



Las opiniones y los contenidos de los trabajos publicados son responsabilidad de los autores, por tanto, no necesariamente coinciden con los de la Red Internacional de Investigadores en Competitividad.



Esta obra por la Red Internacional de Investigadores en Competitividad se encuentra bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 3.0 Unported. Basada en una obra en riico.net.

**Las terminales contenedoras en el pacífico de América del Norte,
2005 -2008: Un análisis a través de la envolvente de datos (Dea)**

M.A. YENISEY CASTRO GARCÍA*¹
DR. JOSÉ CÉSAR LENIN NAVARRO CHÁVEZ*

Resumen

El mercado global internacional actual, ha generado que los puertos se esfuercen por demostrar sus ventajas y oportunidades potenciales para permanecer en el mercado portuario. Según varios autores concluyen que la eficiencia de la terminal afecta directamente al desempeño del puerto, por tal motivo es de gran importancia que se lleven a cabo adecuadas evaluaciones de las operaciones. Este estudio aplica un modelo de eficiencia con la metodología DEA junto con otros dos análisis que proveerán la robustez econométrica de la cual carece el DEA. El modelo se utilizó en las terminales contenedoras de los principales puertos ubicados en el pacífico de América del Norte debido a que estas mueven más del 50% de TEUs anualmente desde 1990. Los resultados proveen información valiosa respecto al uso de la metodología y sus beneficios al momento de realizar el análisis de los resultados contribuyendo a la literatura portuaria.

Palabras clave: Terminales Contenedoras, Eficiencia, DEA, Bootstrap.

Abstract:

Global international market, has generated that ports strain for demonstrating his advantages and potential opportunities to remain at the port market sector. According to several authors they conclude that Terminal's efficiency affect directly to port performance. For this motive port performance evaluation should be carry out accurately. In this study a DEA efficiency model and other two analyses were applied to performance results in order to provide the econometric part to DEA methodology. The model was in use in container terminals located at the principal ports at the pacific shore in North America due to the fact that these terminals move more than 50 % of TEUs annually since 1990. Results provide valuable information to port performance literature.

Keywords: Efficiency, DEA, Bootstrap, containers port.

* Profesores Investigadores del Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales ININEE, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

1. Introducción

La globalización de la economía mundial ha generado un importante crecimiento en el rol del transporte a nivel mundial. En particular, el transporte de carga conterizada juega un papel clave en este proceso; en gran parte debido a las numerosas ventajas técnicas y económicas que posee esta carga sobre los métodos tradicionales de transporte (Cullinane & Wang, 2010).

Se estima que a nivel mundial el movimiento de carga contenerizada, creció un 4 por ciento alcanzando los 506 millones de contenedores para 2008, contribuyendo a esta cifra los puertos chinos con un 22.6 por ciento (UNCTAD, 2009). Según (Lin, Liu, Zhang.C., & Murty, 2003)afirman que las terminales contenedoras son fundamentales en un mercado internacional globalizado debido a que el nivel de eficiencia de las terminales afecta directamente la competitividad del puerto y a su vez del país.

Debido a que en los puertos se llevan a cabo diversas y muy variadas actividades (servicios a compañías navieras, transportes terrestres y de carga) varios autores concuerdan que es mejor centrar la investigación en una sola actividad (Cullinane, 2004), limitar el número de puertos o por el tipo de carga (Tongzon, 2001). Según (Wang, Song, & Cullinane, 2002) comentan que las terminales deben analizarse entre terminales en vez de considerar todo el puerto.

El comportamiento de las terminales deberá evaluarse a través de técnicas diseñadas para medir productividad o eficiencia, con la finalidad de que los ejecutivos encargados de la toma de decisiones estén en la posibilidad de identificar las áreas de oportunidad de mejora y conocer el uso de recursos de sus competidores. La aplicación de la técnica DEA ha sido ampliamente aplicado a diversos campos; (Camanho & Dyson, 2005) en el sector bancario; (Barros, 2005) en el sector hotelero; (Butler & Li, 2005) en hospitales, etc. La cantidad de trabajos publicados en diferentes periódicos y revistas, utilizando esta metodología, sugiere la amplia aplicación que tiene el DEA.

El presente estudio utiliza mediciones DEA para analizar la eficiencia relativa y técnica de las terminales contenedoras localizadas en los puertos de América del Norte, del periodo 2005-2008. El objetivo de este trabajo consiste en calcular la eficiencia de las terminales contenedoras del periodo seleccionado para poder realizar un comparación entre las terminales contenedoras. Para este proceso se aplicaran los modelos básicos del DEA, BCC y CCR. Y para robustecer la técnica se aplicará un análisis Booststrap que ayuda a identificar la sensibilidad de los datos, proveyendo la parte estadística de la cual carecen los modelos no paramétricos, situación que ha sido la mayor

crítica de la herramienta DEA. En adición se aplica un análisis slack para conocer el grado de mejora de las variables ineficientes.

El artículo se divide de la siguiente forma: la sección 2 se establecen los fundamentos teóricos y metodológicos de la investigación, la metodología del DEA y el bootstrap. En la sección 3 trata los estudios portuarios que han utilizado la metodología DEA así como se expone un panorama sobre la situación de la carga contenerizada en América del Norte. La sección 4 se operacionaliza la metodología y se analizan los resultados. Y la sección 6 muestra las conclusiones.

2. Mediciones DEA Fundamentos Teóricos y Metodológicos

DEA es una técnica de programación matemática que nos ayuda a crear una superficie envolvente, frontera de eficiencia o una función de producción empírica, partiendo de un conjunto de Unidades que conforman la envolvente y se nombran como unidades eficientes y aquellas que no se ubican dentro de la envolvente son consideradas como no eficientes.

La frontera de producción es normalmente desconocida y, en la práctica, sólo puede ser estimada. La literatura sobre modelos de frontera fue iniciada con la contribución de Farrell (1957), quien ofrece un trabajo riguroso y completo para analizar la eficiencia entre las unidades de producción y/o empresas (DMU² en lo sucesivo).

La importancia del análisis DEA radica el análisis de información de inputs y outputs de las unidades de estudio y de esta manera estimar la eficiencia relativa de las unidades de decisión comparando cada una de ellas solamente con las mejores unidades de decisión DUM del mismo conjunto. En este tipo de método, se asume que si A es capaz de producir $Y(A)$ resultados con $X(A)$ insumos, entonces los otros productores deben de producir lo mismo que A para poder ser eficientes (Arieu 2003).

En (Charnes et al., 1994) se provee una introducción a DAE y algunas metodologías importantes que extienden la efectividad de las herramientas de análisis. DEA en un modelo de análisis multifactorial para medir la eficiencia relativa de una muestra homogénea de unidades DMUs. La medida de eficiencia se da en presencia de múltiples inputs y outputs definidos como:

$$\textit{Eficiencia} = \textit{peso de la suma de los outputs} / \textit{peso de la suma de los inputs}$$

² Decision Making Unit

Asumiendo que existen n DMUs, cada una con m inputs y s outputs, el valor de la eficiencia relativa de una DMU P en prueba es obtenida resolviendo al siguiente modelo propuesto por (Charnes et al.(1978)):

$$\begin{aligned} & \max \sum_{k=1}^s v_k y_{kp} - \sum_{j=1}^m u_j x_{jp} \\ \text{s.t.} \quad & \max \sum_{k=1}^s v_k y_{ki} - \sum_{j=1}^m u_j x_{ji} \leq 1 \quad \forall i \\ & v_k, u_j \geq 0 \quad \forall k, j \end{aligned}$$

Donde:

$k = 1$ a s

$j = 1$ a m

$i = 1$ a n

y_{ki} = cantidad de output k producida por la DMU i

x_{ji} = cantidad de input j producida por la DMU i

v_k = peso dado por el output k

u_j = peso dado por el input j .

El programa fraccional puede ser convertido a in programa lineal como se muestra a continuación. Para más detalles del desarrollo del modelo vea Charnes et al. (1978).

$$\begin{aligned} & \max \sum_{k=1}^s v_k y_{kp} \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{j=1}^m u_j x_{jp} = 1 \\ & \sum_{k=1}^s v_k y_{ki} - \sum_{j=1}^m u_j x_{ji} \leq 0 \quad \forall i \\ & v_k, u_j \geq 0 \quad \forall k, j \end{aligned}$$

En los modelos no paramétricos, el análisis de eficiencia no requiere ninguna hipótesis sobre la frontera de producción, siendo el problema anterior es aplicado n veces en la identificación de los valores de la eficiencia relativa de todas las DMUs. Cada una de las DMUs obtiene pesos de input y de output que maximizan su valor de eficiencia. En general, una DMU se considera eficiente si obtiene un valor igual a 1 y si el valor es menor a 1 implica que la unidad es ineficiente.

Esta técnica tiene algunas ventajas de acuerdo a Bonilla et al (1996) en (Arieu, 2003) mencionan algunas ventajas de la técnica: a) DEA admite modelos con múltiples inputs y outputs, b) DEA no requiere una hipótesis de relación funcional entre dichos inputs y outputs.

Sin embargo también recibe fuertes críticas, una de las mayores es de que se trata de una aproximación determinista que no tiene en cuenta las influencias sobre el proceso productivo de carácter aleatorio e imposibles de controlar (Ley, 1991), así como también la incertidumbre (errores de medida o introducción incorrecta de datos).

Los modelos básicos de DEA: CCR (Charnes, Cooper & Rodes, 1978) y BCC (Banker, Charnes & Cooper, 1984)

La principal diferencia entre estos modelos es el supuesto de las escalas de retorno. El modelo CCR asume constantes retornos de escala y el BCC asume variables retornos de escala. Estos modelos DEA logran diferenciarse debido a su orientación, que esta puede ser hacia la maximización de los inputs o hacia los outputs, por ejemplo; minimizar los inputs dado un nivel de outputs o maximizar los outputs dado un nivel de inputs. En este estudio se emplea el enfoque output en los modelos CCR and BCC para analizar como producir el rendimiento máximo posible del los movimientos (throughput) de una cantidad fija de recursos dada.

El modelo BCC orientado al input, con variable VRS por sus siglas en inglés return-to-scale, escala de retorno variable (Cooper et al., 2000), es

$$\min \theta_k \tag{3}$$

sujeto a:

$$\theta_k x_{ik} - \sum_{l=1}^n \lambda_l x_{il} \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, M$$

(4)

$$\sum_{l=1}^n \lambda_l y_{il} \geq y_{jk}, \quad j = 1, 2, \dots, S$$

(5)

$$\sum_{l=1}^n \lambda_l = 1$$

(6)

Los resultados obtenidos del modelo CCR con orientación input oscilan entre 0 y 1.0 mientras que el mismo modelo con orientación output los resultados oscilan entre 1.0 a infinito, en ambos casos 1.0 es la eficiencia máxima.

Bootstrap

Como se ha mencionado anteriormente, DEA es una metodología de programación lineal y no posee propiedades estadísticas para tomar en cuenta o medir errores. Simar & Wilson (1998, 1999 y 2000) han realizado trabajos para confrontar el problema encontrando que es posible obtener propiedades estadísticas para el DEA a través de abordar el problema mediante "bootstrap". En una definición sencilla se dice que medir los grados de eficiencia mediante bootstrap implica replicar el proceso generador de datos (DGP, por las siglas en inglés Data Generating Process), generando apropiadamente un número grande de pseudo muestras a las cuales se les ha de aplicar el mismo estimador original. En el caso de DEA, la idea propuesta del bootstrap es el de simular B veces las muestras originales, para cada vez recalculer el parámetro de interés de DEA. Esto permite que el parámetro sea estimado B veces permitiendo generar una distribución empírica del parámetro de interés. Simar & Wilson (1998) también hacen sugerencia de una mejora del método adoptando un proceso de suavizado (smoothing) para obtener los valores de eficiencia DEA mediante la aplicación de bootstrap.

Algoritmo de bootstrap

En el uso normal de la aplicación, el investigador se confronta a un conjunto de observaciones $X = \{(x_i, y_i) \mid i = 1, \dots, n\}$ correspondiente a las n unidades de producción. Para cada una de las n unidades observadas, se desea analizar la sensibilidad de los valores de eficiencia $\hat{\theta}$ estimados por cada $\hat{\theta}_1, \dots, \hat{\theta}_n$. El método de bootstrap propuesto en (Simar & Wilson 1998) debe ser seguido permitiendo que en cada observación (x_k, y_k) donde $k = 1, \dots, n$ para reemplazar secuencialmente

a (x_0, y_0) . Esto permitirá analizar (Simar & Wilson, 2000 a) la sensibilidad de la distancia de un punto fijo (x_k, y_k) de una frontera estimada de $\hat{\theta}X(y_k)$, relativa a las variaciones del estimador de la frontera tomando en cuenta el grupo completo de observaciones X . En DEA, el algoritmo completo de bootstrap se resume en la serie de pasos siguientes:

1. Para cada (x_k, y_k) $k = 1, \dots, n$ calcular $\hat{\theta}_k$ mediante el programa lineal:

$$\hat{\theta}_k = \min\{\theta \mid y_k \leq \sum_{i=1}^n \gamma_i y_i; \theta X_k \geq \sum_{i=1}^n \gamma_i x_i; \theta > 0; \sum_{i=1}^n \gamma_i = 1; \gamma \geq 0, i = 1, \dots, n\}$$

2. Usando el método de suavizado de Simar & Wilson (1998) se genera una muestra aleatoria de tamaño n de $\hat{\theta}_i, i = 1, \dots, n$ obteniendo $\theta_{1b}^*, \dots, \theta_{nb}^*$.

3. Calcular $X_b^* = \{(x_{ib}^*, y_i) \mid i = 1, \dots, n\}$ donde $x_{ib}^* = (\hat{\theta}_i / \theta_{ib}^*) x_i, i = 1, \dots, n$.

4. Calcular la estimación bootstrap $\hat{\theta}_{k,b}^*$ de $\hat{\theta}_k$ para $k = 1, \dots, n$ resolviendo

$$\hat{\theta}_{k,b}^* = \min\{\theta \mid y_k \leq \sum_{i=1}^n \gamma_i y_i; \theta X_k \geq \sum_{i=1}^n \gamma_i x_{i,b}^*; \theta > 0; \sum_{i=1}^n \gamma_i = 1; \gamma \geq 0, i = 1, \dots, n\}$$

1. Repetir los pasos 2 a 4 B veces para $k = 1, \dots, n$ para un grupo de estimaciones $\{\hat{\theta}_{k,b}^*, b = 1, \dots, B\}$. Para un conjunto grande de datos, la selección de B estará sujeta a las restricciones disponibles de poder de cómputo. Hall (1986) sugiere seleccionar un valor de $B = 1000$ para asegurar una cobertura adecuada de los intervalos de confianza.

3. Eficiencia en el Sector Portuario a través de las Mediciones DEA

Respecto a la literatura DEA aplicada al campo portuario, esta es muy amplia y variada. En este trabajo solo se comentan algunos trabajos revisados durante la investigación, que utilizaron modelos de eficiencia no paramétricos. A continuación se muestra un panorama sobre los puertos de Norte América que ayuda a la comprensión de la importancia del estudio de esta región.

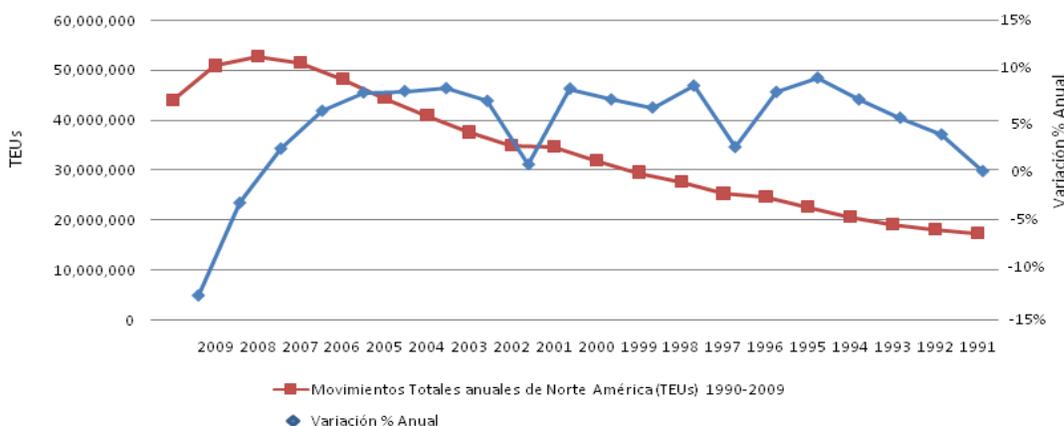
3.1 Los Puertos Contenedores del Pacífico de América del Norte

Se estima que en 2008, el crecimiento de la carga contenerizada a nivel mundial, fue del 4 por ciento alcanzando los 506 millones de TEU. Los puertos ubicados en China contribuyeron, principalmente, con el 22.6 por ciento del movimiento total anual.

El transporte de contenedores vía marítima es vital tanto para Norte América como para la Economía Global (Maloni & Jackson, 2005). En 2006 las exportaciones de Norte América representaron el 8.5% del total mundial, solo por debajo de China y el resto de Asia, y aun que para 2008 representan el 1.5% de las exportaciones mundiales, sigue siendo la tercer región que mueve más mercancía en mundo. (UNCTAD, 2009).

Figura 1

América del Norte movimientos totales anuales (TEUs): 1990-2009



Fuente: Elaboración propia con base en (AAPA, 2010)

El volumen de contenedores manejados en los puertos contenedores de América del Norte se ha incrementado en promedio un 7% anual desde 1990, como se aprecia en la figura 1. Sin embargo en el 2008 hubo una caída en la demanda global mundial, debido a la crisis económica mundial que comenzó en Estados Unidos a finales del mismo año, impactando el crecimiento en el comercio mundial (UNCTAD, 2009).

La región del pacífico mueve más del 50% en relación de las otras dos regiones, esto quizá debido al rápido crecimiento del mercado Asiático que escoge la ruta del pacífico para mover su mercancía (AAPA, 2010).

3.2 Estudios del Sector Portuario con mediciones

Roll & Hayuth (1993) fue de los primeros en aplicar un análisis DEA para obtener la eficiencia de un puerto contenedor, utilizando datos simulados con el propósito de poner de manifiesto la

idoneidad de este método en la medida de la eficiencia portuaria. Así mismo Barros (2003) cuando compara la eficiencia obtenida por algunos puertos portugueses para indirectamente inferir en el rol que sufrían los incentivos introducidos en la regulación Portuguesa.

Martinez et al (1999) clasificó 26 puertos contenedores de España, esto en 3 grupos de acuerdo al nivel de complejidad del mismo, luego analizó su eficiencia con el modelo DEA-BCC utilizando 3 inputs y 1 output. Sus resultados arrojaron que a mayor complejidad en un puerto mayor su eficiencia.

El objetivo de Tongzon (2001) fue establecer una comparación internacional de eficiencia utilizando el modelo DEA-CCR y DEA aditivo con 6 inputs y 2 outputs. Centrándose en puertos de contenedores, aplica el DEA para calcular índices de eficiencia de cuatro puertos australianos, que compara con otros 12 puertos internacionales. Fue de los primeros en hacer una proxie de labor, utilizando como aproximación los trabajadores de las autoridades portuarias, que no participan en el manejo de la carga.

Cullinane et al. (2004), aplica extensiones del DEA, realizando un análisis dinámico de la eficiencia de terminales de contenedores, aplicando el DEA windows analysis. También Park & De (2004) aplican un DEA en cuatro etapas: alternando la consideración de las variables como inputs y como outputs, miden la productividad (etapa 1), rentabilidad (etapa 2), comercialización (etapa 3) y, finalmente, la eficiencia global (etapa 4).

Los análisis por acuerdos económicos comienzan con (Ramos & Gastaud, 2006) que realizan un trabajo de eficiencia relativa a las terminales contenedoras pertenecientes al tratado Mercosur³, por el periodo 2002 al 2004, esta investigación a diferencia de otras sólo utiliza el modelo BCC y parte de su contribución es el incorporamiento del un output “horas/barco”

Una situación similar plantean Lin y Tseng (2007) al aplicar mediciones DEA a los principales puertos de Asia, por el periodo de 1998-2001 aun que no hay una diferencia significativa en sus inputs y outputs respecto a otros artículos, el objetivo de estos autores es mostrar un modelo que genere mayores resultados, con una combinación de mediciones, ya que aparte de los básico, BCC y CCR, utilizan otras 5 metodologías (A&P, SCE y D&G) para afinar los resultados.

³ Mercado común del sur

Tabla 1

Características más importantes de los trabajos portuarios de DEA

Autores	Modelos DEA	Datos	Inputs	Outputs
Roll y Hayuth (1993)	Clasificación teórica de la eficiencia de los puertos. Modelo DEA-CCR	20 puertos Hipotéticos	Labor, Capital, uniformidad de carga	Cargo throughput, Nivel de servicio, satisfacción del cliente, Ship calls
Martínez et al. (1999)	Modelos DEA- BCC. Se examinó la eficiencia relativa de los puertos y eficiencia de cada puerto.	26 Puertos Españoles, 1993 – 1997	Gastos por labor , gastos de depreciación , otros gastos	Carga total movida por el puerto, Ingreso por la renta de las instalaciones portuarias.
Tongzon (2001)	Modelos: DEA con CCR. Prueba a varios factores que influyen el desempeño y eficiencia de un puerto	4 Puertos Australianos y 12 Puertos Internacionales 1996	-Número de grúas, -Número de atracadores de contenedores, -Número de remolcadores, - Área de la terminal, -Tiempo de retraso -Labor	Carga contenerizada throughput, -Tarifa de trabajo por embarcación
Barros (2003 ^a)	Modelo: DEA-allocate y eficiencia Técnica	5 Puertos Portugueses 1999-2000	-Número de empleados -Valor en libros de activos	No de Barcos Movimiento de carga Tonelaje total : a)Carga general, carga líquida, b) contenerizada, c) Ro-Ro Salarios y Mano de obra Capital
Cullinane et all. 2004	Modelo: DEA CCR y BCC window análisis	25 puertos mundiales	-Longitud del muelle -Terminal área (HA) -Grúas de pórtico (no) -Grúas de patio (no) -Grúas móvil de patio (straddle carrier) (no)	-Throughput
Ramos y Gastaud 2006	BCC modelo	23 terminales contenedoras miembros del Mercosur	-Numero de grúas -Numero de muelles -Numero de empleados -Área de la terminal -Número de equipo en el patio	-TEU movidos -Promedio del número de contenedores movidos por hora por barco
Lin y Tseng (2007)	DEA: CCR, BCC, A&P, SCE, D&G	10 Puertos Asiáticos. 1998-2001	-Área del contenedor base -Número de grúas de pórtico -Longitud de la terminal de contenedores. -Número de muelles de embarque profundos	-Número de arribos de embarcaciones al puerto, -Volumen de carga/ descarga contenerizada
Salem, Barros, Mustaffa y Tajudin (2007)	DEA: CCR y BCC	22 Puertos de Arabia y África. 2000-2005	Longitud total del muelle y área de almacenamiento, distancia d Hong Kong a cada puerto.	Ships, total movement of general cargo (unload and load)

Fuente: Elaboración propia con base en : Gonzalez & Trujillo (2006), Panayides et all (2009), Lin & Seng (2007) y Tongzon (2001)

4. Estudio Empírico: Eficiencia de las Terminales Contenedoras de América del Norte , 2005-2008

A continuación se describe la estructura de la investigación, también se aborda el tema de la selección de inputs y outputs y finalmente se realizan los análisis DEA, Bootstrap y slack

4.1 Antecedentes

Los operadores de las terminales, que por lo general son entidades independientes de la autoridad portuaria y pueden ser locales o internacionales y son los que manejan la operación física del muelle de un puerto. A estos operadores se les alienta para que mantengan la eficiencia de las operaciones de patio combinando a su vez la efectiva coordinación de la carga y descarga del tren (en caso de tener en la terminal) la atracción de nuevas navieras, y lidiar con la unión de estibadores (Maloni & Jackson, 2005)

De acuerdo a Tongzon,(1995), existen dos variables que los puertos pueden controlar: los cargos portuarios y la eficiencia de las terminales. También concluye que el factor único y más significativo en el desempeño de una terminal es su eficiencia (Song, Cullinane, & Roe, 2001).

Si bien los puertos de México, Canadá y Estados Unidos enfrenta diferentes problemas, ya sea saturación por falta de capacidad como en los puertos de Estados Unidos (Maloni & Jackson, 2005) y/o falta de eficiencia en comparación con la competencia de acuerdo a (Wyman, 2009) en México, es cierto que los puertos sujetos a esta investigación buscan el mejoramiento y la eficiencia de sus operaciones, por ende la de sus terminales (públicas y/o privadas), ya que están compitiendo por ganar la carga que viene de Asia.

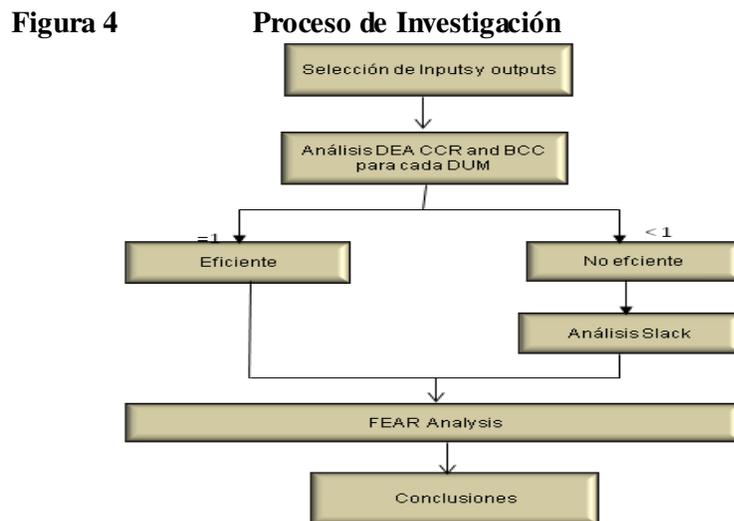
En este estudio se emplean los modelos DEA para analizar y comparar la eficiencia de las terminales contenedoras localizadas en los puertos de la costa del pacifico de América del Norte debido a la importancia que estos tienen respecto al volumen de TEUs movidos anualmente en América del norte , para conocer los puntos de mejora.

4.2 Estructura del Problema

El modelo aplicado para conocer la eficiencia de las terminales contenedoras consta de 3 análisis. Primero se aplicaran los modelos básico BCC y CCR, que sirven de auto apreciación respecto de la

operación de las terminales. Cuando la eficiencia técnica es mayor que 1⁴ esto significa que es técnicamente ineficiente, esto significa que la utilización eficiente de los inputs y outputs no es la adecuada y necesitará disminuir inputs o aumentar outputs. Sin embargo cuando la eficiencia de escala es menor a 1, esto es ineficiencia en la escala y significa que la escala operacional no está alcanzando su valor óptimo y que la escala deberá ser extendida o reducida (con base en la escala de retorno). El cálculo del bootstrap se genera en el momento que se calculan los valores de eficiencia de DEA. Este cálculo se programó para que sufriera 1000 iteraciones con un Bandwidth de $h=.014$ de acuerdo a Simar & Wilson (1998). Este proceso revela la sensibilidad de los resultados de eficiencia obtenidos en los modelos básicos mostrando las variaciones entre ambos resultados. El objetivo de este proceso, aparte de proveer al DEA de la base estadística que carece la programación lineal y de la cual es severamente criticada, consiste en proveer al tomador de decisiones un panorama más crítico para la realización de la comparación de los resultados de eficiencia y así tener un comportamiento más cercano de cómo opera en la realidad cada unidad de análisis.

El tercer análisis consiste en analizar la variable slack dirige el índice de utilización de los inputs y outputs. Se hace esto para evaluar cómo puede mejorar el desempeño operacional de la DMU ineficientes, indicando cuantos inputs habrá que disminuir y/o cuantos outputs habrá que incrementar, para hacer que la DMUs ineficientes se vuelvan eficientes. En resumen el flujo del proceso de esta investigación se aprecia según la figura 4.



⁴ Para este trabajo los resultados mostrados del modelo BCC se apegaran al modelo de Farrell (1957), esto es cuando obtienen eficiencia total el resultado será igual a 1 pero cuando obtengan valores ineficientes estos serán mayores a 1.

En este trabajo se utiliza una función de distancia orientada al producto, que se caracteriza por ser una tecnología cuyo fin es maximizar la producción de un vector de insumos. Es decir, para la autoridad portuaria resulta de mayor utilidad hacer más eficiente el uso de su infraestructura y equipo existente, maximizando la cantidad de TEU (equivalente en mercancías de un contenedor de 20 y 40 pies).

Las DMU fueron seleccionadas con base en la importancia del sector contenerizado en América del Norte. De las terminales seleccionadas se aseguró que contaran con información del periodo de análisis, ya que algunas de ellas desaparecieron, otras cambiaron de operador y otras más surgieron dentro del periodo de análisis, como fue el caso de la terminal del puerto de Prince Rupert que inicio actividades a partir del 2007. El detalle de las terminales analizadas se encuentra en la tabla 2.

Tabla 2

Terminales Contenedoras de Norte América sujetas de estudio

País	Puerto /Terminal-Operador de Terminal	DUM	País	Puerto /Terminal-Operador de Terminal	DUM
CAN	Fraser surrey	1	USA	Los Ángeles Yunsen Yunsen Terminals Inc.	17
CAN	Vancouver BCCenterm	2	USA	Los Ángeles TraPac T. Trapac Inc.	18
MEX	Ensenada TIM	3	USA	Okland APL T. (60-63) Eagle marine services Ltd	19
MEX	Lazaro Cardenas	4	USA	Okland APM T.(B20-B24) APM Terminals	20
MEX	Manzanillo Pub	5	USA	Okland Ben E Nutter T.(35,37,38) Marine Terminals	21
MEX	Manzanillo SSA	6	USA	Okland Int. Container Terminal (57-59) SSA Terminals LLCC	22
MEX	Manzanillo TIM	7	USA	Okland Hajin T. 55-56 Total Terminals International LLC	23
USA	Long Beach California United T.	8	USA	OklandTransBay Conatiner Trmianl 25-26 .Transbay Container Termianl Inc	24
USA	Long Beach Long Beach Container T.	9	USA	Okalnd TraPac T. 30 Trapac Inc	25
USA	Long Beach Long BeachPacific Container T. SSA Terminals	10	USA	Portland T 2 y 6 Port of portland	26
USA	Long Beach Terminals Int Pier T (Hanjin)	11	USA	SeattleT 18. SSA	27
USA	Long Beach SSA Pier A	12	USA	Seattle T 46. Total Termianls International LLC	28
USA	Long Beach SSA Pier C	13	USA	Seattle T. 5 . Eagle marine Services LTD	29
USA	Los Ángeles APL pier 300	14	USA	Tacoma Evergreen Terminal	30
USA	Los Ángeles APM Pier 400	15	USA	Tacoma T. 7-D. Husky Terminal & stevedoring	31
USA	Los Ángeles Evergreen Marine Terminals Corp.	16	USA	Tacoma Hyundai T. Washington United	32
			USA	Tacoma Maersk Pacific T. APM Terminals	33

Fuente: Elaboración propia con base en CIY (2005-2008) .

4.3 Selección de los Inputs y Outputs .

No obstante que en Wang et all 2005, se puede encontrar una discusión sobre la definición de las variables que se deben utilizar en la valoración de un puerto a continuación se mencionaran algunas de estas características. Los inputs y outputs deberán reflejar la producción actual del puerto, tan

precisa como sea posible. Por lo que respecta a los inputs de producción de un puerto, una terminal contenedora depende crucialmente del uso eficiente de la fuerza de trabajo del factor tierra y el equipo. La longitud total del muelle, el área de la terminal, el número de grúas de pórtico, el número de grúas de patio y resto de equipo de patio, estos son los inputs más usados en la literatura portuaria. Respecto a la variable mano de obra, “labor” de aquí en adelante, algunos autores como Cullinane et al (2004) sugieren que debe ser incluida dentro de las variables inputs, sin embargo otros autores como Vanentine & Gray (2001) argumentan que la información respecto a este input es difícil de obtener y que existe un alto grado de error en la medición.

Dadas las características de producción de las terminales contenedoras, varios atributos de las terminales podrían ser tomados en cuenta para evaluar el desempeño de las mismas. Dentro de este trabajo se realizó una frecuencia de variables obtenida de la literatura portuaria revisada y se obtuvieron varios factores que representan la operación de una terminal portuaria. La selección fue la siguiente; la longitud del muelle y el área de la terminal son las variables proxies que más se acercan al factor tierra y las grúas de pórtico al factor de equipo, aun que existe mucha controversia respecto al factor labor, este trabajo consideró la posibilidad e incluir la cantidad de trabajadores de la terminal, sin embargo, existen complicaciones para disponer de esa información, de manera que este insumo quedó representado por la cantidad de equipo que posee el puerto ya que de acuerdo a (Herrera & Pang, 2006) existe un estrecha relación entre el número de trabajadores y la cantidad de equipo que posee un puerto.

Para confirmar que los inputs y outputs seleccionados evalúen la eficiencia de las terminales apropiadamente, se realizó un análisis de correlación de Pearson para demostrar que existe isotonicidad en la información. Como se puede apreciar en la tabla 3. La correlación de los 3 inputs contra el output fue mayor a .5 demostrando que todos ellos se correlacionan positivamente. No así la variable proxie “labor” ya que su grado de correlación fue del .30 por tal motivo para los siguientes análisis esta variable quedo fuera. No obstante la información utilizada en esta investigación es la más confiable y comprensible posible dentro de la literatura portuaria.

Tabla 3

Análisis Pearson de las variables

	Throughput (TEUs)	Longitud del muelle (metros)	Área total de la terminal (m2)	No. de Grúas de Pórtico
Throughput (TEUs)	1			
Longitud del muelle (metros)	0,62790	1		
Área total de la terminal (m2)	0,7775	0,7060	1	
No. de Grúas de Pórtico	0,6597	0,5440	0,5937	1

Fuente: Elaboración propia con base en los resultados del análisis Pearson sobre base de datos recopilada

La base de datos para procesar los cálculos se obtuvo de los libros Containerisation International Year Book, Drewry Shipping Consultants y Lloyd's ports of the world de los años 2005, 2006, 2007 y 2008. Un resumen de las principales características de la información relativa a los inputs y outputs, recopilada, se puede apreciar en la tabla 4.

Tabla 4

Características Estadísticas de los Inputs y Outputs Seleccionados

	Output	Input		
	Movimiento anual de TEU	Longitud del Muelle (m)	Área total de la terminal (m2)	Grúas de pórtico (número)
Media	637563,4924	943,0757576	535053,9545	5,924242424
Varianza	2,53877E+11	235308,6609	1,53897E+11	9,948806244
Desv. Estándar	503862,3863	485,0862407	392296,8963	3,15417283
Min.	110000	250	43000	2
Max	1952000	2191	1960000	14
Moda	900000	610	140000	4
Mediana	445073	836	486000	5
Suma	84158381	124486	70627122	782
Conteo	33	33	33	33

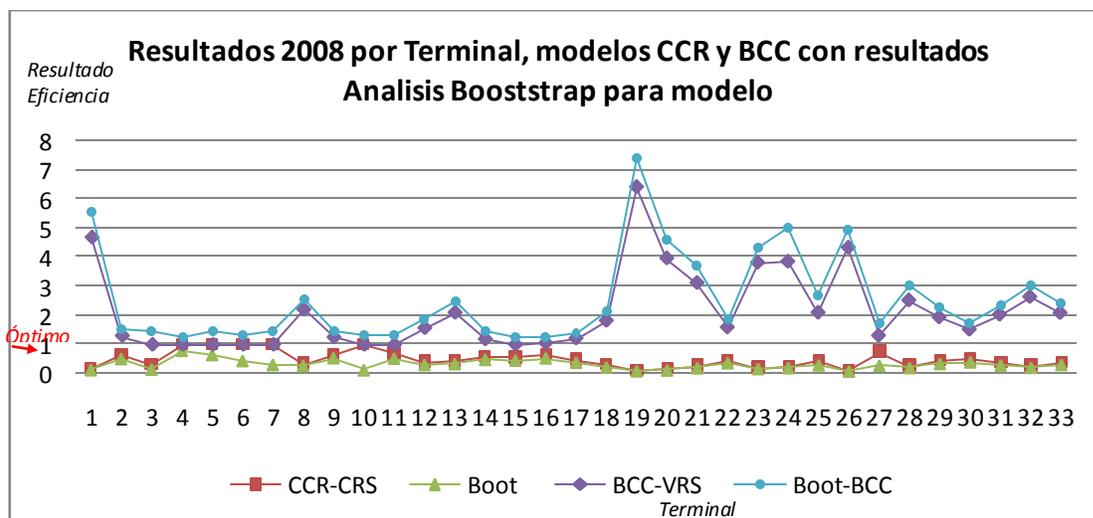
Fuente: Elaboración propia con base en los resultados estadísticos aplicados a la base de datos

4.4 Análisis DEA

Respecto a la eficiencia técnica pura obtenida del modelo BCC representa la eficiencia en términos del uso de los recursos (inputs) de cada unidad. Cabe mencionar que si una terminal es eficiente en el modelo CCR también lo será en el modelo BCC.

Para la realización de los cálculos de este trabajo se utilizó la plataforma FEAR (Wilson, 2008). Resultados DEA, mostraron que las principales terminales de Manzanillo obtuvieron valores de eficiencia iguales a 1, en ambos modelos CCR y BCC (eficiencia técnica y agregada) superando a varias terminales de un mismo puerto de los Estados Unidos, situación que cambia al momento de aplicar el análisis bootstrap. La terminal 11 del puerto de Long Beach, mostro eficiencia en ambos modelos, del 2005 al 2007, así como la terminal 33 del puerto de Tacoma fue el único año que mostro eficiencia técnica y asignativa. Y las terminales 10,14, 15 y 16 de los puertos de Long Beach y los Ángeles obtuvieron únicamente eficiencia del modelo CCR. Cabe mencionar que 2008 no fue buen año para ninguna terminal, esto quizá se debió a que debido a la crisis mundial afecto a la demanda del movimiento de TEUs, únicamente las terminales de Manzanillo y Lázaro Cárdenas (terminales 5,6,7 y 4 respectivamente obtuvieron eficiencia en ambos modelos como se aprecia en la figura 5.

Figura 5



4.5 Bootstrap

Fuente: Elaboración propia con base en resultados obtenidos

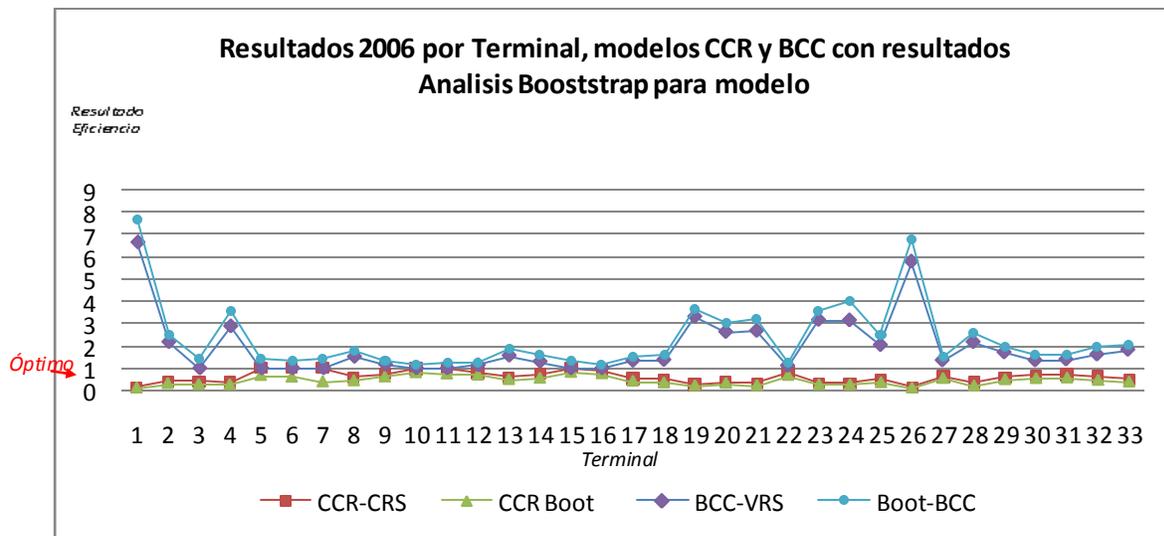
Una vez que se corrió este análisis se observó que definitivamente las terminales de Canadá mostraron los resultados más bajos del resto de las terminales. Sus resultados menores a 1 indican que necesitan mejorar el uso de sus recursos. Se observó que su ineficiencia se debe a que se produjo bajo una escala inadecuada, ósea ineficiencia escalar y no técnica, presentando disminución escalar en todos los años. Principalmente la terminal 1 que siempre se encontró entre los lugares 28 a 33 de las 33 terminales a lo largo del estudio.

Parte del objetivo del análisis bootstrap es mostrar la sensibilidad que pudiera existir en las bases de datos respecto a los resultados obtenidos después de los cálculos de eficiencia, incorporando el

grado de incertidumbre. En este trabajo se aprecio que las terminales de Manzanillo (5,6 y 7) no son eficientes completamente por el contrario les dio un resultado muy por debajo del obtenido, situación que los administradores portuarios deberán tomar en cuenta en la toma de decisiones ya que aun existe mucho por mejorar. El caso de la terminal 4 del puerto de Lázaro Cárdenas se aprecia que después del análisis bootstrap cuenta con buena eficiencia en ambos modelos, aun que con el análisis bootstrap por lo general no se obtiene el 1 cerrado si se puede apreciar la cercanía al valor 1. Con esto se aprecia que esta terminal está verdaderamente utilizando sus recursos de la mejor manera.

Otras terminales que demostraron que su eficiencia en ambos modelos con ambos análisis pero en diferentes años fueron: La terminal 16 del puerto de Los Ángeles, en el 2006 que como el caso de Lázaro Cárdenas no obtienen la calificación de 1 cerrado pero se acerca demasiado en ambos modelos, demostrando que el desempeño en el uso de sus recursos ha sido el adecuado (ver figura 6).

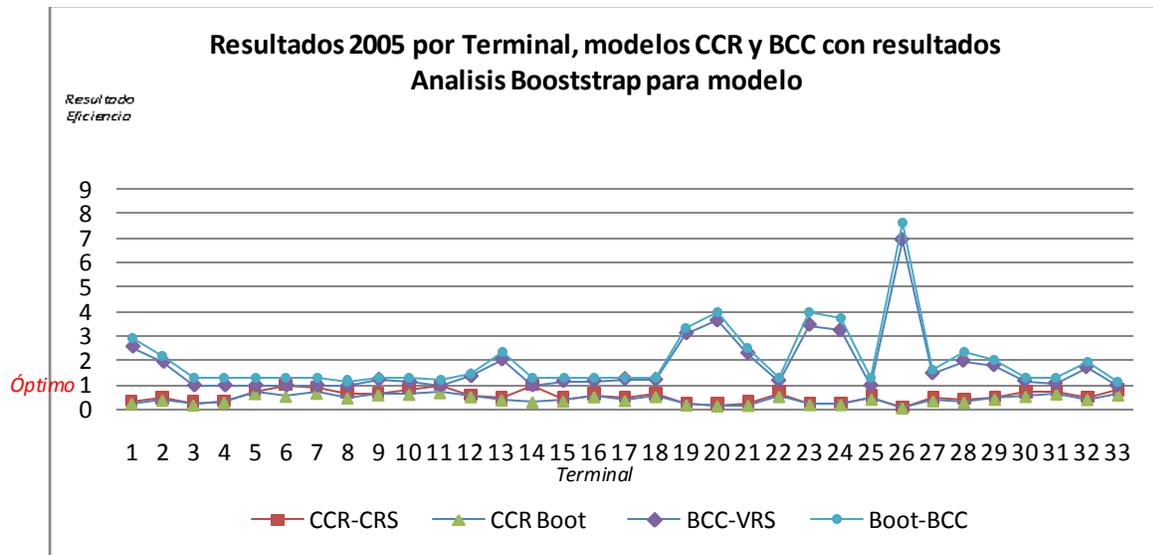
Figura 6



Fuente: Elaboración propia con base en resultados obtenidos

La terminal 33 del puerto de Tacoma en el año 2005, muestra la misma situación que la terminal 16, no obtiene el 1 cerrado pero se acerca demasiado en ambos modelos (ver figura 7).

Figura 7



Fuente: Elaboración propia con base en resultados obtenidos

Análisis slack

El Análisis Slack, trabaja con los excesos de inputs y escasos outputs y utiliza un modelo aditivo para proporcionar una medida de escala en los límites de 0 a 1 que abarca todas la ineficiencias que el modelo pueda identificar (Cooper, Seiford, & Tone, 2000).

Debido a que las terminales de manzanillo resultaron eficientes en los modelos básicos del DEA al momento de realizar el análisis slack se observó que los ratios de las variables input y outputs fueron apropiados. Únicamente la terminal de Lázaro Cárdenas mostro, durante los 4 años de análisis, que deberá aumentar su volumen de TEU movidos al año para alcanzar una eficiencia relativa.

Las terminales de Canadá mostraron, durante los 4 años de análisis, deberá haber un ajuste a las variables “longitud del muelle” y “Área de la terminal” debido a que es amplia y el movimiento de contenedores es bajo y también deberá incrementarse para alcanzar eficiencia. Todos los años del análisis las terminales presentaron retornos de escala decrecientes.

Como ya se mencionó anteriormente las terminales de Estados Unidos resultaron ser ineficientes en su gran mayoría. Y a excepción de unas pocas todas deben incrementar su movimiento de contenedores. Solo durante los años 2005 y 2006 algunas terminales de Tacoma (DUM 30 y 31) no requirieron de incremento. Tampoco requirieron incremento las DMU 15 y 16 del puerto de

Los Ángeles en los años 2007 y 2008. Quizá porque en el 2008 comenzó el descenso del comercio mundial debido a la crisis mundial tuvieron menos movimientos de contenedores las terminales a excepción de las DMU 16 y 27.

5. Conclusiones.

Como la competencia mundial entre los puertos se ha hecho cada vez más feroz, cada puerto debe esforzarse por mejorar su productividad y sus costos operacionales. Los tomadores de decisiones deberán tener herramientas que les ayuden a evaluar si las terminales con las que actualmente cuentan sus puertos son eficientes en todo sus aspectos. Con la finalidad de considerar la permanencia o búsqueda del operador internacional, ya sea para la extensión o renovación de la concesión de la terminal, o quizá la privatización completa de alguna terminal en particular.

Al utilizar el análisis de la variable slack y en análisis de sensibilidad, el estudio pudo proveer información útil que indica que tan relativa es la ineficiencia en las terminales contenedoras y donde es el problema para su posible mejora.

DEA es un eficiente herramienta administrativa sin embargo los valores obtenidos son valores relativos en vez de absolutos. Sin embargo con el uso del bootstrap se muestra como las medidas de eficiencia no paramétricas si tienen una base estadística. Ya que como se observó en este trabajo esta herramienta sirve para medir la validez estadística de los resultados obtenidos de varias unidades.

Al realizar el análisis por terminal se observó que dentro de un puerto contenedor no todas sus terminales son eficientes y que muchas pueden tener áreas de oportunidad, que quizá solo uno a dos terminales sean las que le están generando la eficiencia y productividad necesaria para con sus clientes. Con esto se corrobora los que varios autores mencionan respecto a que la comparación debe hacerse entre terminales o por un mismo grupo de carga y no por todo el complejo portuario. Así realmente se podrá trabajar en las áreas de mejora de cada una de las terminales, exponenciando la eficiencia y competitividad del puerto en general.

Referencias

AAPA. (2010). *American Association of Port Authorities*. Retrieved Mayo 05, 2010, from <http://www.aapa-ports.org/home.cfm>

- Arieu, A. (2003). Eficiencia técnica comparada en elevadores de granos de Argentina, bajo una aplicación de análisis de envolvente de datos. La situación del puerto de Bahía Blanca. *Eficiencia técnica comparada en elevadores de granos de Argentina, bajo una aplicación de análisis de envolvente de datos. La situación del puerto de Bahía Blanca* . Argentina.
- Banker, R., Charnes, A., & Cooper, W. (1984). Some models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science* , 30 (9), 1078-1092.
- Barros, C. (2005). Measuring efficiency in the hotel sector. *Annals of Tourism Research* , 1078-1092.
- Butler, T., & Li, L. (2005). The utility of returns to scale in dEA programming: An anlysis of Michigan rural hospitals. *European Journal of Operational Reserach* , 468-477.
- Camanho, A., & Dyson, R. (2005). Cost efficiency measuremnt with prece uncertainty: A DEA appliation to bank branch asesments. *International Journal of Operations & Production Management* , 1055-1078.
- Cargo System. (2010, Agosto). *Top 100 Container Ports 2010*. Retrieved Septiembre 14, 2010, from Cargo Systems .net: <http://www.cargosystems.net/freightpubs/cs/bulletin.htm>
- Charnes, A., Cooper, W., & Rodes, E. (1978). Measuring the efficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operational Reserch* , 429-444.
- Cooper, W., Seiford, L., & Tone, K. (2000). *Data envelopment analysis: a comprehensive text with models, applications, references*. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers.
- Cullinane, K., & Wang, T. (2010). The Efficiency analysis of container port production using DEA panel data apporaches. *OR Spectrum* , 717-738.
- Cullinane, K., Song, D.-W., Ji, P., & Wang, T.-F. (2004). An Application of DEA Window Analysis to Container Port Production Eficiency. *Review of Network Economics* , III (2), 1884-206.
- Farrel, M. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the RoyalStatistical Society (Serie A)* , 253-281.
- Gonzalez, M., & Trujillo, L. (2006). La medición de la eficiencia en el sector protuario: revisión de la evidencia empírica. Canarias, España.
- Herrera, S., & Pang, G. (2006). Efficiency of infrastructure: The case of container ports. *Banco Mundial* .
- Ley, E. (1991). Eficiencia Productiva: un estudio aplicado al sector hospitalario. *Investigaciones Económicas (Segunda Época)* , 71-88.
- Lin, L., & C.C, T. (2007). Operational Performance evaluation of major container port in the Asia-Pacific region. *Maritime Policy & Management* , 535-551.
- Lin, r., Liu, J., Zhang,C., & Murty, K. (2003). Rubber tired gantry crane deployment for container yard operation. *Computers and Industrial Engineering* , 429-442.
- Maloni, M., Jackson, E. C. (2005). North American Container Port Capacity: A Literature Review. *Journal Sprig* , 44 (36), 16-36.
- Panayides, P. M., Maxoulis, c. N., Wang, T.-F., & Ng, K. Y. (2009). A Critical Analysis of DEA Application sto SEaport Economic Efficiency Measurement. *Transport Reviews* , 29 (2), 183-206.
- Ramos, L., & Gastaud, A. C. (2006). Analysing the Relative Efficiency of Container Terminals of Mercosur using DEA. *Maritime Economics & Logistics* , 331-346.
- Salem, A. A., Pestana, C., Mustaffa, A., & Tajudin, A. (2007). Evaluating the Location of Efficiency of Arabian and African Seaports Using Data Envelopment Analysis (DEA). *Working Paper ISSN No0874-4548* , 1-19.

- Simar, L., & Wilson, P. (1998). Sensitivity analysis of Efficiency Scores: How to Bootstrap in Nonparametric Frontier Models. *Management Science* , 49-61.
- Simar, L., & Wilson, P. (1999). Statistical Inference in nonparametric Frontier Models: The State of the Art. *Journal of Productivity Analysis*. 49-78.
- Simar, L., & Wilson, P. (2000). A General Methodology for Bootstrapping Nonparametric Frontier Models. *Journal of Applied Statistics*. 779-802.
- So, S., Kim, J., Cho, G., & Do-Kwan, K. (2007). Efficiency Analysis and Ranking of major Container Ports in Northeast Asia: An Application of Data Envelopment Analysis. *International Review of Business Research Papers* , 3 (2), 486-503.
- Song, D.-W., Cullinane, K., & Roe, M. (2001). *The Productive Efficiency of Container Terminals: An application to Korea and the UK*. Great Britain: Ashgate.
- Tongzon, J (1995). Determinants of port performance and efficiency. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Volume 29, Issue 3, May 1995, Pages 245-252
- Tongzon, J. (2001). Efficiency Measurement of Selected Australian and Other International Ports using Data Envelopment Analysis. *Transportation Research Part A* , 113-28.
- Turner, h., Windle, R., & Dresner, M. (2004). North American containerport productivity:1984-1997. *Transportation Research Part E* , 339-356.
- UNCTAD. (2009). *Review of Maritime Transport*. New York and Geneva: United Nations.
- Valentine, V. F., Gray, R. (2001). *The Measurement of Port Efficiency Using Data Envelopment Analysis*, Proceedings of the 9th World Conference on Transport Research, 22-27 July, Seoul, South Korea.
- Wang, T., Song, D. W., & Cullinane, K. (2002). The Applicability of Data Envelopment Analysis to Efficiency Measurement of Container Ports. *Proceedings of the International Association of Maritime Economists Conference*
- Wang, T.-F., Cullinane, K., & Song, D.-W. (2005). *Container Port Production and Economic Efficiency*. Palgrave macMillan.
- Wilson, P. W. (2008). FEAR 1.0: A Software Package for Frontier Efficiency Analysis with R. *Socio-Economic Planning Sciences* 42 , 247-254.
- Wyman, O. (2009, Septiembre 04). Políticas Publicas para el Desarrollo del Sistema Portuario Nacional: Resultados preliminares de estudio. Veracruz, Veracruz.