

## Eficiencia económica en los Puertos de México, 2000-2010

Odette Virginia Delfín Ortega\*

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo,  
Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales

José César Lenin Navarro Chávez

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo,  
Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales

(Recibido 12 de octubre 2015, aceptado 18 de enero de 2016.)

---

---

### Resumen

Este estudio tiene como objetivo determinar la eficiencia técnica, *asignativa* y económica de los puertos de México en el periodo 2000-2010, utilizando la metodología del Análisis de la Envolvente de Datos (DEA) con la técnica *bootstrap* para darle robustez a las estimaciones obtenidas. En los resultados se observa que en general, ningún puerto fue económicamente eficiente. Sin embargo, los puertos de Manzanillo, Progreso, Veracruz y Altamira obtuvieron los niveles más altos de eficiencia. La principal limitante del trabajo, se encuentran en el período de estudio considerado, ya que no se dispuso de la información requerida para todos los puertos en años anteriores, principalmente, en lo concerniente a los precios. La originalidad de la investigación está en el cálculo de las eficiencias técnica, de escala, *asignativa* y económica con *bootstrap* en los puertos de México, ello debido a que no se tienen estudios con estas características específicas, como se observa en la revisión de la literatura. Se concluye que en general, en materia de eficiencia económica, no se tuvo una adecuada utilización de los recursos del sector portuario en nuestro país.

Clasificación JEL: C67, L92.

Palabras clave: Eficiencia económica, DEA, Bootstrap, Puertos de México.

## Economic Efficiency in Mexico Ports, 2000-2010

### Abstract

This study aims to determine technical, *allocative* and economic efficiency of Mexico ports in the period 2000-2010, using Data Envelopment Analysis (DEA) methodology with *bootstrap* technique to give robustness to estimates obtained. The results show that in general, any port was economically efficient. However, Manzanillo, Progreso, Veracruz and Altamira ports had the highest levels of efficiency. The main limitation of this paper, is in the study period considered, because it was not available the required information for all ports in previous years, mainly as regards prices. The originality of the research is the calculation of technical, scale, allocative and economic efficiencies with Bootstrap at the ports of Mexico, this because there are not studies with these specific characteristics, as noted in the literature review. It is concluded that in general, in terms of economic efficiency, it has not had an appropriate use of resources in port sector in our country.

JEL Classification: C67, L92.

Key Words: Economic Efficiency, DEA, Bootstrap, Mexico Ports.

---

\* Calle 8 de Mayo No. 269 Col. Lomas de Hidalgo. Morelia Mich. Tel: (443) 3165131.  
Correo Electrónico: odettedelfin@hotmail.com

## 1. Introducción

El sistema portuario nacional cumple un importante rol en la competitividad del comercio exterior, ya que es un importante centro de desarrollo económico y social y constituye un punto de conexión esencial entre el transporte marítimo, terrestre y ferroviario. En el año 2013, los puertos mexicanos operaron 287, 912,406 toneladas de diversos productos y en tráfico de contenedores se movieron 4, 892,881 TEUs, en ambos litorales (SCT, 2014).

Los puertos son piezas claves en la competitividad del país, ante puertos ineficientes, los costos de las exportaciones e importaciones se encarecerían, lo que tendría un impacto en el crecimiento económico (Ojeda, 2011). En este sentido, un análisis económico de los puertos es de suma importancia, dado su papel como nodo intermodal y de plataforma logística en la cadena de transporte. Por ello, es de gran interés medir y evaluar las ineficiencias en la prestación de los servicios portuarios.

Los puertos son organizaciones complejas donde se interceptan operadores que desarrollan actividades de diversa naturaleza, tienen objetivos diferentes y están sujetos a niveles de competencia y regulación distintas. Debido a esta situación, no es conveniente analizar el puerto globalmente, sino que es preferible centrar el estudio en una actividad concreta, que debe estar claramente especificada (Díaz-Bautista, 2008). Las actividades más analizadas son las relacionadas con las terminales de manipulación de carga, fundamentalmente, las de contenedores. En esta dirección el estudio tiene como objetivo determinar la eficiencia técnica, *asignativa* y económica de las terminales de contenedores de los principales puertos de México en el periodo 2000-2010, utilizando la metodología del Análisis Envolvente de Datos (DEA).

La investigación inicia con el análisis de la eficiencia técnica de los puertos donde se considera que a partir de la combinación de *inputs* y *outputs*, el nivel de eficiencia técnica de cada puerto viene determinado por el resultado de la utilización óptima de sus insumos. Para tener una visión completa, se calcula también la eficiencia técnica pura y de escala.

Posteriormente se determina la eficiencia de costos de los insumos -utilizados para poder determinar la eficiencia *asignativa*-, la cual muestra las relaciones de entradas observadas que minimizan los costos de producción de los puertos, dados los precios de los insumos. Enseguida, se calcula la eficiencia *asignativa* a partir del cociente de la eficiencia de costos y la eficiencia técnica. Finalmente, se obtiene la eficiencia económica que es el producto de la eficiencia técnica y de la eficiencia *asignativa*.

Se realiza un análisis estadístico para darle robustez a los resultados, a través de la técnica *bootstrap* (Simar & Wilson, 1998), y así fortalecer los resultados obtenidos con la metodología DEA sobre perturbaciones que pueden sesgar la estimación de la eficiencia. En esta investigación se considera la hipótesis de que la eficiencia *asignativa* es quien determinó el comportamiento de la eficiencia económica en las terminales de contenedores de los principales puertos de México en el periodo 2000-2010.

## 2. Materiales y Métodos

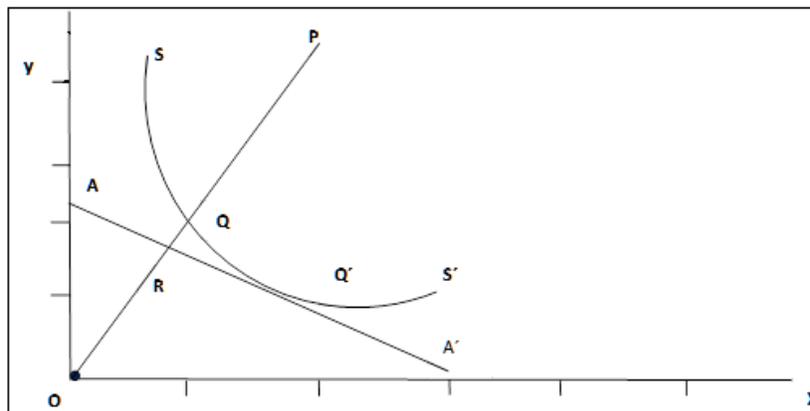
Las técnicas de análisis de eficiencia mediante la “función frontera” son consideradas las alternativas más adecuadas para medir la eficiencia portuaria, ya que para su aplicación se utilizan indicadores de *inputs* y *outputs* calculables para este tipo de estudios (González y Trujillo, 2007).

La eficiencia analizada bajo el método no paramétrico del Análisis Envolvente de Datos (DEA) fue iniciado por Farrell (1957) y reformulada como un problema de programación matemático por Charnes, Cooper y Rhodes (1978). Dado un número de unidades de producción, que son las Unidades de Manejo Decisión (DMU), se construye una frontera de eficiencia de la muestra de unidades de producción. El método permite determinar la eficiencia de los puertos y así examinar su posición en relación con la situación óptima.

La metodología DEA pertenece al grupo de los denominados métodos de frontera, en los cuales se evalúa la producción respecto a las funciones de producción, donde por función de producción se entiende el máximo nivel de *output* alcanzable con una cierta combinación de *inputs*, o bien, el mínimo nivel de *inputs* necesario en la producción de un cierto nivel de *outputs* (Coelli *et al.*, 1998).

En su trabajo Farrell diferenció entre eficiencia técnica y eficiencia *asignativa*. En todo proceso de producción, la eficiencia técnica orientada a los *inputs* viene dada por el consumo de *inputs* mínimo necesario para lograr un determinado volumen de *outputs*. Por otra parte, una empresa es eficiente en precios o *asignativamente* cuando combina los *inputs* en la proporción que minimiza sus costes. En la primera se comparan los *inputs* y los *outputs* en unidades físicas, y en la segunda se añaden los precios de los factores de producción. La combinación de estos dos indicadores proporciona una medida de la eficiencia denominada “económica” o “global”.

Figura 1. Eficiencia Técnica, *Asignativa* y Global.



Fuente: Farrell, 1957.

En la figura 1, el punto *P* representa los *inputs* de dos factores por una unidad de *output*. La isocuanta *SS'* representa varias combinaciones de dos factores que

una firma eficiente debe de usar para producir una unidad de producción. La eficiencia técnica está definida como  $\frac{OQ}{OP}$ . Por otro lado, una firma necesita usar varios factores de la producción en las mejores proporciones desde el punto de vista de sus precios, por lo que la eficiencia de precios está representada por  $\frac{OR}{OQ}$ . Si la firma observada es eficiente tanto técnicamente como en sus precios, se está hablando entonces de una eficiencia económica (o global) y está representada por  $\frac{OR}{OP}$  (Farrell, 1957).

Diversos autores han continuado los estudios iniciados por Farrel utilizando la metodología DEA haciendo diversas aportaciones, en el caso de los autores, Cook, Tone y Zhu (2014), presentan un trabajo donde se abordan los problemas que los investigadores usualmente tienen al momento de realizar esta técnica. Estos problemas incluyen la orientación del modelo, la selección y el número de *inputs* y *outputs* en relación con el número de unidades de toma de decisiones (DMUs). Por su parte Cooper, Seiford y Zhu (2011), en su trabajo estudian los modelos DEA desde los inicios del uso de esta técnica hasta sus últimas contribuciones.

## 2.1 Eficiencia Técnica

La literatura sobre la eficiencia técnica tiene su origen en los primeros años de la década de los 50s. La primera definición formal de la eficiencia técnica se debe a Koopmans (1951:460) “es aquella en donde un incremento en cualquiera de los *outputs*, exige una reducción en al menos de uno de los restantes o el incremento de alguno de los *inputs*, y la primera medida de la eficiencia técnica es propuesta por Debreu (1951) y Shephard (1953), aunque con diferente orientación (*output* e *input*, respectivamente).

Los modelos DEA pueden clasificarse en función de (Coll & Blasco, 2006):

- El tipo de medida de eficiencia que proporcionan: modelos radiales y no radiales
- La orientación del modelo: *input* orientado, *output* orientado ó *input-output* orientado.
- La tipología de los rendimientos a escala que caracteriza la tecnología de producción entendida ésta como la forma en que los factores productivos pueden caracterizarse por la existencia de rendimientos a escala: constantes o variables.

El estudio de Farrell (1957) se complementa con el trabajo de Charnes, Cooper y Rhodes (1978), que partía de rendimientos a escala constantes (CRS), de forma tal que un cambio en los niveles de *inputs* conlleva a un cambio proporcional en el nivel del *output*.

La fórmula para el modelo con rendimientos constantes con orientación *input* en su forma envolvente es la siguiente (Zhu and Cook, 2007):

$$\begin{aligned} \theta^{(*)} &= \min_{(\theta, \lambda)} \theta & (1) \\ \text{St. } Y\lambda &\geq Y \\ X\lambda &\leq \theta X_i \\ \lambda &\geq 0 \end{aligned}$$

Donde  $\theta^{(*)}$  es la solución óptima de eficiencia,  $\theta$  indica la distancia en *inputs* a la envolvente de datos, es decir la medida de eficiencia.  $X$  es la matriz de *inputs*,  $Y$  es la matriz de *outputs*,  $\lambda$  es el vector de pesos o intensidades,  $X_i Y_i$  representan los valores de *inputs* y *outputs* respectivamente.

Posteriormente, Banker, Charnes y Cooper (1984) extendieron el modelo original para incluir rendimientos a escala variables (VRS). Considerando que diversas circunstancias como la competencia imperfecta, las restricciones en el acceso a fuentes de financiación, etc., pueden provocar que las unidades no operen a escala óptima. Este modelo propone una modificación al programa lineal original con rendimientos a escala constantes al cual se le agrega una restricción:  $N1'\lambda = 1$ . De tal manera que el modelo de rendimientos variables a escala con orientación input queda de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \theta^{(*)} &= \min_{(\theta, \lambda)} \theta & (2) \\ \text{St. } Y\lambda &\geq Y \\ X\lambda &\leq \theta X_i \\ N1'\lambda &= 1 \\ \lambda s^+, s^- &\geq 0 \end{aligned}$$

La unidad evaluada será calificada como eficiente, según la definición de Pareto-Koopmans, si y solo si en la solución óptima  $\theta^{(*)} = 1$  y las variables de holguras son todas nulas, es decir  $s^{(+*)} = 0$  y  $s^{(-*)} = 0$  (Zhu and Cook, 2007).

### 2.2 Eficiencia de Escala

A partir de la propuesta de Banker, Charnes y Cooper (1984), se pudo descomponer a la eficiencia técnica global en eficiencia técnica pura y eficiencia de escala. Para poder realizarlo se deben calcular los dos modelos: CRS y VRS con los mismos datos, si existe una diferencia para las dos mediciones para una DMU en particular, entonces significa que esa DMU posee ineficiencia de escala y que el valor de ineficiencia es la diferencia entre la medición CRS y VRS (Coll & Blasco, 2006).

La eficiencia técnica global (ETG) puede ser descompuesta en Eficiencia Técnica Pura (ETP) y Eficiencia de Escala (EE). Por lo tanto

$$ETG = ETP * EE \tag{3}$$

$$E = \frac{\theta CRS}{\theta VRS}$$

### 2.3 Eficiencia Asignativa

La eficiencia *asignativa* o eficiencia de precio, fue introducida por Farrell (1957) y se puede calcular cuando los precios de los insumos o de los productos son conocidos. De esta manera, la eficiencia *asignativa* de los *inputs* refleja la combinación de insumos en óptimas proporciones dado los precios de los mismos; de una manera similar cuando se conocen los precios de los *outputs*, se puede calcular la eficiencia de ingresos y de una manera global teniendo

los precios de ambos: *inputs* y *outputs* se puede calcular la eficiencia de las ganancias (Thanassoulis, 2001).

De acuerdo a la propuesta de Farrell, la eficiencia *asignativa* de los *inputs* se obtiene en dos etapas, primero se determina la eficiencia técnica; posteriormente, se requiere calcular la eficiencia de costos, introduciendo los precios de los insumos. Para ilustrar la eficiencia de costos, se representa  $w$  con los precios de los *inputs*, donde se pretende la minimización de costos de los insumos, asociado con la producción de una salida dada. El modelo queda de la siguiente manera (Bogetoft & Otto, 2011):

$$\text{Min } wx \text{ sujeto a } (x, y) \in T$$

Usando DEA con rendimientos constantes, se calcula  $C_{(j^o)}$  que es el menor costo en el que un DMU puede producir y se resuelve con el siguiente modelo (Thanassoulis, 2001):

$$C_{(j^o)} \text{Min } \sum_{(i=1)}^m w_{ij^o} x_i$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j x_{ij} \leq x_j \quad i = 1 \dots m$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j y_{rj} \geq y_{rj^o} \quad r = 1 \dots s$$

$$\lambda_j \geq 0, j = 1 \dots N \geq 0, x_i \geq 0, \forall i$$

Donde:

$j$  son los DMUs.

$x_{ij}$  son los *inputs*.

$y_{rj}$  son los *outputs*.

$w_{ij}$  son los precios de los *inputs*.

Para obtener entonces el índice de eficiencia de costes, se calcula la relación del mínimo costo óptimo con respecto al costo observado para cada DMU.

$$CE_i = \frac{w_i x_i^*}{w_i x_i} \tag{5}$$

Donde:

$w_i x_i^*$  representa el mínimo costo óptimo.

$w_i x_i$  representa el costo actual.

Finalmente el índice de eficiencia *asignativa* es calculado como la relación entre la eficiencia de costos y la eficiencia técnica, es decir:

$$AE = (x^o, y^o) = (CE(x^o, y^o))/ET(x^o, y^o) \tag{6}$$

## 2.4 Eficiencia Global o Económica

La eficiencia global, también se le llama eficiencia económica, y es la longitud de la línea que va desde el origen hasta el punto que representa la unidad considerada. Se obtiene mediante el cociente entre la longitud de la línea que va desde el origen hasta el punto proyectado sobre la isocosto eficiente y la longitud de la línea que va desde el origen hasta el punto que representa a la unidad considerada (Coll y Blasco, 2006). Farrell (1957) descompuso la eficiencia global de la siguiente manera (ver figura 1):

$$\text{Eficiencia Global (Eficiencia Económica)} \quad EE = \frac{OR}{OP} = \frac{OQ}{OP} * \frac{OR}{OQ} \quad (7)$$

## 2.5 Técnica Estadística Bootstrap

El *bootstrap* es una herramienta estadística que fue introducida por Efron (1979), para analizar la sensibilidad de las medidas de eficiencia a una muestra de variación. Posteriormente, Simar (1992) proporcionó la primera aplicación que, en un contexto de frontera, se sirvió del *bootstrap* al incorporarlo a la estimación semiparamétrica de modelos de datos panel. Sin embargo, la adaptación consistente del *bootstrap* a estimaciones del DEA fue formulada por primera vez por Simar y Wilson (1998).

Una de las críticas al modelo DEA es que asume que todas las distancias entre las eficiencias observadas y la frontera eficiente, reflejan ineficiencia. De cualquier manera, la distancia de una observación de la frontera eficiente, refleja ineficiencia y ruido. Esto es porque la observación *input-output*, debería de estar normalmente sujeta al error.

El DEA, en lo que llamamos el mundo real, estima, mediante la muestra, una frontera de producción y respecto a ella obtiene las medidas de eficiencia. Esta frontera sabemos, que por construcción, se va a situar en el interior del verdadero conjunto de posibilidades de producción. Es decir, entre la verdadera función de producción y la estimada por el DEA va a existir un sesgo. Este sesgo va a ser diferente en cada empresa y es el que vamos a aproximar con el *bootstrap*.

Para ello 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).

De forma más explícita se puede suponer que en un momento de tiempo denominado  $t$ , los datos que se tienen  $X = [(X_1, Y_1), \dots, (X_n, Y_n)]$ , se pueden considerar generados como una muestra aleatoria de un proceso generador de datos desconocidos ( $P$ ). Aunque se ignore este generador de datos se le puede

caracterizar mediante la especificación de la función de densidad conjunto de la muestra  $f(x, y)$  y del conjunto de posibilidades de producción  $\Psi$ .

$$P(\Psi, f(x, y)) \tag{8}$$

La estimación del proceso generador de datos se obtiene mediante las estimaciones de  $\Psi$  y  $f(x, y)$ , con sus respectivos valores muestrales de modo que:  $\hat{P}(x) = P(\hat{\Psi}, \hat{f}(x, y))$ .

Korostelev, Simar y Tsybakov, (1995) demostraron bajo las condiciones expuestas que  $\hat{\Psi}_{RVS}$  es un estimador consistente de  $\Psi$  independientemente de la forma de la tecnología subyacente. La estimación del conjunto de posibilidades de producción bajo rendimientos variables de escala, por tanto, es la estimación más adecuada si no se conoce con seguridad la forma verdadera de la tecnología. En el caso en el que se necesitara estimar la eficiencia bajo cualquier otro supuesto de rendimientos de escala, el procedimiento *bootstrap* a seguir es el mismo que se desarrollará para rendimientos variables y sólo hay que tener en cuenta que el programa matemático a utilizar en la estimación de la eficiencia es diferente.

La idea del *bootstrap* es generar una muestra aleatoria muy parecida a la real, de tal manera que, los resultados obtenidos en él se puedan considerar similares a los que se hubieran obtenido con los datos verdaderos. 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:

$$X^* = [(X_1^*, Y_1^*), \dots, (X_n^*, Y_n^*)] \tag{9}$$

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

$$\Psi_{RVS}^* \left\{ (x, y) \in \mathbb{R}_+^{p+q} \mid x \geq \sum_{j=1}^n \gamma_j x_j^*, y \leq \sum_{j=1}^n \gamma_j y_j^*, \sum_{j=1}^n \gamma_j, \gamma_j \geq 0 \right\} \tag{10}$$

La eficiencia *bootstrap* que nos interesa es aquella eficiencia 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:

$$\hat{\theta}^*(x_0 y_0)_{RVS} = \inf \left\{ \theta \mid (\theta x_0 y_0) \in \hat{\Psi}_{RVS}^* \right\} \tag{11}$$

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

$$\hat{\theta}^*(x_0 y_0)_{RVS} = \min \left\{ \theta \mid \theta x_0 \geq \sum_{j=1}^n \gamma_j x_j^*, y_0 \leq \sum_{j=1}^n \gamma_j y_j^*, \sum_{j=1}^n \gamma_j = 1, \gamma_j \geq 0 \right\} \quad (12)$$

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

En el caso de la estimación *bootstrap*, en vez de obtener una única muestra repetimos el procedimiento anterior un elevado número de veces para asegurarnos que el sesgo calculado con la muestra *bootstrap*, corresponda al del mundo real. El número de veces  $B$  que se repita el procedimiento será aquel que garantice que la aproximación es fiable, siendo esta fiabilidad mayor a medida que  $B \rightarrow \infty$  y que  $N \rightarrow \infty$ . Normalmente se considera que al menos sean 1000 muestras. Simar y Wilson (2000) recomiendan remuestrear 2000 o incluso un número mayor de veces

### 3. Desarrollo del Modelo

Se propone desarrollar un modelo con rendimientos de escala constantes CRS y rendimientos de escala variables VRS con orientación *input*, ya que se pretenden minimizar los insumos así como sus precios respectivos a una cantidad de *outputs* dados.

Para darle robustez a los cálculos de eficiencia, se aplica la técnica *bootstrap*. Para ello se genera una muestra de los resultados obtenidos en los cálculos de eficiencia técnica con rendimientos constantes y variables con 2000 iteraciones. Una vez obtenidos los cálculos de eficiencia con *bootstrap* se aplican estos resultados a la eficiencia de escala.

Por último, se realiza el cálculo de la eficiencia asignativa y eficiencia económica utilizando el modelo de eficiencia técnica con rendimientos variables con la técnica *bootstrap* aplicada. Para la determinación de la eficiencia asignativa se considera un modelo en base a los costos de los insumos.

Las DMUS que son utilizadas son los puertos de altura de México que manejaron carga contenerizada durante el periodo 2000-2010. Los puertos incluidos son diez: Ensenada, Mazatlán, Manzanillo, Lázaro Cárdenas, Altamira, Tampico, Tuxpan, Veracruz, Progreso y Puerto Morelos. A cada uno de los inputs seleccionados previamente, se les asocia con un “precio” de tal forma que se pueda estimar el costo óptimo respecto al costo observado.

Para calcular la eficiencia de escala, eficiencia técnica pura y eficiencia técnica global se utilizaron los siguientes *inputs* y *outputs*.

*Inputs:*

- Superficie.
- No. de trabajadores.
- No. de grúas.

*Output:*

- Cantidad de teus movilizados anualmente.

Para poder calcular la eficiencia de costos se utilizaron los siguientes precios de *inputs*.

Precios de *inputs*

- 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.

#### 4. Resultados de la Eficiencia Económica en los Puertos de México

A continuación se presentan los resultados de la eficiencia técnica para el modelo DEA VRS con orientación *input*; asimismo, se instrumenta con este modelo la técnica del *bootstrap* para los años 2000, 2005 y 2010.

Para el año 2000, los resultados del modelo DEA original y del modelo con la aplicación del *bootstrap* no se encuentran muy alejados entre ellos, ya que el promedio de eficiencia del primer modelo es de 74.57% y del segundo es de 62.98% (ver tabla 1).

Después de aplicar la técnica *bootstrap*, con los resultados corregidos ningún puerto fue eficiente. Los puertos con los valores más altos fueron Tampico, Puerto Morelos y Progreso en ese orden. Mientras que Ensenada fue el puerto con el menor nivel de eficiencia.

Tabla 1. Eficiencia Técnica VRS con *Bootstrap* 2000.

DMU	DEA VRS	<i>Bootstrap</i>	Sesgo	Desviación Estándar	Frontera Inferior	Frontera Superior
Ensenada	0.309777	0.302721	0.007056	0.014431	0.260428	0.309777
Mazatlán	0.5	0.488902	0.011098	0.02824	0.404348	0.5
Manzanillo	1	0.764791	0.235209	0.262891	0.309777	1
Lázaro Cárdenas	0.4	0.388225	0.011775	0.024486	0.322581	0.4
Altamira	0.407041	0.395817	0.011224	0.025959	0.291966	0.407041
Tampico	1	0.822759	0.177241	0.214288	0.389769	1
Tuxpan	0.841147	0.781709	0.059438	0.113323	0.45686	0.841147
Veracruz	1	0.743044	0.256956	0.284415	0.309777	1
Progreso	1	0.804498	0.195502	0.220161	0.408078	1
Puerto Morelos	1	0.805539	0.194461	0.214281	0.407041	1

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA.

En el año 2005, se observan también resultados cercanos entre ambos modelos. La eficiencia del modelo DEA fue del 78.28%, mientras que, con el bootstrap fue de 67.68% (véase tabla 2).

Una vez aplicada la técnica *bootstrap* ninguno de los puertos fue eficiente. Sobresale sin embargo, el puerto de Manzanillo con un 90% de eficiencia. En tanto que, el puerto menos eficiente fue Lázaro Cárdenas.

Tabla 2. Eficiencia Técnica VRS con *Bootstrap* 2005.

DMU	DEA VRS	<i>Bootstrap</i>	Sesgo	Desviación Estándar	Frontera Inferior	Frontera Superior
Ensenada	0.409744	0.398775	0.010969	0.026	0.306545	0.409744
Mazatlán	0.5	0.461305	0.038695	0.079552	0.25	0.5
Manzanillo	1	0.904303	0.095697	0.121667	0.570921	1
Lázaro Cárdenas	0.326793	0.300255	0.026538	0.042155	0.193357	0.326793
Altamira	1	0.867083	0.132917	0.177685	0.409744	1
Tampico	0.694444	0.650856	0.043588	0.088348	0.411401	0.694444
Tuxpan	0.897093	0.838765	0.058328	0.098685	0.551092	0.897093
Veracruz	1	0.780899	0.219101	0.253865	0.326793	1
Progreso	1	0.779815	0.220185	0.254256	0.346118	1
Puerto Morelos	1	0.786012	0.213988	0.2619	0.326793	1

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA.

Es en el año 2010, donde se obtuvieron los mayores valores de todo el periodo, con un promedio de la eficiencia técnica para el modelo DEA original del 95.13% y para el modelo con bootstrap de 91.48%. Es también el año donde los valores entre ambos modelos son los más cercanos con un promedio de sesgo de 0.03 (ver tabla 3).

Con los resultados ajustados a partir de la técnica bootstrap, es al igual que en el año 2005, el puerto de Manzanillo el que tiene el nivel de eficiencia más elevado. Sin embargo, para el 2010, la brecha de eficiencia entre los puertos se acorta, ya que el 80% tuvieron valores superiores a 0.9.

Tabla 3. Eficiencia Técnica VRS con *Bootstrap* 2010.

DMU	DEA VRS	<i>Bootstrap</i>	Sesgo	Desviación Estándar	Frontera Inferior	Frontera Superior
Ensenada	0.737433	0.730045	0.007388	0.022705	0.653936	0.737433
Mazatlán	1	0.950725	0.049275	0.088502	0.737433	1
Manzanillo	1	0.957773	0.042227	0.075101	0.780569	1
Lázaro Cárdenas	0.824937	0.816208	0.008729	0.030713	0.702104	0.824937
Altamira	1	0.950202	0.049798	0.089719	0.737433	1
Tampico	1	0.947901	0.052099	0.091098	0.737433	1
Tuxpan	0.950889	0.941277	0.009612	0.033166	0.800317	0.950889
Veracruz	1	0.951306	0.048694	0.087298	0.737433	1
Progreso	1	0.950984	0.049016	0.088121	0.737433	1
Puerto Morelos	1	0.952388	0.047612	0.088158	0.737433	1

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA.

#### 4.1 Resultados de la Eficiencia Técnica, Asignativa y Económica

En este apartado se presentan los resultados de la eficiencia *asignativa* y eficiencia económica utilizando los resultados de la eficiencia técnica con rendimientos variables (VRS) y con la aplicación del *bootstrap*, para el período 2000 - 2010. En el año 2000, es la eficiencia *asignativa* quien más incide en el comportamiento de la eficiencia económica en la mayoría de los puertos, sobre todo, Manzanillo, Veracruz y Tampico se distinguen por ser eficientes en esta medida. Si bien los puertos de Tuxpan y Progreso tienen niveles de eficiencia *asignativa* más bien elevados sin ser eficientes, el resto de los puertos se caracterizan por su bajo desempeño en este indicador, lo que significa que no se tuvo una combinación de los insumos en proporciones adecuadas de acuerdo a sus precios.

Son los puertos de Manzanillo, Tampico, Progreso y Tuxpan los que alcanzan mayores niveles de eficiencia económica en ese orden, sin ser eficientes en este indicador. En una situación delicada se encuentran Lázaro Cárdenas, Altamira y Mazatlán con los más bajos niveles de eficiencia económica. Esto es, para estos últimos puertos la reducción de costos debió constituirse en una tarea fundamental en el tránsito de mercancías para el año 2000 (véase tabla 4).

Tabla 4. Eficiencia Económica con *Bootstrap* de los Puertos de México, 2000.

Puerto	Eficiencia de Escala	Eficiencia Técnica Pura	Eficiencia Técnica Global	Eficiencia Asignativa	Eficiencia Económica
Ensenada	0.25747801	0.302721	0.077944	0.1735096	0.013524032
Mazatlán	0.1081321	0.488902	0.052866	0.11916302	0.006299672
Manzanillo	0.61957973	0.764791	0.473849	1.30754677	0.619579729
Lázaro Cárdenas	0.01001739	0.388225	0.003889	0.01073336	4.1742E-05
Altamira	0.05033387	0.395817	0.019923	0.04772683	0.000950862
Tampico	0.61261439	0.822759	0.504034	1.13544793	0.572304362
Tuxpan	0.76589242	0.781709	0.598705	0.73850672	0.442147666
Veracruz	0.24906735	0.743044	0.185068	1.34581532	0.24906735
Progreso	0.95111734	0.804498	0.765172	0.69960547	0.535318517
Puerto Morelos	0.18639818	0.805539	0.150151	0.11252168	0.016895243

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA.

Para el año 2005, son Veracruz, Manzanillo y Altamira los puertos en los que se tiene eficiencia *asignativa*. Así, el primero y el segundo continúan siendo eficientes y es ahora Tampico con Tuxpan los que presentan el menor desempeño en este indicador.

En la eficiencia global o económica es de destacar la situación de los puertos de Tampico y Tuxpan que en el 2000, se encontraban dentro de los que tenían mayores nivel de eficiencia y que ahora se sitúan como los más ineficientes, incidiendo en ellos el inadecuado comportamiento de su eficiencia *asignativa*. Es decir, existen problemas en las proporciones de insumos y precios. En sentido opuesto se ubican Veracruz y Altamira que si bien no se distinguen por tener eficiencia económica si presentan un mejor comportamiento en esta medida (ver tabla 5).

Tabla 5. Eficiencia Económica con *Bootstrap* de los Puertos de México, 2005.

Puerto	Eficiencia de Escala	Eficiencia Técnica Pura	Eficiencia Técnica Global	Eficiencia <i>Asignativa</i>	Eficiencia Económica
Ensenada	0.20446367	0.398775	0.081535	0.28863394	0.023533768
Mazatlán	0.142595463	0.461305	0.06578	0.06351546	0.004178047
Manzanillo	0.473376733	0.904303	0.428076	1.10582404	0.473376732
Lázaro Cárdenas	0.392889377	0.300255	0.117967	0.55452865	0.065416081
Altamira	0.674892715	0.867083	0.585188	1.15329213	0.674892715
Tampico	0.004782932	0.650856	0.003113	0.00614575	1.91317E-05
Tuxpan	0.000135914	0.838765	0.000114	0.00011922	1.35911E-08
Veracruz	0.734722416	0.780899	0.573744	1.23345016	0.707684629
Progreso	0.9089938	0.779815	0.708847	0.77608151	0.55012305
Puerto Morelos	0.079769775	0.786012	0.0627	0.07773418	0.004873933

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA.

Para el 2010, son Tuxpan, Puerto Morelos y Tampico los puertos con los menores niveles de eficiencia económica y tal y como sucede para el 2000 y 2005, es la eficiencia *asignativa* quien determina el comportamiento de la eficiencia económica. Razón por la que debe de ponerse particular atención en la reducción de costos y proporciones adecuadas de insumos y precios (véase tabla 6).

Con mejores niveles de eficiencia económica sin ser eficientes se ubican Veracruz, Altamira, Progreso y Lázaro Cárdenas en ese orden. Puertos estos con altos niveles de eficiencia *asignativa*, dándose por consiguiente una fuerte incidencia de este indicador en la determinación de la eficiencia económica. En general, se puede decir que se presenta esta correspondencia en los puertos objeto de estudio; sin embargo, en puertos como Manzanillo quien define el comportamiento de la eficiencia económica es la eficiencia técnica global, transitando esto por una mejor utilización de los recursos si se quiere alcanzar un mejor nivel de eficiencia económica.

En el caso del Puerto de Lázaro Cárdenas, tuvo incrementos significativos para el 2005 y 2010, tanto en su eficiencia *asignativa* como en su eficiencia económica, expresión ello, de una mejor utilización de sus recursos y combinación de inputs, traducándose esto en una reducción de costos e incremento en la producción en una escala con mejores niveles de eficiencia como se puede observar en las tablas 4,5 y 6.

Tabla 6. Eficiencia Económica con *Bootstrap* de los Puertos de México, 2010.

Puerto	Eficiencia de Escala	Eficiencia Técnica Pura	Eficiencia Técnica Global	Eficiencia Asignativa	Eficiencia Económica
Ensenada	0.39589066	0.730045	0.289018	0.30494011	0.08813318
Mazatlán	0.05051198	0.950725	0.048023	0.06140577	0.00294889
Manzanillo	0.03603985	0.957773	0.034518	1.04408874	0.03603986
Lázaro Cárdenas	0.51375752	0.816208	0.419333	0.89195401	0.37402575
Altamira	0.60627951	0.950202	0.576088	1.0524078	0.6062795
Tampico	0.04298867	0.947901	0.040749	0.03582653	0.0014599
Tuxpan	0.00011155	0.941277	0.000105	0.0000849	8.9145E-09
Veracruz	0.72861519	0.951306	0.693136	1.05118647	0.72861519
Progreso	0.78975251	0.950984	0.751042	0.51482464	0.38665493
Puerto Morelos	0.02092425	0.952388	0.019928	0.02330563	0.00046443

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA.

### 5. Discusión de Resultados

El estudio de la eficiencia a partir de la metodología DEA, ha tomado mayor importancia en los últimos años y en el caso específico de los puertos se han realizado diversos estudios con aportaciones relevantes para este sector.

En la literatura revisada existen autores que han analizado la eficiencia en los puertos, sin embargo, es importante destacar que calculan solamente la eficiencia técnica a través de la metodología DEA y en algunos casos aplican *bootstrap*, pero no obtienen la eficiencia económica. Wanke y Barros (2016), en su estudio sobre eficiencia técnica de los puertos de Brasil utilizan DEA con *bootstrap*. De igual manera, Hong-Oanh Nguyena, Hong-Van Nguyenb, Young-Tae Changc, Anthony T. H. Chind y Jose Tongzonc (2015), trabajan eficiencia técnica con *bootstrap* en los puertos de Vietnam. En esta misma dirección se encuentra el trabajo de Munisamy, y Danxia, (2013), quienes calcularon la eficiencia técnica con *bootstrap* para los puertos en Asia. En tanto que, Halvor Schøyen y James Odeck (2013), solamente trabajan la eficiencia técnica y la eficiencia de escala de los puertos de contenedores de los países de Escandinavia. También Hung, LU, y Wang (2010) trabajaron la eficiencia técnica y la eficiencia de escala en las terminales de contenedores en Asia. Mientras que Rajasekar T, Malabika Deo (2012), solo consideran en su estudio de los puertos hindúes el modelo DEA con rendimientos constantes a escala. Finalmente, Ding, Jo, Wand y Yeo (2015), miden la eficiencia técnica

y productividad de las terminales de contenedores de los puertos de China. En resumen, como se observa para estos trabajos no se calcula la eficiencia económica.

Por otro lado los siguientes autores que se presentan si han calculado la eficiencia económica en los puertos pero ninguno de ellos aplica la técnica *bootstrap* para fortalecer los resultados: Merk y Dang (2012), quienes calculan la eficiencia técnica global de los puertos del mundo y sus diferentes tipos de carga. En los resultados obtenidos la eficiencia técnica pura es el factor más importante para el mejoramiento de la eficiencia global de los puertos a diferencia de los resultados obtenidos en el presente artículo, donde la eficiencia *asignativa* es quien determina la eficiencia económica. Otro aspecto relevante en el trabajo de Merk y Dang, es que identifican que el tamaño del puerto tiene una relación muy estrecha con la eficiencia portuaria.

Díaz-Hernández, Martínez-Budría y Salazar-González (2011), utilizando DEA, calculan las eficiencias técnica, de escala, asignativa y global de los puertos de España, en coincidencia con las eficiencias objeto de estudio en este trabajo. Los resultados muestran que los puertos españoles tienen un nivel de ineficiencia global del 11.3%, y, son el uso excesivo de mano de obra y los insumos intermedios los que causan la ineficiencia técnica, generado un incremento del coste medio del 3.6 %. Estos resultados tienen algunas similitudes con los que se obtuvieron en el presente trabajo, ya que son también los excesos de insumos y la mano de obra los que ocasionan la ineficiencia técnica.

Por su parte Salas y Medal (2004), realizan un estudio de eficiencia económica del sistema portuario español. Calculan la eficiencia técnica y la eficiencia económica, para cada input y output se tienen los precios, de tal manera que obtienen la eficiencia de ganancias a diferencia de esta investigación, donde se obtiene la eficiencia de costos a partir de los precios de los insumos.

## 6. Conclusiones

En este estudio se determinaron los niveles de las eficiencias técnica, de escala, *asignativa* y económica aplicando la técnica *bootstrap*, en las terminales de contenedores de los principales puertos de México en el periodo 2000-2010, utilizando la metodología del Análisis Envolvente de Datos (DEA).

Para el cálculo de la eficiencia DEA se desarrolló un modelo de rendimientos constantes y variables a escala con orientación *input*. Los DMUs que se utilizaron fueron los 10 principales puertos del país que manejan carga contenerizada, utilizando como *inputs* la superficie, el número de trabajadores y el número de grúas y como *outputs* el número de contenedores movilizados anualmente.

Al instrumentar la técnica estadística del *bootstrap* en los modelos DEA CRS y DEA VRS, ninguno de los puertos objeto de estudio fue eficiente para los años considerados -2000, 2005 y 2010-. No obstante, en el modelo DEA VRS es donde los puertos presentan un mejor comportamiento sin ser eficientes, específicamente para el 2010, es el año en el que en general sus niveles de eficiencia se encuentran muy cerca de la unidad.

En la eficiencia *asignativa* con la aplicación del *bootstrap* y rendimientos variables, son Manzanillo, Veracruz y Tampico los únicos eficientes en

este indicador para el 2000, en tanto que, para el 2005 y 2010, son solamente Veracruz, Altamira y Manzanillo los puertos en los que se tiene eficiencia *asignativa*.

En la eficiencia económica con *bootstrap*, para el período 2000 - 2010, ninguno de los puertos en estudio logra ser eficiente. Para el 2000, son los puertos de Manzanillo, Tampico, Progreso y Tuxpan los que alcanzan mayores niveles de eficiencia económica en ese orden. Nuevamente para el 2005, se ubican Manzanillo y Progreso ahora acompañados de Veracruz y Altamira con un mejor comportamiento en esta medida. Y, para el 2010, con mejores niveles de eficiencia económica se encuentran Veracruz, Altamira, Progreso y Lázaro Cárdenas.

La instrumentación de la técnica estadística del *bootstrap*, si bien permite darle una mayor robustez a los resultados, en el caso concreto de las eficiencias revisadas -eficiencia de escala, eficiencia técnica pura, eficiencia técnica global, eficiencia *asignativa* y eficiencia económica- sus valores se redujeron significativamente, por lo cual el número de puertos eficientes disminuyó de manera importante en este estudio.

La hipótesis planteada se cumple ya que es la eficiencia asignativa quien determina el comportamiento de la eficiencia económica en las terminales de contenedores de los principales puertos de México durante el periodo 2000-2010.

En general, en materia de eficiencia económica, no se tuvo una adecuada utilización de los recursos ni combinación de los inputs, expresándose ello, en una elevación de los costos y por consiguiente, en bajos niveles de eficiencia. De ahí la importancia de obtener este indicador, que presenta una idea global, en este caso, de la situación en la que se encuentra el sector portuario mexicano.

En la presente investigación, se realiza la medición de la eficiencia técnica, de la eficiencia de escala, de la eficiencia *asignativa* y de la eficiencia económica con *bootstrap* en los puertos de México. Mientras que autores como Merk y Dang (2012), Díaz-Hernández, Martínez-Budría y Salazar-González (2011), y Salas y Meda (2004), si bien determinaron la eficiencia económica en las terminales portuarias para otros países - Australia, Holanda, China, Colombia, Japón, Brasil, Italia, Sudáfrica, India, Canadá, Egipto, Indonesia, Estados Unidos, Italia, Polonia, Estonia y España -, en ninguno se instrumenta la técnica *bootstrap*. Wanke y Barros (2016), Hong-Oanh Nguyena, Hong-Van Nguyenb, Young-Tae Changc, Anthony T. H. Chind y Jose Tongzonc (2015) y Munisamy,y Danxia, (2013), ciertamente, realizan un análisis de eficiencia a través del DEA con *bootstrap*, pero únicamente calculan la eficiencia técnica.

Actualmente los puertos de Asia son los más competitivos, específicamente el puerto de Shangai, que manejó 35.286 millones de teus y el puerto de Singapur con 33.86 millones de teus en el año 2014 (AAPA, 2016). Mientras que en México, el puerto de Manzanillo fue el que tuvo mayor movimiento de contenedores con 2.55 millones de teus en este año (CGPMM, 2016), lo que hace necesario trabajar en políticas públicas que promuevan el desarrollo portuario en nuestro país.

Finalmente, este trabajo da cuenta del amplio campo de estudio que existe en el sector portuario mexicano, desde la comparación de la eficiencia con otros países y regiones, así como, la instrumentación no solamente de técnicas no

paramétricas, sino también la consideración de las técnicas paramétricas en la medición de la eficiencia y productividad, con lo cual se estarían ampliando líneas de investigación a futuro en este campo.

## Bibliografía

- American Association of Port Authorities (AAPA) (2016). World Port Rankings 2014. *Port Industry Statistics*, recuperado de: <http://www.aapa-ports.org/Industry/content.cfm?ItemNumber=900>
- Banker, R., Charnes, A., and Cooper, W. (1984). Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in data envelopment analysis *Management science*, 30(9) pp.1078-1092.
- Bogetoft, P. and Otto, L. (2011). Benchmarking with DEA, SFA and R, Springer, Stanford University, Austin State University. pp. 102-113.
- Charnes, A., Cooper, W., and Rhodes, E. (1978). Measurement the Efficiency of Decision Making Units. *European journal of operational research*, 2 pp.429-444.
- Coelli, T., Prasada Rao D., and Battese, G.E. (1998). An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis. Boston, Kluwer Academic Publisher.
- Coll, V. y O. Blasco (2006). Evaluación de la eficiencia mediante el análisis envolvente de datos. Edición electrónica. Texto completo en: [www.eumed.net/libros/2006c/197/](http://www.eumed.net/libros/2006c/197/).
- Cook, Tone and Zhu (2014). Data Envelopment Analysis: Prior to Choosing a Model en Omega. 2014. 44 pp. 1-4
- Cooper, W., Seiford, L., and Zhu, J. (2011). Handbook on Data Envelopment Analysis. Springer Editorial.
- Coordinación General de Puertos y Marina Mercante (2016). Manzanillo, movimiento general de contenedores- tráfico de altura. 2014. *Anuarios Estadísticos del Transporte Marítimo Sector de Comunicaciones y Transporte*, recuperado de [http://www.sct.gob.mx/fileadmin/CGPMM/U\\_DGP/estadisticas/2014/Anuario/Anuario.2014.html](http://www.sct.gob.mx/fileadmin/CGPMM/U_DGP/estadisticas/2014/Anuario/Anuario.2014.html)
- Debreu, G. (1951). The Coefficient of Resource Utilization. *Econometrica*, 19(3) pp. 273-292.
- Díaz-Bautista, Alejandro. (2008). México y la política económica portuaria internacional *Comercio Exterior*, 59(9) pp. 685-692.
- Díaz-Hernández J. J., Martínez-Budría, E. and Salazar-González, J. J. (2011). Measurement Efficiency and Returns to Scale with Quasifixed Outputs: An Application of Dynamic Dea to Infrastructure Services in Spanish Ports. *Documentos de Trabajo Seroe Economía*,
- Ding, Jo, Wand, and Yeo (2015). The Relative Efficiency of Container Terminals in Small and Medium-Sized Ports in cChina. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 31(2) pp.231-251.
- Efron, B. (1979). Bootstrap Methods: Another look at Jackknife. *Ann. Stat.*, 7 pp.1-26.
- Farrell, M. (1957). The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society, Serie A*, 120(3) pp. 253-267
- González, M. and Trujillo L. (2007). Efficiency Measurement in the Port Industry: A Survey of the Empirical Evidence. Working Papers. 07/08, Department of Economics, City University London.
- Halvor Schøyen and James Odeck (2013). The Technical Efficiency of Norwegian Container Ports: A Comparison to Some Nordic and Uk Container Ports using Data Envelopment Analysis (dea). *Maritime Economics & Logistics*, 15 pp. 197-221.
- Hung, S., Lu, W., and Wang T. (2010). Benchmarking the Operating Efficiency of Asia Container Ports. *European Journal of Operational Research*, 203(3) , pp. 706.
- Koopmans, T. (1951). Efficient Allocation of Resources *Econometrica*, , 19(4), pp. 455-465.
- Korostelev A., L., Simar, and A. Tsybakov (1995). On Estimation of Monotone and Convex Boundaries. *Pub. Inst. Stat. Univ. Paris*, . 34(1), pp. 3-18.
- Merk, O., and Dang, T. (2012). Efficiency of World Ports in Container and Bulk Cargo (Oil, Coal, Ores and Grain). *OECD Regional Development Working Papers*, 2012/09, OECD Publishing <http://dx.doi.org/10.1787/5k92vgw39zs2-en>

- Munisamy, S., and Danxia, W. (2013). Ranking Efficiency of Asian Container Ports: A Bootstrapped Frontier Approach. *International Journal of Shipping and Transport Logistics*, 5(6) pp. 668-690
- Nguyena, H., Nguyenb, H. Changc, Y., Chind, A. and Tongzonc, J. (2015). Measuring Port Efficiency using Bootstrapped Dea: The case of Vietnamese Ports. *Maritime Policy & Management: The flagship journal of international shipping and port research*, disponible en <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03088839.2015.1107922>
- Ojeda, J.(2011).La problemática portuaria en México en perspectiva 1982-2004, hacia nuevos paradigmas. Regulación en Infraestructura de Transporte. pp. 121-170.
- Port Industry Statistics (2016). World Port Rankings 2014, recuperado de: <http://www.aapa-ports.org/Industry/content.cfm?ItemNumber=900>
- Rajasekar T, and Malabika D. (2012). The Size Effect of Indian Major Ports On Its Efficiency Using Dea-Additive Models. *International Journal of Advances in Management and Economics*, Disponible en [www.managementjournal.info](http://www.managementjournal.info)
- Salas, R., and Medal A. (2004). Estudio de la eficiencia técnica y económica de las terminales de contenedores. ASEPUMA. pp.1-11.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes SCT (2014). Informe estadístico mensual, movimiento de carga, buques y pasajeros, disponible en: [http://www.sct.gob.mx/fileadmin/CGPMM/U\\_DGP/estadisticas/2013/Mensuales/12\\_diciembre\\_2013.pdf](http://www.sct.gob.mx/fileadmin/CGPMM/U_DGP/estadisticas/2013/Mensuales/12_diciembre_2013.pdf)
- Shephard, R. (1953). Cost and Production Functions. Princeton University Press, Princeton.
- Simar L. (1992). Estimating Efficiencies from Frontier Models with Panel Data: A Comparison Of Parametric, Non-Parametric And Semi-Parametric Methods with Bootstrapping. *Jpa* 3 p.p. 171-203.
- Simar, L. and Wilson, P. (1998). Sensitivity Analysis of Efficiency Scores: How to Bootstrap in Nonparametric Frontier Models. *Management Science*, 44(1) pp. 49-61.
- Simar, L. and Wilson, P. (2000). Statistical Inference in Nonparametric Frontier Models: The State of the Art. *Journal of Productivity Analysis*, 13(1) pp. 49-78.
- Simar L. and Wilson, W. (2004). Performance of the Bootstrap for Dea Estimators and Iterating the Principle. Ed. by Cooper W.W., Seiford M.L., Zhu J. *Handbook on Data Envelopment Analysis*, Kluwer Academic Publishers, pp. 265-298.
- Thanassoulis, E. (2001). Introduction to the Theory and Application of Data Envelopment Analysis, A Foundation Text with Integrated Software. Springer, Birmingham, England. 26(33), pp. 81-84.
- Wanke and Barros (2016). New Evidence on the Determinants of Efficiency at Brazilian Ports: A Bootstrapped Dea Analysis. *Int. J. Shipping and Transport Logistics*, 8(3), pp. 250-272
- Zhu, J. and Cook W. (2007). Modeling Data Irregularities and Structural Complexities in Data Envelopment Analysis. Springer, New York.