introducen el número de grúas, la superficie de la terminal y los metros lineales, y como datos de salida u outputs se toma el número de TEUs anuales de cada uno de los puertos.

Estos datos se pueden apreciar a continuación (Tabla 2):

DMUs	Nº Grúas	S. Terminal (m2)	M Muelle
Shanghai	156	6.730.000	13.000
Singapore	228	7.470.000	19.769
Shenzhen	147	5.800.000	15.809
Hong Kong	99	2.788.500	7.694
Ningbo & Zhoushan	39	1.925.000	3.428
Busan	109	7.012.000	12.023
Guangzhou	79	6.730.000	4.800
Qingdao	37	5.560.000	3.400
Dubai Port	104	5.787.900	10.567
Tianjin	80	5.148.000	8.263
Rotterdam	102	8.340.000	11.300
Port Klang	67	1.870.000	4.900
Algeciras	27	1.043.732	2.591
Barcelona	24	1.594.000	3.000
Valencia	42	2.237.000	4.076
Tánger	16	800.000	1.612
Promedio	84,75	4.427.258	7.889,5
Máximo	228	8.340.000	19.769
Mínimo	16	800.000	1.612
S.D.	57,303	2.585.968,849	5.357,214

**Tabla 2: Datos de los puertos analizados y análisis global.**

**Fuente: Elaboración propia**

En el conjunto de datos de la tabla se puede observar que hay puertos en los que algunos de los valores de inputs son mayores que en otros, sin embargo, el volumen de TEUs es inferior, y al igual sucede en el caso contrario. Esto quiere decir que habrá puertos que, aun teniendo buenos resultados a simple vista, su equipamiento les permite ser aún más eficientes y productivos. Estos casos se podrán ver en el siguiente apartado, detallando el grado de eficiencia de cada uno de ellos.

## 6. RESULTADOS

Una vez introducidos los datos de la tabla del apartado anterior en el programa para realizar el análisis DEA, llamado DEA Frontier y desarrollado por Dr. Joe Zhu, los resultados que se han obtenido de eficiencia para los modelos DEA-CCR y DEA-BCC son los siguientes (Tabla 3):

Puertos (DMUs)	2014		2015		2016		2017		2018		PROMEDIO	
	CCR	BCC	CCR	BCC								
Shanghai	0,5190	<b>1,0000</b>	0,5066	<b>1,0000</b>	0,4926	<b>1,0000</b>	0,4677	<b>1,0000</b>	0,4560	<b>1,0000</b>	0,4884	<b>1,0000</b>
Singapore	0,4487	0,9597	0,3863	0,8463	0,3694	0,8323	0,3526	0,8368	0,3579	0,8712	0,3830	0,8692
Shenzhen	0,4102	0,7460	0,3893	0,7232	0,3691	0,7028	0,3400	0,6775	0,3242	0,6604	0,3666	0,7020
Hong Kong	0,7879	0,9957	<b>1,0000</b>	0,9576	0,9991							
Ningbo & Zhoushan	<b>1,0000</b>	<b>1,0000</b>	0,6726	0,8557	0,3294	0,6429	0,3020	0,6117	0,2661	0,5486	0,5140	0,7318
Busan	0,3437	0,6459	0,3376	0,6457	0,6344	0,8134	0,5749	0,7475	0,5675	0,7428	0,4916	0,7191
Guangzhou	0,6099	0,7647	0,6089	0,7678	0,6247	0,7926	0,5912	0,7588	0,5941	0,7666	0,6058	0,7701
Qingdao	0,8985	0,9198	0,8906	0,9129	0,8805	0,9031	0,7823	0,8036	0,7726	0,7930	0,8449	0,8665
Dubai Port	0,2931	0,5381	0,2834	0,5290	0,2569	0,4890	0,2342	0,4617	0,2128	0,4266	0,2561	0,4889
Tianjin	0,3524	0,5624	0,3334	0,5384	0,3276	0,5363	0,2980	0,5000	0,2955	0,5017	0,3214	0,5278
Rotterdam	0,2418	0,4395	0,2268	0,4191	0,6288	0,6378	0,5746	0,5832	0,5669	0,5752	0,4478	0,5310
Port Klang	0,5793	0,5869	0,5932	0,6014	0,2196	0,4136	0,1861	0,3628	0,1787	0,3541	0,3514	0,4638
Algeciras	0,4319	0,6874	0,4037	0,6650	0,4073	0,6808	0,3583	0,6240	0,3590	0,6113	0,3920	0,6537
Barcelona	0,1582	0,2159	0,1548	0,2157	0,1686	0,2372	0,2899	0,4182	0,2943	0,4188	0,2132	0,3011
Valencia	0,2121	0,2237	0,2077	0,2194	0,2034	0,2150	0,1250	0,1325	0,1224	0,1298	0,1741	0,1841
Tánger	0,3860	<b>1,0000</b>	0,3502	<b>1,0000</b>	0,3351	<b>1,0000</b>	0,2945	<b>1,0000</b>	0,3166	<b>1,0000</b>	0,3365	<b>1,0000</b>

**Tabla 3: Resultados obtenidos del análisis DEA Orientación Output.**

Puertos (DMUs)	BOOTSTRAP BCC Orientación OUTPUT					
	2014	2015	2016	2017	2018	PROMEDIO
Shanghai	0,8815	0,8572	0,8576	0,8542	0,8581	0,8617
Singapore	0,8860	0,7561	0,7425	0,7405	0,7739	0,7798
Shenzhen	0,6910	0,6497	0,6303	0,6022	0,5898	0,6326
Hong Kong	0,9306	0,8015	0,8025	0,7801	0,7830	0,8195
Ningbo & Zhoushan	0,8250	0,7803	0,5979	0,5632	0,5076	0,6548
Busan	0,6179	0,6026	0,7390	0,6676	0,6659	0,6586
Guangzhou	0,7130	0,6984	0,7193	0,6789	0,6885	0,6996
Qingdao	0,8212	0,7912	0,7801	0,6767	0,6680	0,7474
Dubai Port	0,5096	0,4883	0,4499	0,4204	0,3907	0,4518
Tianjin	0,5344	0,4988	0,4958	0,4556	0,4589	0,4887
Rotterdam	0,4245	0,3952	0,5518	0,4939	0,4885	0,4708
Port Klang	0,5246	0,5225	0,3888	0,3375	0,3309	0,4209
Algeciras	0,6111	0,5774	0,5889	0,5317	0,5215	0,5661
Barcelona	0,1923	0,1870	0,2059	0,3534	0,3544	0,2586
Valencia	0,1963	0,1876	0,1842	0,1101	0,1082	0,1573
Tánger	0,7666	0,7613	0,7559	0,7442	0,7359	0,7528

**Tabla 4: Resultados obtenidos del análisis BOOTSTRAP BCC Orientación Output.**

Se puede comprobar que el puerto de Ningbo-Zhoushan es el más eficiente durante los años que se han tomado para el estudio y para los dos modelos analizados. Y concretamente para el modelo BCC, que es el más significativo, también serían eficientes los puertos de Shanghai y Tánger, junto con el de Ningbo-Zhoushan como se ha comentado anteriormente.

El puerto de Hong Kong en el año 2014 es también bastante eficiente, teniendo un valor de eficiencia para el modelo CCR de 0.7879 y para el modelo BCC de 0.9957. En los años siguientes del estudio (2015 y 2016) la eficiencia se ve reducida debido a un descenso del volumen de TEUs de unos 2.000.000, lo que equivale a una diferencia del 10.75 % con respecto al volumen obtenido en 2014.

Con el puerto de Singapur ocurre lo mismo que en el caso del puerto de Hong Kong. Tiene una eficiencia con el modelo CCR de 0.4487 y con el modelo BCC de 0.9597 siendo en este caso bastante buena para el año 2014, pero sufre un notable descenso de la eficiencia en el 2015 ya que hay una bajada del número de TEUs de casi 3.000.000 y se mantiene prácticamente el mismo volumen en el año 2016.

El puerto de Qingdao es otro de los puertos que presenta mejor eficiencia en los dos modelos y para los tres años estudiados, con una eficiencia que va manteniendo entre los valores de 0.88 y 0.91 y el volumen de TEUs va incrementándose del 2014 al 2016.

Centrándonos en el modelo DEA-CCR, los puertos que tienen una eficiencia media, a parte de los puertos de Shanghai y Singapur anteriormente analizados, son el puerto de Shenzhen con 0.4102 en 2014 y se va reduciendo en los dos años siguientes, el puerto de Guangzhou con 0.6099 en 2014, que se mantiene constante en el siguiente año y aumenta en el último, ya que este puerto tiene un aumento en el volumen de TEUs de unos 2.000.000. En el caso de Port Klang tiene una eficiencia en el primer año del estudio de 0.5793 y se produce un aumento progresivo hasta llegar a una eficiencia en el año 2016 de 0.6288, por lo que el aumento en TEUs fue de un 16.89 %. Otro puerto que se puede considerar como eficiencia media es el puerto de Algeciras, el cual se va manteniendo más o menos constante durante los tres años.

Como podemos comprobar los puertos que tienen menos eficiencia en este método son los puertos de Busan, Dubai, Tianjin, Rotterdam, Barcelona, Valencia y Tánger, destacando el puerto de Barcelona como el que tiene la eficiencia más baja en los tres años estudiados.

En cuanto a las eficiencias obtenidas a partir del modelo DEA-BCC se puede comprobar que son mayores que las obtenidas por el anterior modelo, siendo este más significativo.

Los puertos que tienen eficiencia media son Shenzhen, Busan, Guangzhou y Algeciras, estando entre 0.64 y 0.79 a lo largo de los tres años. El puerto que experimenta cambios más relevantes es el puerto de Guangzhou, ya que aumenta su volumen de TEUs en algo más de 2.000.000.

En los puertos con menor eficiencia en este método se encuentran el puerto de Dubai, Tianjin, Rotterdam Port Klang, Barcelona y Valencia, siendo el puerto de Barcelona el que presentar menor eficiencia, como en el caso del modelo CCR.

Como complemento al análisis anterior, y únicamente con el objetivo de clasificar los puertos según sus resultados en los distintos modelos DEA y Bootstrap, se han agrupado según los valores promedios obtenidos de eficiencias.

Se han clasificado los puertos en cuatro categorías (Tabla 5). En primer lugar, aquellos puertos cuyo valor promedio de la eficiencia corregida Bootstrap es igual o superior a 0,90, a los que podemos considerar Puertos Eficientes (I). En segundo lugar, puertos cuya eficiencia está en valores comprendidos entre 0,70 y 0,90, a cuyos puertos denominaremos

Puertos con Eficiencia Media (II). Un tercer grupo es el formado por los puertos con valores de eficiencia entre 0,50 y 0,70, Puertos con Eficiencia Baja (III), y por último, aquellos puertos cuyas eficiencias corregidas son inferiores a 0,50, a los que consideraremos como Puertos Ineficientes (IV). Cada una de estas categorías está clasificada en la Tabla 5.

Grupo	Puertos (DMUs)	Valor Promedio Efic. DEA-BCC	Puertos (DMUs)	Valor Promedio Efic. BOOT-BCC
I (> 0,90)	Shanghai	1,00000		
	Tánger	1,00000		
	Hong Kong	0,99913		
II (0,70 - 0,90)	Singapore	0,86924	Shanghai	0,86173
	Qingdao	0,86646	Hong Kong	0,81953
	Guangzhou	0,77010	Singapore	0,77979
	Ningbo & Zhoushan	0,73177	Tánger	0,75276
	Busan	0,71905	Qingdao	0,74744
	Shenzhen	0,70198	Guangzhou	0,69963
III (0,50 - 0,70)	Algeiras	0,65369	Busan	0,65859
	Rotterdam	0,53095	Ningbo & Zhoushan	0,65477
	Tianjin	0,52775	Shenzhen	0,63259
IV (< 0,50)			Algeiras	0,56613
	Dubai Port	0,48887	Tianjin	0,48871
	Port Klang	0,46375	Rotterdam	0,47077
	Barcelona	0,30114	Dubai Port	0,45175
	Valencia	0,18407	Port Klang	0,42088
			Barcelona	0,25862
		Valencia	0,15729	

**Tabla 5: Agrupación de puertos según valores promedio DEA-BCC y DEA-BOOTSTRAP.**

En el análisis del modelo DEA-BCC se comprueba que existen tres puertos en el primer grupo. Los puertos de Shanghai y Tánger MED con valores de eficiencia del cien por cien.

El puerto de Hong Kong obtiene un valor muy próximo a la unidad. Todo esto es debido a la capacidad técnica que poseen estas tres terminales.

En el grupo de Puertos con Eficiencia Media (II) se clasifican encuentran los puertos de Singapore y Qinddao, con valores casi idénticos y por encima del ochenta y cinco por ciento. En el mismo grupo, pero tampoco muy distanciados, nos encontramos con los puertos de Guangzhou, Ningbo & Zhoushan, Busan y Shenzhen con valores inferiores a los anteriores, aunque bien es cierto que obtienen un valor por encima del setenta por ciento. Esto nos indica que todos los puertos de este grupo podrán estar muy cerca de conseguir el objetivo de ser puerto Eficiente.

En el tercer grupo formado por aquellos Puertos con Eficiencia Baja (III) se clasifican a los puertos de: Algeciras (0,65369), Rotterdam (0,53095) y Tianjin (0,52775). Valores muy discretos para puertos de esta entidad en el escenario mundial de tráfico de contenedores.

Por último, los puertos de Dubai Port, Port Klang, Barcelona y Valencia obtienen la clasificación de Puerto Ineficiente (IV). Resulta muy llamativas las posiciones última y penúltima de los puertos de Barcelona y Valencia, con un valor de apenas el dieciocho por ciento el puerto levantino.

Los resultados muestran una importante homogeneidad en los valores de Eficiencia DEA dentro de cada uno de los grupos definidos, sin apenas diferencias entre ellos, siendo algo mayor en el grupo I y IV y apenas insignificante en los grupos II y III.

Si nos centramos ahora en el análisis de los valores obtenidos para la Eficiencia corregida Bootstrap, comprobamos que no hay ningún puerto que consiga superar la barrera del noventa por ciento de eficiencia y por consiguiente no se podría clasificar como puerto eficiente a ningún puerto de la nuestra. Con respecto al siguiente escalón, hay tres puertos que se mantienen en el grupo II, como es el caso de Singapore (0,77979), Qingdao (0,74744) y Guangzhou (0,69963). Sin embargo, los tres puertos que conformaban el grupo I en el análisis DEA, bajan a este grupo II cuando optimizamos los resultados aplicando la técnica estadística Bootstrap. Es el caso de los puertos de Shanghai (0,86173), Hong Kong (0,81953) y Tánger (0,75276). Hay que destacar que el ajuste producido entre los valores de Eficiencia DEA y los de Eficiencia Bootstrap es pequeño, del orden de un valor medio del 10%. Esto puede ser un indicador de que estos puertos se encuentran trabajado en un escenario muy próximo a su tamaño máximo productivo.

Hay que destacar que el puerto de Algeciras (0,56613), se mantiene constante en el grupo III, Puertos con Eficiencia Baja, y prácticamente en el mismo orden que se ha obtenido en el análisis DEA, y con un ajuste del 9%.

Por último, el cuarto grupo al que hemos denominado puertos Ineficientes, está formado por seis puertos, y entre ellos encontramos a puertos de la entidad de Rotterdam (0,47077), Barcelona (0,25862) y Valencia con un muy discreto valor de 0,15729.

## 7. CONCLUSIONES

Una vez comprobada la eficiencia técnica global de escala y la eficiencia técnica pura, se observa que los puertos asiáticos son bastantes eficientes, destacando el puerto de Shanghai que moviendo más de 42 millones de TEUs ocupa el primer puesto en la clasificación mundial. Tánger MED (puesto 46) y Hong Kong (puesto 5) se mantienen en la parte alta de los valores de eficiencia. Los puertos asiáticos deben estos valores de eficiencia a su posición estratégica y a las dimensiones de las terminales y muelles, así como al número de grúas. Por consiguiente, manipulan un número muy elevado de contenedores en comparación con otros puertos.

Las condiciones geoestratégicas de estos puertos y sus condiciones técnicas les permitiría atraer aún más volumen de tráfico. Del mismo modo, y debido a su situación en el Estrecho de Gibraltar, en los próximos años asistiremos a un crecimiento considerable del puerto de Tanger MED. Está aumentando su volumen de contenedores progresivamente y en los próximos años se prevé que con las nuevas terminales, el tráfico de contenedores sea bastante más elevado, pudiendo ser una fuerte competencia para el puerto de Algeciras con el que comparte posición estratégica.

Los puertos de Singapur y Shenzhen presentan características similares al de Shanghai, pese a encontrarse entre los tres principales puertos, tienen una eficiencia baja con respecto a otros, lo que significa que sus puertos no son totalmente productivos, sino que podrían mejorar.

Centrándonos en los puertos europeos, se puede ver que siendo el puerto de Rotterdam el más importante del continente, al compararlos con los puertos más importantes del mundo, su eficiencia es bastante baja.

Esto que no quiere decir que obtenga malos resultados, sino que podrían ser bastantes mejores, pudiendo llegar a ser una fuerte competencia para los puertos asiáticos por su novedoso y gran equipamiento, aparte de por la localización en la que se encuentra, siendo la principal entrada de mercancía de toda Europa y debido a sus buenas conexiones con otros países.

Se puede comprobar que entre los puertos españoles el que presenta mayor eficiencia en los dos modelos estudiados es el puerto de Algeciras, que pese a tener menor volumen de equipamiento y capacidad que el puerto de Valencia, su volumen de TEUs es muy similar entre ambos puertos, teniendo años que está por encima y otros ligeramente por debajo del puerto valenciano.

En verano de 2018, se han introducido tres nuevas grúas en la terminal APM Terminals de Algeciras, lo que ha supuesto un aumento del número de contenedores manipulados en esa terminal, que beneficiará al rendimiento y eficiencia del puerto.

En definitiva, los puertos y las cadenas logísticas tienen como objetivo el crecimiento a partir de la inclusión de tecnologías y prácticas innovadoras para los procesos de organización, administración y de servicios. Los puertos están en continuo avance, intentando automatizar las terminales que les sean posibles para así poder incrementar la eficiencia y que sean más productivos, con el fin de llegar a ser de los principales puertos de contenedores del mundo.

## REFERENCIAS

AUTORIDAD PORTUARIA BAHÍA de Algeciras (2018). [www.apba.es](http://www.apba.es)

AUTORIDAD PORTUARIA DE BARCELONA. (2018). [www.portdebarcelona.cat](http://www.portdebarcelona.cat)

AUTORIDAD PORTUARIA DE VALENCIA (2018). [www.valenciaport.com](http://www.valenciaport.com)

BANKER, R.D., CHARNES, A. Y COOPER, W. W. "Some Models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis". *Management Science*. September 1984. Vol 30-9, pp. 1078-1092.

BARROS, C., J. AUGUSTO, F., Y LEITE FERNANDES, R. "Productivity Analysis Of Brazilian Seaports". *Maritime. Policy & Management*. 2012. Vol 39-5. p. 503-523.

BARROS, C.P., ASSAF, A. Y IBIWOYE, A. "Bootstrapped technical efficiency of African seaports". *Essays on Port Economics*. May 2010. pp. 237-250.

CHANG, S-M., JAW-SHEN, W., MING-MIIN, Y., KUO-CHUNG, S., SHIH-HAO, L. Y HSIAO, B. "An Application of Centralized Data Envelopment Analysis in Resource Allocation in Container Terminal Operations". *Maritime Policy & Management*. 1979. Vol 42-8. p. 776-88.

CHARNES, A., COOPER, W. Y RHODES, E. "Measuring the Efficiency of Decision-making Units". *European Journal of Operational Research*. November 1978. Vol. 2-6. p.429-444.

CULLINANE, K., SONG, D-W., JI, P. Y WANG, T.F. "An Application of DEA Windows Analysis to Container Port Production Efficiency". *Review of Network Economics*. June 2004. Vol 3-2. pp. 184-206.

- CULLINANE, K., WANG, T.F., SONG, D.W. Y JI, P. "The Technical Efficiency of Container Ports: Comparing Data Envelopment Analysis and Stochastic Frontier Analysis". *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. Vol 40-4. May 2006. pp. 354-374
- EFRON, B. "Bootstrap Methods: Another Look at The Jackknife". *Breakthroughs in Statistics*. December 1977. pp. 569-593.
- EFRON, B. "The Jackknife, the Bootstrap and Other Resampling Plans". 1982
- ESTACHE, A., BEATRIZ, T. Y TRUJILLO, L. "Sources of Efficiency Gains in Port Reform: A DEA Decomposition of a Malmquist TFP Index for Mexico". *Utilities Policy*. 2004. Vol 12-4. p. 221-230.
- FØRSUND Y SARAFOGLOU. "The Diffusion of Research on Productive Efficiency: The Economist's Guide to DEA Evolution". 1999
- GIL ROPERO, A., CERBÁN JIMÉNEZ, M. Y TURIAS DOMINGUEZ, I.J. (2015). "Analysis of the global and technical efficiencies of major Spanish container ports". *International Journal of Transport Economics*. 2015. Vol 3. p. 377-407.
- GIL ROPERO, A., TURIAS DOMINGUEZ, I.J. Y CERBÁN JIMÉNEZ, M. "Bootstrapped Operating Efficiency in Container Ports. A case study in Spain and Portugal". *Industrial Management & Data Systems*. May 2019. Vol 119-4. pp. 924-948
- KAISAR, E. I., PATHOMSIRI, S., Y HAGHANI, A. "Efficiency measurement of US ports using data envelopment analysis". *National Urban Freight Conference*. February 2006.
- LLOYD'S LIST (2008). "One hundred Container Ports 2018: Lloyd's List"
- MUNISAMY, S. Y DANXIA, W. "Ranking Efficiency of Asian Container Ports: A Bootstrapped Frontier Approach". *International Journal of Shipping and Transport Logistics*. 2013. Vol 5-6. p. 668-690.
- NGUYEN, HO., NGUYEN, HV., CHANG, YT., CHIN, A. Y TONGZON, J. "Measuring Port Efficiency Using Bootstrapped DEA: The Case of Vietnamese Ports". *Maritime Policy & Management*. 2015. Vol 43-5. p. 644-659.
- PORT OF ROTTERDAM. (2018). Facts and figures.
- PORT OF ROTTERDAM. (2018). Port Statistic
- PUBLICADO POR UNCTAD. (2012). "The Capacity in Container Port Terminals".
- PUBLICADO POR UNCTAD. (2017). "Handbook of Statics 2017 – Maritime transport".
- PUBLICADO POR UNCTAD. (2007). "Globalization of port logistics: opportunities and challenges for developing countries".

RIOS, L.R. Y GASTAUD MAÇADA, A.C. “Analysing the Relative Efficiency of Container Terminals of Mercosur Using DEA”. *Maritime Economics & Logistics*. 2006. Vol 8-4. p. 331-346.

SEREBRISKY, T., MORALES SARRIERA, J., SUÁREZ-ALEMÁN, A., ARAYA, G., BRICEÑO-GARMENDÍA, C. Y SCHWARTZ, J. “Exploring the Drivers of Port Efficiency in Latin America and the Caribbean”. *Transport Policy*. January 2016. Vol 45. pp 31-45.

SIMAR, L. “Estimating Efficiencies from Frontier Models with Panel Data: A Comparison of Parametric, Non-Parametric and Semi-Parametric Methods with Bootstrapping”. *International Applications of Productivity and Efficiency Analysis*. 1992. pp 167-199.

SIMAR, L. Y WILSON, P.W. “Sensitivity Analysis of Efficiency Scores: How to Bootstrap in Nonparametric Frontier Models”. *Management Science*. January 1998. Vol 44-1. pp. 49-61

TURNER, H., WINDLE, R. Y DRESNER, M. “North American Container Port Productivity: 1984–1997”. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2004. Vol 40-4. p. 339-356.

WANKE, P.F. Y BARROS, C.P. “Evaluating Returns to Scale and Convexity in DEA Via Bootstrap: A Case Study with Brazilian Port Terminals”. *Handbook of Operations Analytics Using Data Envelopment Analysis*. July 2016. pp 187-214

WANKE, P. Y PESTANA BARROS, C. “New Evidence on the Determinants of Efficiency at Brazilian Ports: A Bootstrapped DEA Analysis”. *International Journal of Shipping and Transport Logistics*. May 2006. Vol 8-3. pp. 250-272.

WAN, Y., YUEN, A.C.L. Y ZHANG, A. “Effects of hinterland accessibility on U.S. container port efficiency”. *International Forum on Shipping, Ports and Airports*. June 2014. Vol 6-4. pp. 271–279.