

La eficiencia de los puertos en el sureste de Asia, 2005-2015: una medición no paramétrica a través del modelo Free Disposal Hull (FDH)

Ports Efficiency in Southeast Asia, 2005-2015: A Non-parametric Measurement through Free Disposal Hull Model (FDH)

César Lenin Navarro-Chávez¹

Juan González García²

Odette V. Delfín-Ortega³

DOI: 10.32870/mycp.v9i26.660

Resumen

El objetivo de este trabajo es determinar la eficiencia técnica de los 12 puertos más representativos de los países del sudeste asiático durante el periodo 2005-2015, por medio del modelo Free Disposal Hull (FDH) con orientación *output*. Para tener mayor robustez en los resultados se aplica el estadístico *bootstrap*. En un segundo momento, se compara el modelo FDH con el DEA. Con el modelo FDH se encontró que, en promedio, en ningún año se fue eficiente. El año en el que se presentó el nivel más alto de eficiencia fue 2007, con un promedio de 0.82, mientras que el año con menor eficiencia fue 2013, donde se alcanzó en promedio 0.58. En la comparación del modelo FDH con el DEA, el puerto de Singapur fue el más eficiente, en tanto que Yangon en Birmania y Sihanoukville en Camboya fueron los puertos con el menor índice de eficiencia.

Palabras clave: Eficiencia, sudeste asiático, FDH, *bootstrap*.

Abstract

The objective of the study is to determine the technical efficiency of the 12 most representative ports in the countries of Southeast Asia during the period 2005-2015, through Free Disposal Hull (FDH) model with output orientation. To have greater robustness in the results, bootstrap statistic is applied. In a second moment, the FDH model is compared with DEA model. In FDH model it was found that on average, no year was efficient. The year in which the highest level of efficiency was presented was 2007, with an average of 0.82, while the least efficient year was 2013, where an average of 0.58 was reached. In the comparison of the FDH with the DEA model, the port of Singapur was the most efficient while Yangon in Burma and Sihanoukville in Cambodia were the ports with the lowest efficiency index.

Keywords: Efficiency, Southeast Asia, FDH, bootstrap.
JEL CODE: c67, d61, I91, o53

Artículo recibido el 11 de julio de 2019 y dictaminado el 07 de octubre de 2019

1. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales. Santiago Tapia 403, C.P. 588000, Morelia, Michoacán, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4465-8117> Correo electrónico: cesar.navarro@umich.mx
2. Universidad de Colima, Centro Universitario de Estudios e Investigaciones sobre la Cuenca del Pacífico. Av. Gonzalo de Sandoval 444, C.P. 28040, Colima, Colima, México. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1458-8047> Correo electrónico: jgogar@uacol.mx
3. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales. Santiago Tapia 403, C.P. 58000, Morelia, Michoacán, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0990-6768> Email: odettedelfin@umich.mx

Introducción

Un puerto puede tener una o varias terminales, dependiendo de la cantidad y el tipo de carga que maneje. La especialización de las terminales en el manejo de un producto en específico, garantiza que la operación de carga y descarga sea rápida y segura (López, 1999). En el caso particular de las terminales de contenedores, el mercado de los servicios de maniobras a contenedores comprende diversos pasos que se efectúan para trasladar un contenedor entre la embarcación y otro modo de transporte terrestre de manera mecanizada. Los usuarios, por lo tanto, demandan servicios cada vez más eficientes, lo que conlleva a disponer de una infraestructura adecuada en las terminales (United Nations Conference on Trade and Development [UNCTAD], 2014).

La Asociación de Naciones del Sudeste Asiático (ASEAN, por sus siglas en inglés) es una organización integrada por diez países emergentes del sudeste asiático: Indonesia, Filipinas, Malasia, Singapur, Tailandia, Vietnam, Brunei Darussalami, Camboya, Birmania (Myanmar) y Laos (Association of Southeast Asian Nations [ASEAN] 2018a).

La ASEAN fue fundada el 8 de agosto de 1967, en Bangkok, Tailandia, con la Declaración de Bangkok, y la integraban cinco miembros: Indonesia, Malasia, Filipinas, Singapur y Tailandia. Posteriormente, el 8 de enero de 1984 se adhirió Brunei, Vietnam lo hizo el 28 de julio de 1995, Laos y Birmania se integraron el 23 de julio de 1997 y, finalmente, Camboya formó parte de esta organización el 30 de abril de 1999. Esta región cada vez es más dinámica, en el año 2014, la comunidad económica de la ASEAN era, en conjunto, la tercera economía más grande en Asia y la séptima más grande en el mundo (ASEAN, 2018b).

La ASEAN representa una región diversa en términos de dotaciones de factores, el desarrollo de capital humano, capacidades tecnológicas y la productividad. Su diversidad es reflejada en el modelo diferente de exportación a través de Estados miembro. Esto incluye a los grandes exportadores de combustibles y minerales (Brunei Darussalam, Indonesia, Malasia y Myanmar), productos agrícolas (Indonesia, Myanmar y Vietnam), productos fabricados (Camboya, Malasia, Filipinas, Singapur, Tailandia y Vietnam) y servicios comerciales (Filipinas y Singapur). Los Estados miembro de la ASEAN importan en mayor porcentaje bienes procesados y partes y componentes (ASEAN, 2018c).

El Banco Mundial (2019) revela que, en lo que va de este siglo, el sur de Asia ha tenido el segundo crecimiento económico más alto del mundo (cer-

ca de una tasa anual promedio de 7% desde el año 2000), y el aumento del comercio internacional ha tenido un papel importante. Según el informe del Banco Mundial, aumentar la competitividad de las exportaciones del sur de Asia requerirá una mejora en el rendimiento de sus puertos de contenedores, ya que más de las tres cuartas partes del comercio de la región se transporta a través de los puertos. Sin embargo, el crecimiento del tránsito de contenedores saturó los puertos del sur de Asia entre 2000 y 2015, y la instrumentación de medidas de eficiencia en la etapa de arribo de los buques ha ayudado a reducir los tiempos de espera y a mantener competitivos muchos puertos del sur de Asia.

El Banco Mundial (2019) menciona que si los puertos de contenedores del sur de Asia fueran tan eficientes como los puertos más eficientes del mundo, en 2010 podrían haber manejado más del doble del número de contenedores de los que manejan en la actualidad. De lo anterior se desprende la importancia de realizar este estudio, cuyo objetivo es determinar el grado de eficiencia de los principales puertos del sudeste asiático durante el periodo 2005-2015.

El documento está estructurado en seis apartados. En el primero se presenta la introducción; en el segundo se categorizan los puertos atendiendo a su zona de influencia; en el tercero se realiza la revisión de la literatura; en el cuarto se desarrolla el marco metodológico de la investigación, donde se describen la metodología Free Disposal Hull (FDH) y la técnica de remuestreo (*bootstrap*); en el quinto se revisan los resultados obtenidos y, en el sexto apartado, se presentan las principales conclusiones.

Clasificación de los puertos por zona de influencia

La Coordinación General de Puertos y Marina Mercante (CGPMM, 2014) define una terminal portuaria como el territorio portuario que comprende un conjunto de infraestructura y superestructura con los equipos y servicios necesarios para atender la demanda de buques de carga y de pasajeros.

Un puerto puede tener una o varias terminales, dependiendo de la cantidad y el tipo de carga que se manejen por él. La especialización de las terminales en el manejo de un producto en específico garantiza que la operación de carga y descarga sea rápida, segura y eficiente (López, 1999).

Una terminal de contenedores es un núcleo del transporte en el que los medios de la transportación terrestre y marítima se interconectan de forma coordinada para efectuar la transferencia de mercancías “contenerizadas”,

utilizando para ello equipo mecanizado. En la terminal se realizan funciones tales como: la recepción y el depósito de los contenedores en los patios, la recepción de carga suelta para su contenerización en la terminal o la desconsolidación de los contenedores para la entrega de mercancías en la misma. Los puertos son, por definición, un nodo intermodal que conecta el transporte internacional con el transporte interno (Hernández de Labra, 1983).

Un puerto pivote (*hub*) es aquel que opera como terminal de tránsito oceánico, es decir, que no necesita enlaces directos con el sistema terrestre, dado que su infraestructura le permite operar y transbordar buques porta contenedores a buques alimentadores (*feeder*), que operan con varios destinos locales. Para Martner (2002, 2010), los puertos *hub* se caracterizan por la capacidad para concentrar carga cuyo origen o destino sobrepasan su zona de influencia tradicional y alcanzan lugares distantes dentro o fuera del país de pertenencia.

Dentro de las categorías de los puertos *hubs* tenemos: *a*) globales, *b*) regionales, *c*) alimentadores (*feeders*). Los puertos *hubs* globales, definidos como centros logísticos de concentración, procesamiento, consolidación y distribución de mercancías e información, se alimentan de flujos que provienen tanto de las redes terrestres como de las redes alimentadoras (*feeders*) marítimas (Martner, 2002, 2010).

Los puertos *hubs* regionales tienen menor dimensión, menor capacidad de carga y menor cobertura geográfica que los globales y están situados en las intersecciones de las grandes rutas transoceánicas este-oeste con las rutas norte-sur. Se caracterizan por concentrar carga básicamente mediante el transbordo marítimo (Martner, 2002, 2010). En este caso, la carga local del país donde está instalado el *hub* representa casi siempre un porcentaje menor del movimiento portuario. En buena medida, esto se explica porque tales nodos portuarios se localizan en lugares estratégicos donde se cruzan o interceptan rutas (Wilson & Otsuki, 2007).

Los puertos alimentadores (*feeders*) son aquellos que prestan servicios a los mercados de su propia zona de influencia (*hinterland*) recibiendo buques alimentadores procedentes de puertos *hub* próximos.

En esta red global, la circulación de una mercancía no siempre tiene que pasar por las tres categorías. En efecto, la red no es absolutamente piramidal. Aunque es esencialmente jerárquica, también permite las conexiones horizontales. Así, pueden desarrollarse flujos que circulen solamente entre *hubs* globales, otros lo harán directamente desde un puerto alimentador hasta un

hub global (sin tocar un *hub* regional) y también habrá flujos que se muevan sólo entre *hubs* regionales (Martner, 2002, 2010).

En la tabla 1 se muestran los puertos del sudeste asiático y el volumen de TEU (Twenty-foot Equivalent Unit) que manejan hoy en día y el tipo de puerto de acuerdo con su conectividad, su capacidad para concentrar carga y su zona de influencia. Se observa que Singapur es un puerto *hub* global, y los puertos de Malasia, Indonesia, Vietnam y Filipinas son puertos *hub* regionales; por su parte, los de Tailandia, Birmania, Camboya y Brunei son puertos alimentadores. Sin embargo, un puerto grande no garantiza que sea eficiente y que utilice de forma adecuada sus recursos en función de la cantidad de contenedores manejados por año.

Tabla 1
Clasificación de los puertos del sudeste asiático por zona de influencia

	<i>País</i>	<i>Puerto</i>	<i>Contenedores anuales 2018 (miles de contenedores)</i>	<i>Tipo de puerto</i>
1	Singapur	Singapur	36,600.0	Hub global
2	Malasia	Port Kelang	12,320.0	Hub regional
3	Malasia	Tanjung Pelepas	8,960.0	Hub regional
4	Indonesia	Tanjung Priok, Jakarta	7,640.0	Hub regional
5	Vietnam	Ho Chi Minh	6,330.0	Hub regional
6	Filipinas	Manila	5,050.0	Hub regional
7	Indonesia	Tanjung Perak, Surabaya	3,866.0	Hub regional
8	Tailandia	Laem Chabang	1,498.8	Puertos alimentadores (feeders)
9	Birmania (Myanmar)	Yangon	1,043.5	Puertos alimentadores
10	Tailandia	Bangkok	835.0	Puertos alimentadores
11	Camboya	Sihanoukville	541.2	Puertos alimentadores
12	Brunei Darussalam	Seria	144.8	Puertos alimentadores

Fuente: elaboración propia con base en *World Shipping Council* (2018), *Wilson & Otsuki* (2007), y las páginas oficiales de los puertos.

Revisión de literatura

Los principales puertos marítimos en el sudeste de Asia y el noreste de Asia han experimentado un crecimiento significativo en las últimas dos décadas. Monroe (2016) realizó un estudio de los puertos del sureste asiático, donde menciona que diversos puertos se conocen como puertos *hub* debido al volumen dominante de transbordos. En su análisis muestra que de todos los puertos del sudeste asiático, el más representativo es el de Singapur, que ha sido el número uno de contenedores en el mundo durante más de una década. Ninguno de los otros está entre los diez primeros, pero la región está representada por ocho puertos adicionales en Malasia, Tailandia, Vietnam, Indonesia y Filipinas, que están en el top 50 del mundo.

Sien, Goh y Tongzon (2003) realizaron un estudio acerca de los países del sudeste asiático y mencionan que sus puertos dependen en gran medida del transporte marítimo y se benefician mayormente de la participación del comercio internacional. Si bien el sudeste asiático no genera grandes volúmenes de carga a granel, como petróleo, mineral de hierro y granos, el rápido desarrollo industrial en los países centrales de la región (Tailandia, Malasia, Singapur, Indonesia y Filipinas) desde 1970 ha conllevado el manejo de gran cantidad de carga en contenedores.

Lagoudis, Rice y Salminen (2014) realizaron un estudio sobre las estrategias de inversión portuaria con incertidumbre: el caso de un puerto multipropósito del sudeste asiático, y mencionan que las decisiones de inversión portuaria están relacionadas principalmente con estrategias de mejora de la productividad. Los autores proponen un proceso de toma de decisiones de inversión para futuras inversiones en infraestructura portuaria teniendo en cuenta diversas incertidumbres que pueden afectar el rendimiento de la inversión durante la vida útil del proyecto.

Dang y Yeo (2017) realizaron un estudio donde analizan las posiciones competitivas de los 20 principales puertos de contenedores de cinco países en la Asociación de Naciones del Sudeste Asiático (ASEAN-5) en seis años, de 2009 a 2014, utilizando un análisis de cartera dinámico. Tienen como objetivo permitir a los operadores de puertos visualizar la posición y el progreso de los puertos seleccionados, así como predecir las posibilidades de desarrollo futuro de los puertos marítimos. Los hallazgos revelaron operaciones efectivas en los siguientes puertos, que mantuvieron sus posiciones dominantes durante

la duración del estudio: Port Klang, Tanjung Pelepas (Malasia), Manila (Filipinas), Laem Chabang (Tailandia) y Tan Cang Sai Gon (Vietnam).

Mientras los puertos sean más eficientes, tendrán mejor desarrollo en los nodos logísticos del transporte, lo que reducirá costos por el uso de infraestructura portuaria y aumentará la fluidez comercial, lo que fortalecerá el desarrollo económico del país (Ojeda, 2011). La eficiencia del puerto analiza las relaciones establecidas entre los insumos (principalmente las instalaciones físicas de un puerto y su fuerza laboral) y los productos (como las cantidades o los movimientos en los puertos).

La medición de la eficiencia se puede realizar desde dos perspectivas: los modelos paramétricos y no paramétricos; en el primer caso, se asume una forma funcional específica para la relación de los *inputs* y el *output*, así como el término de error estocástico, que se puede descomponer en ruido aleatorio e ineficiencia, se basa en modelos econométricos y puede ser calculado por medio de mínimos cuadrados ordinarios o frontera estocástica. La opción de modelos no paramétricos permite calcular la frontera directamente de los datos sin imponer una restricción de función específica, y se utilizan las técnicas de programación matemática. Los modelos no paramétricos se pueden desarrollar mediante el Análisis de la Envolvente de Datos (DEA, por sus siglas en inglés) o del modelo Free Disposal Hull (FDH) (De Borger, Kertens, Moesen & Vanneste, 1994).

El modelo FDH es un método no paramétrico que mide la eficiencia de las unidades de producción o unidades de toma de decisiones, propuesto por Deprins, Simar y Tulkens (1984), y posteriormente ampliado por Tulkens (1993), Chang (1999), Kerstens y Vanden (1998), Thrall (1999), Cherchye, Kuosmanen y Post (2000).

Comparado con otras metodologías, el FDH requiere el mínimo de suposiciones con respecto a la producción tecnológica. Una unidad de producción es técnicamente eficiente si produce la potencia máxima técnicamente factible para insumos dados, o utiliza insumos mínimos para la producción de un grado dado de producción. En otras palabras, la eficiencia técnica o productiva de una unidad de producción se define en términos de la capacidad de la unidad para producir en el límite de su conjunto de producción. Por lo tanto, cualquier metodología para evaluar la eficiencia técnica requiere la completa especificación del conjunto de posibilidades de producción establecida, así como algunos conceptos de distancia relativa a la combinación observada

de *inputs* y *outputs* a la frontera especificada (De Borger, Kertens, Moesen & Vanneste, 1994).

La eficiencia técnica o productiva de una unidad de producción se define en términos de la capacidad de la unidad de producir en el límite de su conjunto de producción. En consecuencia, cualquier metodología para evaluar la eficiencia técnica requiere la especificación completa de la posibilidad de producción establecida, así como el concepto de distancia para relacionar las combinaciones de entrada y salida observadas con el límite del producto especificado.

El cálculo de las medidas de eficiencia en FDH, normalmente requiere resolver un problema de programación entero mixto para cada observación, porque las variables de actividad en la definición de la tecnología de producción están restringidas a ser cero o la unidad. Sin embargo, esto no hace que su instrumentación sea más difícil que los problemas de programación lineal estándar resueltos con la metodología DEA, ya que se ha demostrado que un algoritmo de clasificación de datos basado en el razonamiento de dominancia vectorial simple puede hacer el trabajo (De Borger, Kertens, Moesen & Vanneste, 1994).

La principal característica de los modelos FDH es que no imponen el supuesto de convexidad a la tecnología, sino que únicamente suponen disponibilidad gratuita de factores y productos. Este tipo de modelos se sustenta en el hecho de que a menudo es difícil hallar una justificación teórica o empírica que avale el postulado de convexidad en los conjuntos de posibilidades de producción (Giménez, 2004).

Cabe mencionar que la metodología FDH, así como todas las metodologías no paramétricas, permiten realizar un análisis de eficiencia relativa en dos orientaciones: en términos de entradas (*inputs*) y en términos de salidas (*outputs*). La formulación matemática del modelo FDH con orientación *input* es (Ray, 2004):

$$\theta^* = \min \theta \quad (1)$$

$$\text{Sujeto a } \sum_{j=1}^N \lambda_j x_{ij} \leq \theta x_{i0} \quad (i= 1,2,\dots,n)$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j y_{rj} \geq y_{r0} \quad (r= 1,2,\dots,m)$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j = 1;$$

$$\lambda_j \in \{0,1\}; (j=1,2,\dots,N)$$

θ sin restricciones.

La formulación matemática del modelo FDH con orientación *output* es:

$$\text{Max } \phi \quad (2)$$

Sujeto a $\sum_{j=1}^N \lambda_j y_{rj} \geq \phi y_{r0}$ ($r=1,2,\dots,m$)

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j x_{ij} \leq x_{i0} \quad (i=1,2,\dots,n)$$

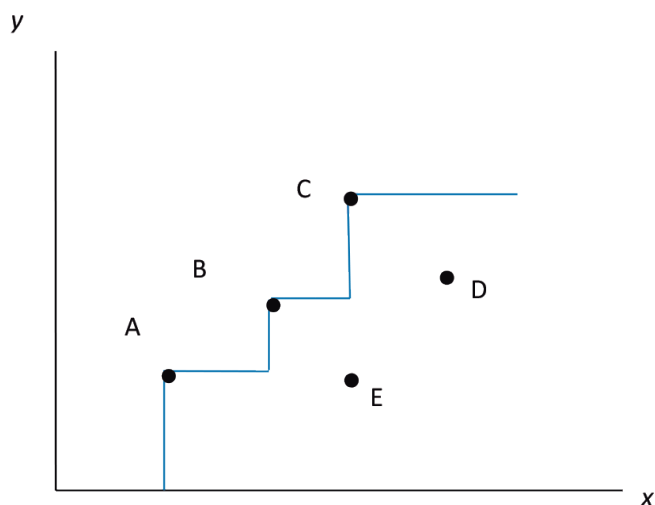
$$\sum_{j=1}^N \lambda_j = 1 \quad (j=1,2,\dots,N)$$

ϕ sin restricciones.

En el modelo FDH, si un par específico de entrada y salida es producible, también se pueden producir pares de más entradas y menos salidas. El modelo FDH permite la libre disposición para construir el conjunto de posibilidades de producción. En consecuencia, la línea de frontera para el modelo FDH se desarrolla a partir de las entradas y salidas observadas, lo que permite la libre disposición (De Borger, Kertens, Moesen & Vanneste, 1994).

Una segunda ventaja del modelo FDH es su carácter no paramétrico. Es un requisito metodológico general que los resultados del análisis económico teórico no dependan de las formas paramétricas específicas elegidas. Con respecto tanto a los enfoques paramétricos como a los métodos no paramétricos que imponen la convexidad, el FDH se considera, por tanto, conservador, ya que da un límite superior a la medición de la eficiencia técnica (De Borger, Kertens, Moesen & Vanneste, 1994). La representación gráfica de la frontera toma una forma escalonada, ya que sólo permite que las unidades que forman la frontera sean medidas de unidades realmente observadas (véase figura 1).

Figura 1
Frontera de posibilidades de producción FDH



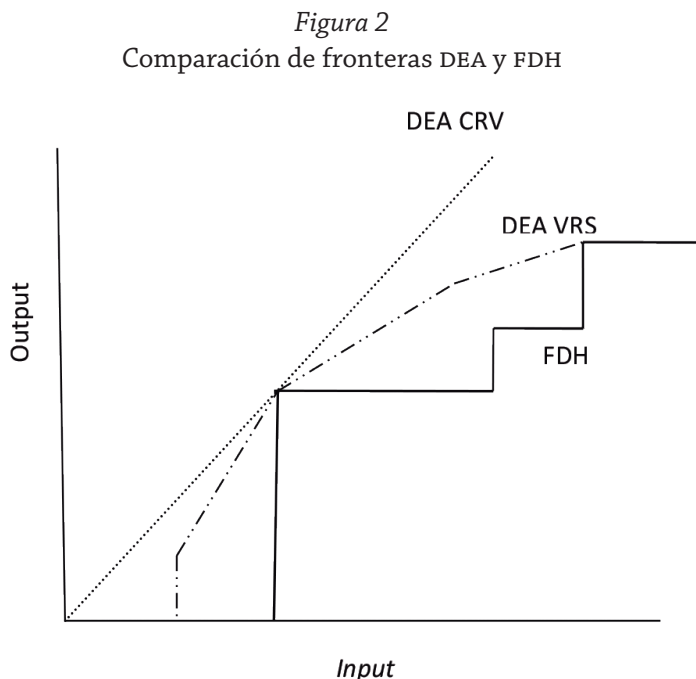
Fuente: Bogetoft y Otto, 2011.

En la figura 2 se hace un comparativo entre la frontera DEA con rendimientos constantes y variables y el modelo FDH, donde se asume que con este último son más las observaciones eficientes que con la metodología DEA, además de las diferencias respecto a que con los modelos FDH no se impone el supuesto de convexidad a la tecnología (Gupta, Honjo, & Verohemen, 1997).

En el FDH, el problema de medir la eficiencia técnica de las unidades de producción observadas se separa de la cuestión de representar el límite de la posibilidad de producción establecida. El supuesto de libre disponibilidad implica que dada la tecnología de producción utilizada, es posible producir menos que las unidades de decisión eficientes, manteniendo el grado de insumos constante, así como producir lo mismo con mayor cantidad de insumos (Gupta, Honjo & Verhoeven 1997). Este supuesto es el que le da la forma escalonada a la frontera de eficiencia estimada por el FDH (Tam, 2008).

Debido a que es una función escalonada multidimensional, esta tecnología de referencia es menos útil para responder a otras preguntas sobre, por ejemplo, la determinación de la productividad de los factores y de las economías de escala. Estos problemas requieren centrarse en los límites de la posibilidad

de producción establecida y son difíciles de resolver sin recurrir a funciones paramétricas de producción o transformación (véase figura 2).



Fuente: Gupta, Honjo y Verohemen, 1997.

El conjunto de posibilidades de producción del modelo FDH se obtiene definiéndolo de manera diferente con los modelos de rendimientos constantes a escala (CRV, por sus siglas en inglés) y rendimientos variables a escala (VRS, por sus siglas en inglés). En los modelos CRV y VRS, si (x_1, y_1) y (x_2, y_2) pertenecen al conjunto de posibilidades de producción, entonces el $(a(x_1 + x_2), b(y_1 + y_2))$, con cualquier escalar positivo a, b , también se considera que está en el mismo conjunto de posibilidades de producción. El axioma se llama *convexidad*.

En ese sentido, el análisis FDH muestra que un productor es relativamente ineficiente si otro utiliza menos insumos para generar los mismos resultados (o mayores). Por otro lado, éste es relativamente eficiente si no existe otro que utilice menos insumos para generar los mismos resultados (o mayores).

La metodología impone sólo una restricción a la tecnología de producción, que se vincula al uso de las entradas y salidas, que pueden utilizarse libremente, esto garantiza la existencia de una frontera de posibilidades de producción continua en una muestra de observaciones.

El modelo FDH asume rendimientos variables a escala (Deprins, Simar & Tulkens, 1984; Tulkens, 1993). Hay dos métodos computacionales utilizados para resolver los modelos FDH. El primero se basa en algoritmos de enumeración propuesto por Tulkens (1993), Cherchye, Kuosmanen y Post (2000), y Briec, Kerstens y Vanden (2004). El segundo es el uso de programación matemática. Los modelos con rendimientos variables a escala permiten que las unidades de producción (DMU o decisión making units) de tamaños diferentes tomen como referencia la unidad eficiente de su tamaño (Holvad, 1994).

Una de las principales limitaciones de la metodología FDH es que estos modelos, al igual que los modelos DEA, pueden calificar como técnicamente eficientes unidades que son ineficientes, ya que sólo son eficientes en relación con las unidades observadas. Una unidad puede ser, por lo tanto, eficiente en términos relativos, pero no necesariamente eficiente en términos absolutos, ya que se desconoce la frontera real. Una de las alternativas para poder obtener una aproximación a la frontera de eficiencia real es utilizando el estadístico *bootstrap* (Thanassoulis, 2001).

Estadístico de remuestreo *bootstrap*

La técnica *bootstrap* fue introducida por Efron (1979), y usada como una eficaz herramienta para analizar la sensibilidad de la medición de los resultados de eficiencia a las variaciones de las muestras (Simar & Wilson, 1998). Aunque la literatura se refiere típicamente al modelo DEA y al FDH como determinísticos, en ambos casos la eficiencia se mide generalmente en relación con una frontera de producción estimada, y a menudo las medidas de eficiencia no paramétricas son criticadas por carecer de una base estadística.

Una alternativa fue usar el método *bootstrap*, basado en simular repetidamente el proceso de generación de datos (DGP, por sus siglas en inglés) por medio de remuestreo, y la aplicación del estimador original a cada muestra simulada.

El *bootstrap* permite generar una muestra con la que se puede aproximar la función de distribución empírica de los datos y así estimar los grados de confianza de las eficiencias DEA y FDH y corregir los sesgos. De esta manera, muestreando de forma repetida los resultados del modelo, se puede construir una muestra de distribución empírica (Thanassoulis, 2001).

Se necesita generar una muestra con la que se pueda obtener una estimación del verdadero valor de la función de la frontera y así poder determinar el sesgo que cada empresa puede obtener, restando a la eficiencia estimada con el DEA original, la obtenida con el *bootstrap*. Si repetimos este proceso varias veces, tendremos infinitas fronteras *bootstrap* que se comparan siempre con la misma frontera verdadera. Para cada empresa, por tanto, tendremos infinitas mediciones de eficiencia *bootstrap*, y si hemos estimado con propiedad el proceso generador de datos, la distribución del sesgo *bootstrap* de cada empresa debe ser similar al que se presenta en el mundo real (Simar & Wilson 2004).

Si suponemos que es posible estimar el proceso generador de datos formulado, se puede generar aleatoriamente con él, una nueva muestra que debe de ser similar a la original y que denominaremos “muestra *bootstrap*”, de forma que dispongamos de la siguiente dotación *bootstrap* para N empresas de la muestra (Korostelev, Simar & Tsybakov, 1995):

$$X^* = [(X_1^*, Y_1^*), \dots, (X_n^*, Y_n^*)] \quad (3)$$

Esta muestra es la que vamos a emplear ahora utilizando el *bootstrap*, para repetir el procedimiento efectuado en el mundo real. Es decir, podemos definir el conjunto *bootstrap* de posibilidades de producción de la nueva muestra X^* , con:

$$\Psi_{RVS}^* = \{(x, y) \in \mathbb{R}_+^{p+q} \mid x \geq \sum_{j=1}^n \gamma_j x_j^*, y \leq \sum_{j=1}^n \gamma_j y_j^*, \sum_{j=1}^n \gamma_j = 1, \gamma_j \geq 0\} \quad (4)$$

La eficiencia *bootstrap* que nos interesa es aquella que se observa para la empresa de la muestra original, que hemos denominado $(x_0; y_0)$, con respecto a esta nueva estimación. Es decir:

$$\hat{\theta}^*(x_0, y_0)_{RVS} = \inf \{ \theta \mid (\theta x_0, \theta y_0) \in \hat{\Psi}_{RVS}^* \} \quad (5)$$

La resolución con programación lineal de la eficiencia *bootstrap* $\hat{\theta}^*(x_0, y_0)_{RVS}$ es:

$$\hat{\theta}^*(x_0, y_0)_{RVS} = \min \{ \theta \mid \theta x_0 \geq \sum_{j=1}^n \gamma_j x_j^*, \theta y_0 \leq \sum_{j=1}^n \gamma_j y_j^*, \sum_{j=1}^n \gamma_j = 1, \gamma_j \geq 0 \} \quad (6)$$

Donde se observa como el único punto desde donde medimos la eficiencia (x_0, y_0) , y esta eficiencia se observa en referencia a la frontera construida con la muestra especificada.

De esta manera, las estimaciones resultantes imitan la distribución de remuestreo del estimador original (Simar & Wilson 1998). Hall (1986) sugiere 1,000 réplicas para estimar los intervalos de confianza. Simar y Wilson (2007) aplican 2,000 réplicas en sus modelos.

Métodos

En este apartado se presenta el modelo para poder determinar la eficiencia técnica de los principales puertos del sudeste asiático con la metodología FDH con orientación *output*, aplicando el estadístico *bootstrap* –con 2000 iteraciones para darle robustez a los resultados– durante el periodo 2005-2015.

En una segunda etapa se calcula la eficiencia técnica con la metodología DEA con rendimientos variables a escala, para hacer un comparativo de los resultados entre ambos modelos para el año 2015.

Para poder desarrollar el modelo de eficiencia se requiere determinar las unidades de medida de decisión (DMU). Para ello, se tomaron como criterio los puertos del sudeste asiático que movieron más de 150 mil contenedores anuales en el año 2015, de los reportes del *World Shipping Council* y del Anuario *Containerisation International* (2018), obteniéndose un total de 12 puertos en esta región (véase tabla 2).

Tabla 2
Selección de puertos del sudeste asiático

	<i>País</i>	<i>Puerto</i>
P01	Brunei Darussalam	Seria
P02	Camboya	Sihanoukville
P03	Filipinas	Manila
P04	Indonesia	Tanjung Priok, Jakarta
P05	Indonesia	Tanjung Perak, Surabaya
P06	Malasia	Port Kelang
P07	Malasia	Tanjung Pelepas
P08	Birmania (Myanmar)	Yangon
P9	Singapur	Singapur
P10	Tailandia	Laem Chabang

	<i>País</i>	<i>Puerto</i>
P11	Tailandia	Bangkok
P12	Vietnam	Ho Chi Minh

Fuente: elaboración propia con base en el reporte de *World Shipping Council*, 2018 y el reporte de *Containerisation International Yearbook*, 2018.

Selección de *inputs* y *outputs*

Para la selección de las variables se hizo una revisión literaria donde se analizaron diferentes autores que han realizado estudios de eficiencia con la técnica FDH en el sector portuario, como se observa en la tabla 3.

Tabla 3
Revisión literaria para la determinación de variables

<i>Autores</i>	<i>Modelo</i>	<i>Variables</i>
Ríos y Ramos (2018)	DEA y FDH Eficiencia técnica	<i>Inputs</i> : profundidad de amarre, longitud de amarre y número de amarres; y como <i>outputs</i> : número de contenedores movidos, número de contenedores manipulados por hora de amarre y tasa de rendimiento de contenedor.
Delfín y Navarro (2016)	DEA Eficiencia Económica	<i>Inputs</i> : Superficie, número de trabajadores y número de grúas. <i>Output</i> : Cantidad de TEU movilizados anualmente. <i>Precios de inputs</i> • Amortización y mantenimiento de superficie de la terminal de contenedores. • Sueldos de los trabajadores de la terminal de contenedores. • Mantenimiento y amortización de las grúas,
Delfín y Navarro (2015)	DEA Eficiencia técnica, <i>Malmquist</i> Productividad	<i>Inputs</i> : Longitud de muelle y trabajadores. <i>Output</i> : número de TEU.
Munisamy (2010)	DEA	<i>Inputs</i> : longitud de muelle, área de la terminal, total de puntos para contenedores refrigerados, total de grúas. Como <i>output</i> : TEU totales anuales.

<i>Autores</i>	<i>Modelo</i>	<i>Variables</i>
Herrera y Pang (2008)	DEA Eficiencia técnica	<i>Inputs:</i> longitud y número de muelles, área de la terminal, grúas total y número de tráilers. <i>Como output:</i> TEU anuales.
Kaisar, Phatomsiri, Haghani & Kourkounakis (2006)	DEA y FDH Eficiencia técnica	<i>Inputs:</i> Número de muelles, longitud de muelle, área total, almacenes, grúas, tractores de patio. <i>Como output:</i> TEU anuales.
Rios y Gastaud (2006).	DEA Eficiencia técnica	<i>Inputs:</i> Número de grúas, número de empleados, área de terminal, número de muelles, número de equipos de patio. <i>Output:</i> número de contenedores y promedio de contenedores manejados por hora.
Wuang, Dong-Wook y Cullinane (2003)	DEA y FDH Eficiencia técnica	<i>Inputs:</i> longitud de muelle, el área de la terminal, el número de grúas pórtico y grúas y equipo de patio, el número de transportistas. <i>Como output:</i> número de TEU anuales.
Barros (2003)	DEA	<i>Inputs:</i> número de empleados y valor en libro de bienes. <i>Outputs:</i> barcos, movimiento de carga, volumen de mercancía en toneladas, capital, salarios, carga suelta, carga líquida, contenedores.
Tongzon (2001)	DEA Eficiencia técnica y <i>asignativa</i>	<i>Inputs:</i> número de grúas, número de contenedores, muelles, área, tiempo de estadía, trabajadores. <i>Como output:</i> volumen de carga, tarifas portuarias.

Fuente: elaboración propia con base en la literatura revisada.

Después de haber analizado los estudios de diversos autores que han medido la eficiencia técnica con las metodologías DEA y FDH en los puertos, en lo que respecta a los insumos de producción portuaria de contenedores, la terminal depende fundamentalmente del uso eficiente de la mano de obra, la tierra y el equipo. Por otro lado, el número de contenedores es, sin duda, el indicador más importante y ampliamente aceptado como producto del puerto o terminal. Casi todos los estudios previos lo consideran como una variable de salida, ya que se relaciona de forma estrecha con la necesidad de instalaciones y servicios relacionados con la carga y es la base principal sobre la que se comparan los puertos de contenedores. Por lo que la selección de variables quedó de la siguiente manera:

Inputs:

- a. Longitud de muelle.
- b. Número de trabajadores.
- c. Grúas pórtico.

Output:

- a. Contenedores movilizados anualmente.

Resultados

En este apartado se presentan los resultados de eficiencia técnica con la metodología FDH orientación *output*, donde primero se determinó una frontera de posibilidades de producción, que representa una combinación de los puertos mejor observados y, posteriormente, se determinó el grado de eficiencia de cada puerto en la frontera de posibilidades de producción, mediante la distancia de cada uno de ellos hacia la frontera. De tal manera que aquellos que resulten eficientes obtendrán el valor de 1 (Daraio & Simar, 2007).

El análisis FDH muestra que un puerto es relativamente ineficiente si otro utiliza menos insumos para generar los mismos resultados (en este caso, la cantidad de contenedores). Por otro lado, éste es relativamente eficiente si no existe otro que utilice menos insumos para generar los mismos resultados.

En una segunda instancia se aplicó la técnica *bootstrap* para darle robustez a los resultados y reducir el sesgo que pudiera haber en los resultados originales. Para esto, se realizaron 2,000 iteraciones para cada uno de los años de 2005 a 2015.

De la instrumentación del modelo FDH se puede observar que en promedio en ningún año se tuvo eficiencia para los puertos estudiados. El año con el gradol más alto de eficiencia fue 2007, con un promedio del 0.82; mientras que el año menos eficiente fue 2013, con un promedio de 0.58 (véase tabla 4). En resumen, al considerar la aplicación del estadístico *bootstrap*, se tuvo un grado de eficiencia en promedio de 0.68 para todo el periodo. Los únicos puertos eficientes –alcanzaron valores de 1– fueron Singapur y Tanjung Priok, Jakarta, Indonesia, para los años 2014 y 2015.

Tabla 4

Eficiencia técnica de los puertos del sudeste asiático con el modelo FDH con *bootstrap*, 2005-2015

<i>Puerto</i>	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	<i>Promedio</i>
Singapur	0.84	0.98	0.92	0.85	0.86	0.89	0.88	0.90	0.89	1	1	0.91
Tanjung Pelepas	0.90	0.93	0.97	0.87	0.88	0.96	0.80	0.93	0.89	0.85	0.81	0.89
Tanjung Priok, Jakarta,	0.74	0.83	0.92	0.95	0.86	0.83	0.92	0.92	0.95	1	1	0.90
Laem Chabang	0.80	0.88	0.96	0.96	0.81	0.83	0.96	0.88	0.85	0.99	0.96	0.90
Port Kelang	0.93	0.96	0.95	0.97	0.78	0.88	0.84	0.80	0.72	0.80	0.74	0.85
Manila	0.90	0.87	0.92	0.94	0.76	0.66	0.85	0.81	0.83	0.97	0.96	0.86
Seria	0.80	0.91	0.96	0.92	0.73	0.84	0.91	0.81	0.42	0.56	0.58	0.77
Ho Chi Minh	0.81	0.85	0.92	0.75	0.62	0.82	0.70	0.57	0.75	0.83	0.69	0.76
Tanjung Perak, Surabaya	0.81	0.77	0.83	0.83	0.73	0.70	0.53	0.51	0.62	0.83	0.60	0.70
Bangkok	0.69	0.68	0.83	0.37	0.38	0.38	0.32	0.27	0.23	0.23	0.23	0.42
Yangon	0.10	0.09	0.55	0.05	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.10
Sihanoukville	0.11	0.11	0.18	0.08	0.05	0.06	0.05	0.05	0.04	0.05	0.04	0.07
Promedio	0.69	0.72	0.82	0.69	0.60	0.64	0.63	0.59	0.58	0.65	0.64	0.68

Fuente: elaboración propia con base en los resultados del modelo FDH.

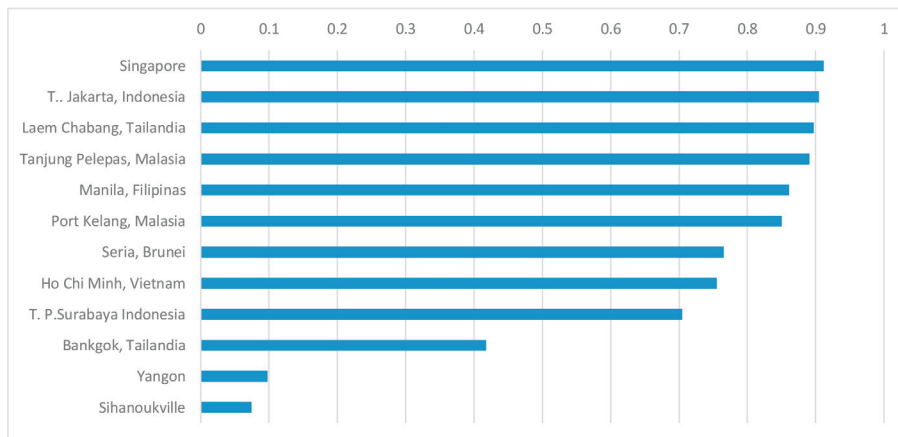
Al inicio del periodo de estudio se tiene un promedio de eficiencia de 0.69, que aumenta para los siguientes años anteriores a la crisis financiera de 2008, a partir de la cual se presenta una tendencia descendente en la eficiencia. En los últimos años de estudio –2014 y 2015–se revierte este comportamiento, sin llegar a alcanzar los promedios obtenidos para 2006 y 2007.

Singapur fue el puerto más eficiente durante todo el periodo revisado, con un valor promedio de 0.91, seguido de Jakarta, Indonesia y Laem Chabang, Tailandia, ambos con un grado promedio de eficiencia de 0.90 (véase gráfica 1). Mientras que los puertos con menores grados de eficiencia en promedio en todo el periodo fueron Sihanoukville, en Camboya, y Yangon, Birmania, con 0.07 y 0.10, respectivamente.

En el caso del puerto de Sihanoukville en Camboya, la Organización Mundial de Comercio (2015) menciona que se caracteriza por la deficiente conectividad del transporte marítimo, ya que el sector del transporte sigue enfrentándose a algunos retos, como los costos elevados del transporte de mercancías (en especial por vía marítima) e infraestructuras inadecuadas. Por otro lado, el puerto de Sihanoukville, como parte de su programa para mejorar la infraestructura, está buscando inversión privada para cubrir necesidades inmediatas, tales como: adquisición de carretillas elevadoras para movimiento de contenedores, grúa de contenedores de muelle, ampliar el patio de almacenamiento de contenedores e instalar la iluminación del área para permitir el trabajo nocturno (Port Autonome de Sihanoukville, 2019).

En el caso del puerto Yangon, Birmania, se han presentado diversos problemas en la terminal de contenedores: congestión en los patios de la terminal debido a que a pesar de que ha habido un crecimiento continuo en los volúmenes de comercio, la infraestructura y el equipo portuarios son insuficientes y deficientes, y los procesos operativos de manejo de la carga son ineficientes, además de que presentan un calado limitado del puerto, lo que significa que los buques más grandes no pueden arribar (Myint, 2014). Lo anterior indica la necesidad de aumentar la inversión en infraestructura para incrementar la capacidad de manejo de carga (véase figura 3).

Figura 3
Eficiencia técnica en los puertos del sudeste asiático
con el modelo FDH con *bootstrap*, 2005-2015



Fuente: Elaboración propia con base en los resultados del modelo FDH.

En la segunda etapa se lleva a cabo un comparativo entre las dos metodologías no paramétricas en la medición de la eficiencia con mayor referencia; esto es, el análisis de la envolvente de datos (DEA, por sus siglas en inglés) –se consideran aquí rendimientos variables y la orientación *output*– y el (FDH) objeto de este estudio. Se aplica, además, el estadístico *bootstrap* con la finalidad de ver con cuál de las dos metodologías los resultados son más robustos. Para este comparativo se contempla el año 2015.

Se observa en la tabla 5 que los resultados del modelo FDH alcanzan grados de eficiencia mayores que con la metodología DEA, tanto en los modelos originales como en aquellos donde se aplica el estadístico *bootstrap*. En el modelo original FDH fueron ocho los puertos eficientes. Con la aplicación del *bootstrap*, en el modelo FDH sólo los puertos de Tanjung Priok, Jakarta, Indonesia y Singapur fueron eficientes, en tanto que, en el modelo DEA con *bootstrap* ningún puerto lo fue.

Se puede observar que los resultados son más robustos con el modelo DEA. Sin embargo, a escala global, las conclusiones van en la misma dirección: en ambos modelos –DEA y FDH–, Singapur es de los puertos más eficientes, mientras que Yangon, Birmania y Sihanoukville, Camboya, siguen siendo los puertos con los menores grados de eficiencia. En estos últimos puertos,

el volumen de contenedores que manejan por año es muy bajo y no tienen operando a su total capacidad los muelles, la superficie de la terminal de contenedores y el número de grúas.

Tabla 5
Eficiencia técnica con los modelos FDH y DEA VRS con *bootstrap*
en los puertos del sudeste asiático, 2015

<i>Puerto</i>	<i>FDH Score original</i>	<i>FDH con bootstrap</i>	<i>DEA VRS</i>	<i>DEA VRS con bootstrap</i>
Seria	0.71	0.58	0.59	0.32
Tanjung Priok, Jakarta	1	1	0.81	0.71
Tanjung Perak, Surabaya	1	.60	1	0.69
Port Kelang	1	.74	0.50	0.45
Tanjung Pelepas	1	.81	0.76	0.70
Singapur	1	1	1	0.83
Laem Chabang	1	0.96	0.84	0.79
Bangkok	0.23	0.23	0.22	0.20
Ho Chi Minh	1	0.69	1	0.73
Yangon	0.04	0.04	0.03	0.03
Sihanoukville	0.05	0.04	0.04	0.03
Manila	1	0.96	0.85	0.72
Promedio	0.75	0.64	0.64	0.52

Fuente: elaboración propia con base en los resultados de los modelos FDH y DEA.

Conclusiones

En esta investigación se presenta el análisis de la eficiencia técnica con el modelo no paramétrico FDH con orientación *output*, aplicado a los 12 puertos más representativos de los países del sureste asiático durante el periodo 2005-2015. Al modelo FDH se le aplica el estadístico *bootstrap* para darle mayor robustez a los resultados. En una segunda instancia se realiza un comparativo entre el modelo FDH y el DEA con rendimientos variables a escala para el año 2015.

Se consideran como *inputs*, la longitud de muelle, el número de trabajadores y las grúas pórtico de la terminal de contenedores de cada uno de los puertos seleccionados; mientras que como *output* se tienen los TEU movilizadas por año. Para la selección de los 12 puertos que se revisarían se tomaron como criterio los puertos de altura de los países del sureste asiático que

movieron más de 125 mil TEU en el año 2015, de las cifras presentadas en el reporte *World Shipping Council* del año 2018 y en el anuario *Containerisation International Yearbook*, 2018.

Después de instrumentar el modelo FDH con el estadístico *bootstrap* se encontró que, en promedio, en ningún año se tuvo eficiencia para los puertos estudiados. El año en el que se presentó el grado más alto de eficiencia fue 2007, con un promedio de 0.82, mientras que el menos eficiente fue 2013, donde se alcanzó en promedio 0.58. En general, se tuvo un grado de eficiencia promedio de 0.68 en todo el periodo. Los únicos puertos eficientes –con valores de 1– fueron Singapur y Tanjung Priok, Jakarta, Indonesia. De manera particular, esta situación nada más se presentó para los años 2014 y 2015.

En la medición de la eficiencia técnica con el modelo DEA con rendimientos variables a escala (DEA VRS) aplicándole el estadístico *bootstrap* para el año 2015, los resultados que se tienen son más robustos que los obtenidos con el modelo FDH. Sin embargo, en general, los resultados van en la misma dirección; esto es, en ambos modelos, FDH y DEA, el puerto de Singapur es de los más eficientes, y Yangon, en Birmania, y Sihanoukville, en Camboya, son los puertos con el menor índice de eficiencia.

Finalmente, la importancia de realizar este tipo de estudios radica en que la medición de la eficiencia de los puertos no sólo es una herramienta de gestión muy importante para las operaciones portuarias, sino que también constituye una aportación fundamental para la planificación y la operación de los puertos regionales y nacionales. En particular, las estimaciones realizadas en este trabajo dan cuenta de la necesidad de que los países del sudeste asiático instrumenten políticas portuarias dirigidas a atender los bajos grados de inversión, a dinamizar los flujos comerciales y, sobre todo, a optimizar los insumos con los que cuentan los puertos, ya que no están siendo aprovechados de forma adecuada.

Referencias

- Association of Southeast Asian Nations (ASEAN). (2018a). ASEAN Investment Report. Recuperado de <https://asean.org/storage/2018/11/ASEAN-Investment-Report-2018-for-Website.pdf>
- Association of Southeast Asian Nations (ASEAN). (2018b). ASEAN *Economic Integration Brief*. Recuperado de https://asean.org/storage/2018/11/AEIB_4th-Issue_r1.pdf

- Association of Southeast Asian Nations (ASEAN). (2018c). ASEAN Statistical Yearbook 2018. Recuperado de <https://asean.org/storage/2018/12/asyb-2018.pdf>
- Barros, C. (2003) Incentive Regulation and Efficiency of Portuguese Port Authorities. *Maritime Economics & Logistics*, 5(1), 55-69. doi: <http://dx.doi.org/10.1057/palgrave.mel.9100060>
- Bogetoft, P. & Otto, L. (2011). *Benchmarking with DEA, SFA, and R*. New York: Springer.
- Briec, W., Kerstens, K. & Vanden, E. P. (2004). Non-convex Technologies and Cost Functions: Definitions, Duality and Nonparametric Tests of Convexity. *Journal of Economics*, 81(2), 155-192. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s00712-003-0620-y>
- Chang, K. (1999). Measuring efficiency with quasiconcave production frontiers. *European Journal of Operational Research*, 115(3), 497-506.
- Cherchye, L., Kuosmanen, T. & Post, T. (2000). What is the economic meaning of FDH? A reply to Thrall. *Journal of Productivity Analysis*, 13(3), 263-267.
- Containerisation International Yearbook. (2018). Recuperado de http://www.iaphworldports.org/iaph/wp-content/uploads/WorldPortTraffic-Data-for-IAPH-using-LL-container_2018_final.pdf
- Coordinación General de Puertos y Marina Mercante (CGPMM). (2014). *Informe estadístico mensual, movimiento de carga, buques y pasajeros*. Recuperado de http://www.sct.gob.mx/fileadmin/CGPMM/U_DGP/estadisticas/2014/Mensuales/04_abril_2014.pdf
- Dang, L., & Yeo, G. (2017). A Competitive Strategic Position Analysis of Major Container Ports in Southeast Asia. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 33(1), 19-25. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ajsl.2017.03.003>
- Daraio, C. y Simar, L. (2007). *Advanced Robust and Nonparametric Methods in Efficiency Analysis: Methodology and Applications*. New York: Springer.
- De Borger, B., Kerstens, K., Moesen, W. & Vanneste, J. (1994). Explaining Differences in Productive Efficiency: An Application to Belgian Municipalities. *Public Choice*, 80(3-4), 339-58.
- Delfín, O., & Navarro, J. C. (2016). Eficiencia económica en los Puertos de México, 2000-2010. *Revista Mexicana de Economía y Finanzas*, 11(3), 85-103. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=4237/423748198005>
- Delfín, O., & Navarro, J. C. (2015). Productividad total de los factores en las terminales de contenedores en los puertos de México: una medición a

- través del índice Malmquist. *Contaduría y Administración*, 60(3), 663-685
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.cya.2015.05.011>
- Deprins, D., Simar, L. & Tulkens, H. (1984). Measuring Labor-Efficiency in Post Offices. En M. Marchand, P. Pestieau & H. Tulkens (Eds.), *The Performance of Public Enterprises: Concepts and Measurements* (pp. 243-267). Amsterdam: North-Holland
- Efron, B. (1979). Bootstrap methods: Another look at jackknife. *The Annals of Statistics*, 7(1), 1-26.
- Giménez, V. (2004). Un Modelo FDH para la Medida de la Eficiencia en Costes en los Departamentos Universitarios. *Hacienda Pública Española*, 168(1), 69-92.
- Gupta, S., Honjo, K. & Verhoeven, M. (1997). The efficiency of government expenditure: Experiences from Africa. *International Monetary Fund. Working Paper No. 971153*.
- Hall, P. (1986). On the Bootstrap and Confidence Intervals. *The Annals of Statistics*. 14(4), 1431-1452.
- Hernández de Labra, F. (1983). *Puertos*. México: Universidad Autónoma de México.
- Herrera, S., & Pang, G. (2008). Efficiency of Infrastructure: The Case of Container Ports. *Economía*, 9(1), 165-194.
- Holvad, T. (1994). *Efficiency Evaluations for Hospitals*. Florence: European University Institute, Department of Economics.
- Kaisar, E., Phatomsiri, S., Haghani, A. & Kourkounakis, P. (2006). Developing Measures of Us Ports Productivity and Performance: Using DEA and FDH Approaches. *Transportation Research Forum*, 1, 269-280.
- Kawai, M., & Naknoi, K. (2015). ASEAN Economic Integration through Trade and Foreign Direct Investment: Long-Term Challenges. *ADB Institute. Working Paper 545*.
- Kerstens, K. & Vanden, E. P. (1998) Estimating Returns to Scale Using nonparametric Deterministic Technologies: A New Method Based on Goodness-of-Fit. *European Journal of Operational research*, 113(1), 206-214. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217\(97\)00428-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00428-1)
- Korostelev, A., Simar, L. & Tsybakov, A. (1995). Efficient Estimation of Monotone Boundaries. *The Annals of Statistics*, 23(2), 476-489.
- Myint, K. (2014), Myanmar Country Report. En F. Zen & M. Regan (Eds.), *Financing ASEAN Connectivity, ERIA Research Project Report FY2013, No.15*. (pp. 219-264). Jakarta: ERIA.

- Lagoudis, I., Rice, J. & Salminen, J. (2014). Port Investment Strategies under Uncertainty: The Case of a Southeast Asian Multipurpose Port. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 30(3), 299-319. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajsl.2014.12.003>
- López, H. (1999). *Operación, administración y planeación portuarias*. México: Editorial AMIP
- Martner, C. (2010). Puertos, espacio y globalización: el desarrollo de hubs en México. *Convergencia*, 17(52), 319-360. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-14352010000100013&lng=es&tlng=es
- Martner, C. (2002). Puertos pivotes en México: límites y posibilidades. *Revista de la CEPAL*, (76), 123-141. Recuperado de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/10805/076123141_es.pdf?sequence=1
- Monroe, R. (2016). *Analysis of Hub Ports in Southeast Asia and Northeast Asia. Trabajo presentado en INFORMS Annual Meeting Nashville, Tennessee, USA*. Resumen recuperado de https://www.researchgate.net/publication/313083741_Analysis_of_Hub_Ports_in_Southeast_Asia_and_Northeast_Asia
- Munisamy, S. (2010). Knowledge Management and Innovation: A Business Competitive. *Edge Perspective*, 1(3), 1-1.
- Ojeda, J. (2011). La problemática portuaria en México en perspectiva 1982-2004. Hacia nuevos paradigmas. *Regulación de infraestructura de Transporte*, 121-170.
- Organización Mundial de Comercio (OMC) (2015). Estadísticas del Comercio Internacional 2015, recuperado de https://www.wto.org/spanish/res_s/statis_s/its2015_s/its15_highlights_s.pdf
- Port Autonome de Sihanoukville (2019). *Port Facilities*. Recuperado de <http://www.pas.gov.kh/en>
- Ray, S. (2004). *Data Envelopment Analysis: Theory and Techniques for Economics and Operations Research*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Rios, A. & Ramos, F. (2018). Efficiency Container Ports in Brazil: A DEA and FDH approach. *Central European Review of Economics and Management*, 2(1), 43-64.
- Rios, L. & Gastaud, A. (2006). Analysing the relative efficiency of container terminals of Mercosur using DEA. *Maritime Economics & Logistics*, 8(4), 331-346. doi: <http://dx.doi.org/10.1057/palgrave.mel.9100168>

- Sien, C., Goh, M. & Tongzon, J. (Eds.). (2003). *Southeast Asian Regional Port Development: A Comparative Analysis*. Singapore: Institute of Southeast Asian Studies (ISEAS).
- Simar, L. & Wilson, W. P. (2004). *Performance of the bootstrap for DEA estimators and iterating the principle*. En W. W. Cooper, M. L. Seiford, J. Zhu (Eds.), *Handbook on Data Envelopment Analysis* (pp. 265-298). The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Simar, L. & Wilson, P. (1998). Sensitivity Analysis of Efficiency Scores: How to Bootstrap in Nonparametric Frontier Models. *Management science*, 44(1), 49-61.
- Simar, L., & Wilson, P. (2007). Estimation and Inference in two-stage, semiparametric models of production processes. *Journal of Econometrics*, 136, 31-64.
- Tam, M. (2008). *Una aproximación a la eficiencia técnica del Gasto Público en Educación en las regiones del Perú*. CIES Consorcio de Investigación Económica y Social. Recuperado de [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/E31BE6DCAC08E16305257CD70078C51C/\\$FILE/EficienciaT%C3%A9cnicaGastoP%C3%BAblicoEnEducaci%C3%B3n.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/E31BE6DCAC08E16305257CD70078C51C/$FILE/EficienciaT%C3%A9cnicaGastoP%C3%BAblicoEnEducaci%C3%B3n.pdf)
- Thanassoulis, E. (2001). *Introduction to the Theory and Application of Data Envelopment Analysis: A Foundation Text with Integrated Software*. Birmingham, England: Springer.
- Thrall, R. (1999). What is the economic meaning of FDH? *Journal of Productivity Analysis*, 11(3), 243-250. doi: <http://dx.doi.org/10.1023/A:1007742104524>
- Tongzon, J. (2001). Efficiency Measurement of selected Australian and other international ports using data envelopment analysis. *Transportation Research Part A, Policy and Practice*, 35(2), 113-128.
- Tulkens, H. (1993). On FDH Efficiency Analysis: Some Methodological Issues and Applications to Retail Banking, Courts, and Urban Transit. *Journal of Productivity Analysis*, 4(1-2), 183-210.
- United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD). (2014). *Review of Maritime Transportation 2014*. Nueva York: United Nations. Recuperado de https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2014_en.pdf
- Wilson, J., & Otsuki, T. (2007). *Regional Integration in South Asia: What Role for the Trade Facilitation*. *World Bank Working Paper* 4423.
- World Bank (2019). *Exports Wanted*. doi: <http://dx.doi.org/10.1596/978-1-4648-1407-5>

- World Shipping Council (2018). *Top 50 World Container Ports*. Recuperado de <http://www.worldshipping.org/about-the-industry/global-trade/top-50-world-container-ports>
- Wuang, T., Song, D., & Cullinane, K. (2003). Container Port Production Efficiency: A Comparative Study of DEA and FDH Approaches. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 5, 698-713.