

LA EFICIENCIA DE LOS PUERTOS CON MAYOR MOVIMIENTO DE CONTENEDORES DE AMÉRICA DEL SUR: SUS DIFERENCIAS

Carbone, Daniel¹; Frutos, Mariano^{1,2}; Casal, Ricardo¹

¹ *Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur
Av. Alem 1253, Bahía Blanca, Argentina.*

² *Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales del Sur, CONICET
12 de Octubre 1198, Bahía Blanca, Argentina.*

daniel.carbone@uns.edu.ar; mfrutos@uns.edu.ar; rcasal@uns.edu.ar

RESUMEN

Si bien los países de Norteamérica y los de Europa siguen siendo el eje central del comercio internacional, recientemente se ha acelerado el intercambio Norte – Sur e intrarregional, agregando nuevos actores en este escenario económico mundial. Este proceso se ve reflejado en el movimiento de los puertos de América del Sur que han incrementado y complejizando sus operaciones. Dentro de los mismos se realizan actividades de gran importancia para el comercio exterior, por ello, conocer la eficiencia portuaria, sobre todo de aquellos que movilizan la mayor cantidad de cargas, resulta crucial para los países emergentes, porque les permitirá adoptar las medidas para corregir las debilidades detectadas y mejorar las fortalezas para una mejor inserción internacional. Por lo expuesto anteriormente, la finalidad de este trabajo, es evaluar la eficiencia de los puertos con mayor movimiento de contenedores de América del Sur mediante la aplicación de modelos de Análisis Envolvente de Datos (DEA), destacando las variables empleadas y los resultados en términos de la eficiencia de dicha actividad, con el fin de mostrar las diferencias entre las unidades de estudio.

Palabras claves. DEA (Data Envelopmet Analysis), Eficiencia, SCM (Supply Chain Management), Administración de Operaciones Portuarias.

ÁREA TEMÁTICA

C - Gestión de Operaciones y Logística.

D- Gestión Económica.

1. INTRODUCCIÓN

Ningún país puede pensar en su progreso económico sin el desarrollo de una infraestructura de transporte eficiente [1]. Desde sus inicios el transporte ha facilitado la compra y venta de mercancía, materias primas y diferentes componentes en diversas partes del mundo, este movimiento de mercadería utiliza fundamentalmente, dos modos de transporte: aéreo y marítimo. Este último maneja el 90% del volumen de mercadería del comercio mundial debido a su menor costo en relación al transporte aéreo. En los últimos tiempos el tráfico marítimo de mercancías se ha incrementado de manera exponencial. Este crecimiento es logrado tanto por el transporte marítimo, como así también por la infraestructura que lo sirve. Ambos, desempeñan un papel cada vez más importante en el comercio mundial y en el progreso económico de las naciones.

En los países de América del Sur se ha venido formulando nuevas políticas que potencialicen las competencias para realizar un sistema competitivo y eficiente que responda a las tendencias tecnológicas, económicas, normativas y de seguridad que exige el comercio internacional. La situación del transporte marítimo en la región ha experimentado importantes cambios como consecuencia, principalmente, de las políticas de apertura económica [2]. Los hechos más relevantes de esos cambios han sido la eliminación de la reserva de carga, la supresión de los subsidios a la construcción de buques y la privatización de las empresas estatales. Estos cambios de política se han adoptado, por lo general, para mejorar las condiciones de competencia de las exportaciones de los países de la región. Sin embargo, en la mayoría de los casos, estos cambios no han sido acompañados de una política de promoción de la marina mercante, que favorezca el desarrollo y competitividad de las empresas navieras de la región, para que puedan insertarse exitosamente en las transformaciones que están sucediendo: concentración, consorcios y fusiones de empresas, competencia, especialización, consolidación y masificación de la carga, concentración y modernización de actividades portuarias, privatizaciones y crecimiento de la importancia del transporte multimodal. Como parte del multimodalismo, el transporte marítimo, íntimamente vinculado con el sector portuario, ha demandado y seguirá generando una serie de transformaciones en los puertos, cuyo origen se encuentra en los múltiples cambios tecnológicos producidos en los medios y sistemas de transportes, y en el incremento del comercio global. La industria portuaria ha tenido que desarrollar infraestructura, procesos, equipos y tecnología especializada para la manipulación de las mercancías tales como terminales dedicados, grúas de muelles y patios, tecnologías de información, adecuando lo existente o desarrollando nuevas facilidades para adecuarse a las nuevas demandas [3]. En razón a que los puertos desempeñan un papel estratégico y crucial en el bienestar económico de la nación, resulta vital que los gobernantes, operadores portuarios y las autoridades portuarias, centren el foco de sus esfuerzos en promover y resaltar la competitividad y eficiencia de sus puertos [4]. El ambiente altamente competitivo en el cual se encuentra el transporte marítimo y los puertos hace que las empresas de la cadena logística, la eficiencia y mejoras en la productividad de los servicios portuarios se convierten en factores determinantes de esa competitividad. No es solo un desarrollo inherente a la vinculación puerto-mar, sino que es necesaria una interfaz entre el transporte marítimo y el terrestre. Es por ello que los puertos y sus capacidades de producción deben ser cuidadosamente planificados y desarrollados conjuntamente con todas las interfaces involucradas. En la prestación de los servicios portuarios pueden intervenir diversas organizaciones. En particular, el propietario de la infraestructura (por regla general, la administración portuaria) y una empresa de manipulación de carga (generalmente, la compañía que explota la terminal portuaria en régimen de concesión, aunque también puede ser un departamento de la administración portuaria). Si bien sus intereses pueden ser divergentes en algún caso, estas entidades han de funcionar de manera colaborativa y siempre se consideran una entidad única, el puerto. Los puertos modernos sufren la presión tanto interna como externa, teniendo que demostrar una estrategia adecuada y la correcta utilización de recursos escasos, a lo antes mencionado se incorpora las demandas, tanto de inversionistas, propietarios y clientes que sufren las administraciones portuarias. Estas administraciones deben cumplir con complejas metas que les imponen el

propietario, autoridades, contratos y el mercado, y deben formular y poner en ejecución las mejores y más modernas estrategias para su operación y desarrollo [3].

El enfoque principal de un puerto está en brindar operaciones de servicios a las demandas derivadas del transporte marítimo, y es por ello que la eficiencia de estas operaciones puede afectar significativamente los costos y tarifas de ese transporte. Operaciones ineficientes en el puerto pueden representar costos adicionales de inventario, algún grado de ineficiencia en la cadena logística y mayores costos de fletes en las operaciones de transporte [3]. Para [5] por ser una industria intensiva en capital, especialmente se verá perjudicado el transporte marítimo. Por ello, las compañías navieras están diversificando sus organizaciones en la supervisión de sus operaciones en muelles, depósitos y en las cuestiones de flota de transporte carretero para tener un mayor control y hacer mejoras en los servicios de la cadena logística, de forma de evitar la suba en sus costos. Un aspecto a considerar en función a lo que plantea [5], es que debido a la diversificación de las actividades de las compañías navieras es que se plantean nuevos escenarios de gestión portuaria. Este cambio de escenario, como se mencionará más adelante, incide a la hora de determinar la eficiencia de los puertos. Un puerto no es solo receptor de los modos marítimos y terrestres de transporte, si no que confluyen y provee una gran variedad de servicios, instituciones, empresas, y múltiples recursos que conllevan a la realización de las diversas operaciones, de acceso, circulación, control, atención, manipulación, recepción y despacho de naves, cargas y descargas, etc. Pero para poder lograr este intercambio de carga, el transporte, cualquiera sea, no actúa por sí solo, es decir, es acompañado por un desarrollo de la infraestructura que lo sirve. Es por ello que en este contexto un puerto es la primera línea como proveedor de servicios al comercio de su región de influencia, propulsando el desarrollo económico y los vínculos con el mundo. Para Debido a que el puerto es considerado como un sistema multi-productivo, resulta al menos interesante las mediciones de productividad como una herramienta esencial para los administradores, autoridades, operadores y planificadores portuarios involucrados en la planificación de todo el sistema, pero no solo en lo referente a una planificación operativa sirve la determinación de la productividad, sino que es más importante a la hora de establecer estrategias de largo alcance en los cuales, autoridades locales, regionales y nacionales posean una herramienta para la proyección de futuros planes de comercio y transporte mundial, a través de la competitividad portuaria [6]. La determinación de una medida de eficiencia portuaria es un trabajo arduo debido al gran número de parámetros implicados, así como la carencia de datos actualizados y confiables. En este trabajo se propone determinar y comparar la eficiencia de los puertos que pertenecen a América del Sur cuya principal actividad es el movimiento de mercadería contenedorizada, con la finalidad de poder identificar cuál es la escala de operación, de qué manera consumen los recursos e identificar cuáles son los parámetros que los hacen eficientes.

2. CONCEPTOS DE EFICIENCIA

Cuando se procura cuantificar el desempeño de alguna industria, pública o privada, comúnmente se utilizan los conceptos de productividad y eficiencia. Con mucha frecuencia, estos conceptos son tratados indistintamente de manera errónea. De acuerdo con [6], la confusión radica en el hecho de que una empresa mejora su desempeño cuanto más eficiente y productiva sea; sin embargo, si bien estos conceptos guardan una estrecha relación, no deben ser tratados análogamente. La productividad, se puede definir como un proceso mediante el cual se combina la transformación de los insumos de entrada logrando convertirlos en productos de salidas [7], es un concepto fundamental en la teoría económica.

Para poder dejar en claro los conceptos antes mencionados, se analiza la figura 1 [8], la cual deriva de un trabajo de Coelli. Sean A, B y C tres productores diferentes, el eje x representa las entradas y el eje y son las salidas. Si nos basamos en la definición de productividad que fueron expresadas en diversos párrafos, podemos determinar que la productividad del punto A se expresa como la relación (DA / OD) . Observando que para la misma entrada, es evidente que la productividad puede mejorar aún más si nos desplazamos del punto A al punto B. El nuevo nivel de productividad está dado por (BD / OD) . La productividad se puede representar, por lo tanto, por la pendiente del rayo a través del origen que une el punto específico en estudio. La eficiencia del punto A, por otro lado, se puede medir por la relación de la productividad de punto A al punto de que B, es decir, $(DA/OD) / (BD/OD)$. Se incorpora aquí el concepto de eficiencia, pero este no es un concepto total, sino que se derivan diversas

$$productividad = \frac{\sum_{k=1}^s u_{kj} y_{kj}}{\sum_{i=1}^m v_{ij} x_{ij}} \quad (2)$$

donde v_{ij} y u_{kj} son, respectivamente, los pesos correspondientes a cada entrada y a cada salida; m el número total de entradas consideradas y s el número de salidas de la entidad, (en adelante, DMU o Decision Making Unit). Sin embargo, el cálculo de la productividad para una DMU aislada, no tiene relevancia, salvo que se haga referencia a otras DMU's respecto al aprovechamiento que se hace de los recursos empleados en la producción de los outputs; por lo que es necesario expresarla como eficiencia relativa. La eficiencia relativa de cualquier DMU siempre será menor o igual que la unidad. Aquélla que tenga eficiencia igual a uno se le denomina eficiente; en caso contrario se le denomina ineficiente. La expresión matemática para la eficiencia relativa (3) es:

$$Eficiencia_j = \frac{\frac{\sum_{k=1}^s u_{kj} y_{kj}}{\sum_{i=1}^m v_{ij} x_{ij}}}{\frac{\sum_{k=1}^s u_{k0} y_{k0}}{\sum_{i=1}^m v_{i0} x_{i0}}} \quad (3)$$

En la que el denominador corresponde a la eficiencia de la DMU tomada como referente. Se observa que existen infinitos números de pesos que dan la misma eficiencia; por lo tanto, para reducir la cantidad de pesos asignables se establece que la productividad de la unidad de referencia es igual a uno (se normaliza), con lo que la eficiencia relativa de la unidad j queda definida como (4):

$$Eficiencia\ de\ unidad\ j = \frac{u_1 y_{1j} + u_2 y_{2j} + \dots}{v_1 x_{1j} + v_2 x_{2j} + \dots} \quad (4)$$

o

$$Eficiencia\ de\ unidad\ j = \frac{\sum_{k=1}^s u_k y_{kj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \quad (4)$$

Dónde:

- u_1 = peso asignado al output 1
- v_1 = peso asignado al input 1
- x_{1j} = cantidad de input 1 usado por la unidad j
- y_{1j} = cantidad de output 1 producido por la unidad j

2.1. Metodología D.E.A. (Data Envelopment Analysis)

DEA o análisis envolvente de datos, se trata de una técnica de programación matemática introducida inicialmente por Charnes, Cooper y Rhodes (1978), que permite calcular el índice de eficiencia técnica relativa. DEA propone resolver un programa lineal para cada unidad productiva (DMU) observada, optimiza cada observación individual con el propósito de construir una frontera determinada por las DMUs eficientes (aquéllas en una posición tal que les es imposible mejorar su output sin aumentar la cantidad de input utilizado o viceversa).

El análisis DEA puede involucrar muchos inputs y outputs (Figura 2) en la evaluación de eficiencia. Otro aspecto importante a tener en cuenta es la referenciación competitiva (benchmarking).

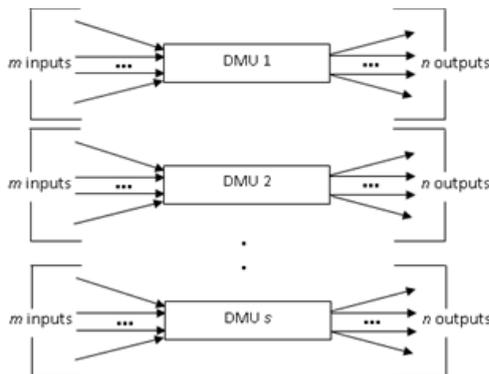


Figura 2

Mediante la aplicación de la técnica, se pueden identificar tres tipos de eficiencia: *Eficiencia de Escala*, cuando se produce en una escala de tamaño óptimo que es la que permite maximizar el beneficio. *Eficiencia asignativa*, cuando la empresa combina los inputs en las proporciones que minimicen el costo de producción y *Eficiencia técnica*, cuando la empresa obtiene el máximo output posible con la combinación de inputs empleada.

El origen de la utilización de esta técnica es en (1978) en donde los autores Charnes, Cooper y Rhodes desarrollan un modelo matemático de forma tal de poder medir la relación de salidas /entradas y la forma de ubicar los objetos en estudio que poseían mayor relación salida /entrada en la frontera de eficiencia [10]. Este método desarrollado es el original DEA o llamado CCR debido al apellido de los autores, pero lo que plantea este método es que la eficiencia es una razón constante entre los recursos utilizados por la DMU y los productos que se obtienen, es decir si se aumenta un valor proporcional las entradas del sistema, las salidas aumentarán el mismo valor o proporcional. En este desarrollo se obtiene la eficiencia global, que es la suma de la eficiencia de escala y la técnica pura. El sistema descrito anteriormente se llama *Modelo de rendimientos constantes a escala*, pero el inconveniente era de tener que manejar DMU's que operaran en una escala óptima o admitir otro tipo de rendimiento. Por lo tanto en 1984 Banker, Charnes y Cooper plantean una modificación al DEA original en donde las DMU's ya no era necesario que debieran estar operando en una escala óptima, con ello, se desprende el segundo método DEA o BCC, que es denominado *Modelo de rendimientos variables a escala*, aquí se proporciona la eficiencia técnica pura, o sea que con un aumento de valor x de las entradas se puede obtener un aumento de las salidas en un valor menor, mayor o igual a x .

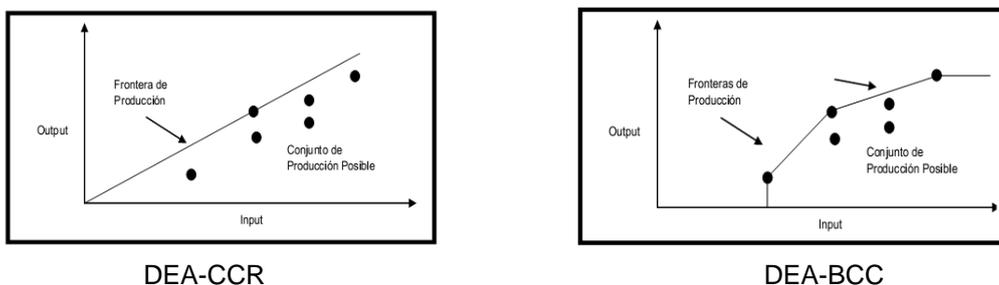


Figura 4 Modelos

Como estamos en presencia de una relación de entradas y salidas, en ambos métodos se puede dar un enfoque u orientación que va a depender de cuáles son esos factores que podemos controlar, en función de ello se desprende lo siguiente:

- Orientación al producto: en este enfoque se tiene como objetivo medir la eficiencia considerando la máxima producción alcanzable dada una cierta cantidad de insumos.
- Orientación al insumo: la medida de la eficiencia se centra en la mínima combinación de insumos posibles para una cantidad de producción.

En relación a las mediciones de las eficiencias, un aspecto interesante de evaluar, es la evolución a través de distintos períodos de tiempo, esto se puede determinar mediante la utilización del *índice de productividad de Malmquist*, el cual se utiliza para medir la eficiencia de una misma unidad en dos períodos de tiempo diferentes. Mejorar la eficiencia técnica, producir bajo una escala adecuada y la introducción de nuevas tecnologías tendrán un efecto positivo en la determinación de la productividad, a los tres factores anteriores son las componentes indispensables del factor de productividad total (fpt).

Esta técnica, por tratarse de un método no paramétrico, no requiere ninguna hipótesis sobre la frontera de producción, siendo la eficiencia de una unidad definida con respecto a las unidades "observadas" con mejor comportamiento [11]. Este análisis se detiene en la identificación del "mejor comportamiento", dando lugar a la posibilidad de benchmarking. Además de medir la eficiencia relativa, usando DEA se obtiene: Una superficie envolvente empírica (comportamiento de los mejores), una zona eficiente para comparar resultados, proyecciones eficientes sobre la frontera para cada DMU ineficiente, y un conjunto de referencia eficiente para cada DMU definida por las unidades eficientes más próximas a ella.

3. PLANTEO DEL MODELO

En este trabajo utilizaremos como sistema generador de múltiples servicios, a los puertos, debido a que la metodología DEA no es solo aplicable a la generación de productos sino que también es empleada en entidades generadoras de servicios.

El planteo del esquema de trabajo se basa fundamentalmente en la determinación y análisis de la eficiencia de puertos cuyo principal servicio es el movimiento de cargas contenedorizadas. Para ello se establecen las variables de entradas y salidas, y el porqué de su elección.

Como señalan [12], la productividad portuaria más que a ningún otro tipo de productividad en el transporte se la relaciona con indicadores parciales. Es decir, las autoridades portuarias miden generalmente su rendimiento cotejando el tonelaje manejado con el número de grúas o bien con los buques atendidos por unidad de tiempo. Estos indicadores son muy útiles para conocer la productividad de un área específica del puerto, pero resultan poco útiles a la hora de evaluarse o compararse con otra entidad, debido a esto, en este trabajo incorporamos medidas globales de productividad que permiten generar benchmarking [14].

Uno de los principales inconvenientes que se presentan en esta clase de investigaciones es la falta de información relacionada con variables como capital en activos, salarios y personal asignado a las operaciones, y todo lo relacionado a variables económicas. Por lo tanto en este trabajo se incorporan como variables de entrada:

Input:

- 1. La longitud de los muelles (expresada en metros lineales), que es uno de los activos más representativos que tiene una entidad portuaria.
- 2. Una variable de entrada fundamental que se vincula con el personal asignado a la operatoria es la cantidad de grúas de muelles que posee cada entidad a analizar.
- 3. La superficie terrestre (expresada en hectáreas) que está relacionada con la capacidad de crecimiento futuro y con la capacidad de actuar como amortiguador del sistema multimodal.

Como output o servicio prestado por las entidades analizadas, se plantea la cantidad de TEU's (unidad de medida que representa al contenedor de 20 pies de longitud) movilizados en un período de tiempo.

Output:

- 1. Movimiento de contenedores TEU's (x10000)

Con lo desarrollado hasta aquí, se plantea la determinación de la eficiencia con la metodología BCC o rendimientos variables a escala dada la naturaleza del sistema a analizar y orientado al producto ya que se busca preferentemente la maximización de los outputs a partir de los inputs

disponibles. Para poder desarrollar el trabajo, se utilizó una base de datos de puertos containeros de varios países de América del Sur y con un horizonte temporal del 2008 al 2012. La tabla 1 se muestra los valores de las variables de entrada LM: longitud de muelle (mts. lineales), ST: superficie terrestre (Ha), GM: grúas de muelle (cantidades); y los valores de la variable de salida, cantidad de contenedores x 10000 movilizados, para diversos puertos de América del Sur en el horizonte temporal más actual (2012).

País	DMU	Inputs (X)			Outputs (Y)
		LM(x100)	ST	GM	TEU(x10000)
Argentina	Buenos Aires	56	92	5	165,6
Brasil	Paranagua	26	33,5	6	74,4
Brasil	Santos	110,83	770	27	296,2
Brasil	Rio Grande	40	205	7	61,1
Chile	San Antonio	12,13	52,8	8	106,9
Chile	Valparaíso	10,34	20	8	94,2
Chile	San Vicente	10	20	3	58,5
Colombia	Cartagena	16,36	172	6	220,6
Colombia	Buenaventura	20	620	7	85
Ecuador	Guayaquil	16,25	200	6	144,9
Perú	Callao	37,19	24	5	181,8
Uruguay	Montevideo	45	110	6	75,4
Venezuela	Puerto Cabello	50,16	153	3	84,6

Tabla 1 Variables de entrada y salidas. *Elaboración propia.*

Al aplicar la técnica DEA se deberá verificar los grados de libertad que posee el sistema, esto es para evitar que demasiadas DMU's o entidades se ubiquen en la frontera de eficiencia, por lo tanto como regla general se plantea que el número de DMU's debe ser mayor que la combinación del número de variables de entradas y el número de variables de salidas. Se plantea la siguiente fórmula [11]:

$$N^{\circ}DMU's \geq \text{Máx. } \{m*s, 3(m+s)\}, \text{ en donde } m = n^{\circ} \text{ de entradas y } s = n^{\circ} \text{ de salidas}$$

En nuestro caso: $m = 3$ y $s = 1$; lo que implica que la cantidad de DMU's que debemos tener es: $N^{\circ} DMU's \geq \text{Máx. } \{3, 12\}$, la cantidad de DMU's que se analizan en este trabajo son: 13 DMU's, por lo tanto cumplimos con la validación de la fórmula, como se aclaró en el desarrollo del presente trabajo, el principal inconveniente es poder hallar información de los indicadores, por eso el poco número de unidades de decisión, pero que para la finalidad del trabajo cumplen con la validación.

4. ANALISIS Y RESULTADOS DEL MODELO

Realizada la validación de los datos, podemos comenzar el objetivo del estudio, para ello contamos como herramienta de resolución el software Stata 11.2.

Como se explicó anteriormente lo que se desarrollará será el modelo con rendimientos variables a escala y una orientación a la salida, la ventaja de realizar el modelo rendimiento variable a escala con este software es que por default al calcular el modelo *vrs* calcula también el modelo rendimiento constante de escala, con lo cual puede verse la influencia de la escala y la gestión en la eficiencia global.

Del análisis de la tabla 2, surge que las DMU con ranking o posición 1 se corresponde con las que poseen valor de theta (variable que identifica la eficiencia) 1, lo cual indica que esas son las DMU eficientes, en nuestro caso el 53.84 % de las DMU son eficientes. El modelo DEA está orientado al output indica que con ese nivel de input se debería tener una mayor salida u output. En la tabla 3 se indican los valores de referencia, cuya interpretación sirve para identificar las mejores DMU y compararlas (Benchmarking) con las que poseen bajo rendimiento, en términos generales esto significa que el conjunto de referencia tiene una mezcla "similar" de los insumos y salidas con respecto a la DMU eficiente. Este conjunto de unidades puede ayudar a proporcionar una idea de por qué es bajo su rendimiento y se puede mostrar claramente a través de sus holguras las áreas en las que se es débil. En resumidas palabras, con la tabla 3 se puede aplicar los conceptos de Benchmarking.

VI Congreso de Ingeniería Industrial COINI 2013
7 y 8 de noviembre de 2013 - Centro Tecnológico de Desarrollo Regional
Facultad Regional San Rafael - Universidad Tecnológica Nacional
Los Reyunos, San Rafael, Mendoza, Argentina

Seguidamente, se identifican los valores de holgura, expresados en la tabla 4, la información que se detalla, es que las DMU's eficientes son fuertemente eficientes, dado que las variables de holgura son cero o un valor muy pequeño, para aquellas DMU's que no son eficientes la utilidad de esta tabla es la de poder identificar como se deberían utilizar los recursos para ser eficientes.

<i>País</i>	<i>DMU</i>	<i>Rank</i>	<i>θ</i>
Argentina	Buenos Aires	8	0.910891
Brasil	Paranagua	10	0.514933
Brasil	Santos	1	1
Brasil	Rio Grande	13	0.272525
Chile	San Antonio	1	1
Chile	Valparaíso	1	1
Chile	San Vicente	1	1
Colombia	Cartagena	1	1
Colombia	Buenaventura	11	0.380291
Ecuador	Guayaquil	9	0.661291
Perú	Callao	1	1
Uruguay	Montevideo	12	0.368982
Venezuela	Puerto Cabello	1	1

Tabla 2 Eficiencia - Ranking. *Elaboración propia.*

<i>País</i>	<i>DMU</i>	<i>Ref. B.A.</i>	<i>Ref. P.</i>	<i>Ref. S.</i>	<i>Ref. R.G.</i>	<i>Ref. SA.</i>
Argentina	Buenos Aires	1	0	0	0	0
Brasil	Paranagua	0	1	0	0	0.343151
Brasil	Santos	0	0	1	0	0
Brasil	Rio Grande	0	0	0.047619	1	0
Chile	San Antonio	0	0	0	0	1
Chile	Valparaíso	0	0	0	0	0
Chile	San Vicente	0	0	0	0	0
Colombia	Cartagena	0	0	0	0	0
Colombia	Buenaventura	0	0	0.0385307	0	0
Ecuador	Guayaquil	0	0	0	0	0
Perú	Callao	0	0	0	0	0
Uruguay	Montevideo	0	0	0	0	0
Venezuela	Puerto Cabello	0	0	0	0	0
<i>País</i>	<i>DMU</i>	<i>Ref. V.</i>	<i>Ref. S.V.</i>	<i>Ref. C.</i>	<i>Ref. B.</i>	<i>Ref. G.</i>
Argentina	Buenos Aires	0	0	0	0	0
Brasil	Paranagua	0.0323833	0.0633009	0	0	0
Brasil	Santos	0	0	0	0	0
Brasil	Rio Grande	0	0	0.952381	0	0
Chile	San Antonio	0	0	0	0	0
Chile	Valparaíso	1	0	0	0	0
Chile	San Vicente	0	1	0	0	0
Colombia	Cartagena	0	0	1	0	0
Colombia	Buenaventura	0	0	0.961469	1	0
Ecuador	Guayaquil	0	0.0172957	0.982704	0	1
Perú	Callao	0	0	0	0	0
Uruguay	Montevideo	0	0	0.581081	0	0
Venezuela	Puerto Cabello	0	0	0	0	0
<i>País</i>	<i>DMU</i>	<i>Ref. C.</i>	<i>Ref. M.</i>	<i>Ref. P.C.</i>		
Argentina	Buenos Aires	1	0	0		
Brasil	Paranagua	0.561165	0	0		
Brasil	Santos	0	0	0		
Brasil	Rio Grande	0	0	0		
Chile	San Antonio	0	0	0		
Chile	Valparaíso	0	0	0		
Chile	San Vicente	0	0	0		
Colombia	Cartagena	0	0	0		
Colombia	Buenaventura	0	0	0		
Ecuador	Guayaquil	0	0	0		
Perú	Callao	1	0	0		
Uruguay	Montevideo	0.418919	1	0		
Venezuela	Puerto Cabello	0	0	1		

Tabla 3 Valores de referencia - Benchmarking. *Elaboración propia.*

<i>País</i>	<i>DMU</i>	<i>Islack (Imx100)</i>	<i>Islack (st)</i>	<i>Islack (GM)</i>
Argentina	Buenos Aires	18.18	68	0
Brasil	Paranagua	0	0	0
Brasil	Santos	0	0	0
Brasil	Rio Grande	19.14	4.52	0
Chile	San Antonio	0	0	0
Chile	Valparaíso	0	0	0
Chile	San Vicente	0	0	0
Colombia	Cartagena	0	0	0
Colombia	Buenaventura	0	425	0.19086
Ecuador	Guayaquil	0	30.63	0.05188
Perú	Callao	0	0	0
Uruguay	Montevideo	19.92	0	0.42
Venezuela	Puerto Cabello	0	0	0

Tabla 4 Valores de holgura. *Elaboración propia.*

En la tabla 4 se aprecia que no es muy significativo las variables de holgura, lo más significativo se da en el puerto de Buenaventura debido a su gran capacidad de extensión que posee, lo que haría suponer que se puede mejorar los valores de output.

Si analizamos la característica del modelo, observamos que con ese nivel de salida, algunas de las DMU's tienen mal utilizado sus insumos, dada la orientación empleada. Este análisis es muy importante desde la perspectiva de un nivel estratégico, porque supongamos que alguno de los puertos desea ser eficiente puede analizar que recurso deberá mejorar para lograrlo, o en el caso de si existiera algún puerto débilmente eficiente antes de tomar una decisión de ampliación de su infraestructura (insumos) debería analizar el consumo del mismo.

Como resumen de la salida del modelo se presenta la tabla 5:

<i>País</i>	<i>DMU</i>	<i>CRS_TE</i>	<i>VRS_TE</i>	<i>NIRS_TE</i>	<i>SCALE</i>	<i>RTS</i>
Argentina	Buenos Aires	0.905123	0.910891	1.000000	0.993667	1.000000
Brasil	Paranagua	0.513818	0.514933	0.513851	0.997834	1.000000
Brasil	Santos	0.298399	1.000000	1.000000	0.298399	-1.000000
Brasil	Rio Grande	0.237404	0.272525	0.316729	0.871131	1.000000
Chile	San Antonio	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	0.000000
Chile	Valparaíso	0.992990	1.000000	1.000000	0.992990	1.000000
Chile	San Vicente	0.931441	1.000000	0.931441	0.931441	1.000000
Colombia	Cartagena	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	0.000000
Colombia	Buenaventura	0.330268	0.380291	1.000000	0.868461	1.000000
Ecuador	Guayaquil	0.661291	0.661291	0.707431	1.000000	0.000000
Perú	Callao	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	0.000000
Uruguay	Montevideo	0.343440	0.368982	0.406608	0.930776	1.000000
Venezuela	Puerto Cabello	0.766999	1.000000	1.000000	0.766999	1.000000

Tabla 5 Valores de rendimientos de escala. *Elaboración propia.*

En la tabla 5 lo que indican sus columnas son: la primera columna indica el valor de theta para el modelo de rendimientos constantes a escala, la segunda columna indica el valor de theta para rendimientos variables a escala. Por lo tanto, en el caso que $\theta_{crs} = \theta_{vrs}$ la DMU está operando en una escala correcta, esto se ve reflejado en la columna $SCALE = \theta_{crs} / \theta_{vrs}$, de aquí se desprende el siguiente análisis:

- Si $\theta_{crs} / \theta_{vrs} = 1$ se está operando en la escala correcta.
 - $\theta_{crs} = \theta_{vrs} = 1$ las DMU's son eficientes.
 - $\theta_{crs} \neq \theta_{vrs} \neq 1$ las DMU's son ineficientes pero no por opera en una escala inadecuada.
- Si $\theta_{crs} / \theta_{vrs} \neq 1$ operan en una escala incorrecta.

En lo referente a la clase de rendimiento que posee cada DMU's se analiza θ_{vrs} y la columna de NIRS, si $\theta_{vrs} \neq NIRS$ indica rendimientos crecientes a escala, si $\theta_{vrs} = NIRS$ indica rendimientos decrecientes a escala o constantes.

<i>País</i>	<i>DMU</i>	<i>Rendimientos a escala</i>
Argentina	Buenos Aires	<i>Crecientes</i>
Brasil	Paranagua	<i>Crecientes</i>
Brasil	Santos	<i>Decrecientes</i>
Brasil	Rio Grande	<i>Crecientes</i>
Chile	San Antonio	<i>Constantes</i>
Chile	Valparaíso	<i>Crecientes</i>
Chile	San Vicente	<i>Crecientes</i>
Colombia	Cartagena	<i>Constantes</i>
Colombia	Buenaventura	<i>Crecientes</i>
Ecuador	Guayaquil	<i>Constantes</i>
Perú	Callao	<i>Constantes</i>
Uruguay	Montevideo	<i>Crecientes</i>
Venezuela	Puerto Cabello	<i>Crecientes</i>

Tabla 6 Resumen de rendimientos. *Elaboración propia.*

En la tabla 6 lo que se muestra es un resumen de los rendimientos a escalas de cada una de las DMU analizadas y lo que se observa que un 61.5 % corresponde a DMU con rendimientos crecientes, un 31 % con rendimientos constantes y el resto con rendimiento decrecientes.

Uno de los aspectos fundamentales que tiene el análisis de la eficiencia en esta clase de actividad (puertos) es la de poder evaluar los niveles de productividad a lo largo del tiempo, la forma de identificar los niveles es a través del índice de Malmquist (IM). Un enfoque a considerar, es que Malmquist estima que porcentaje de la variación en la productividad total se debió a cambios tecnológicos y que porcentaje se originó por un mejor aprovechamiento de los insumos, a su vez esto último se clasifica en una variación del cambio de gestión y en una variación del cambio de escala. En nuestro caso se tomaron los periodos de evolución 2008 y 2012 de los puertos en análisis. Para desarrollar el índice se hizo correr los dos modelos DEA y se verificó lo siguiente: Si las corridas de los dos modelos eran iguales podemos asegurar que los rendimientos a escala son constantes, en nuestro caso difieren por lo tanto podemos asegurar que pueden no ser constantes.

<i>País</i>	<i>DMU</i>	<i>Periodo</i>	<i>tfpch</i>	<i>effch</i>	<i>techch</i>	<i>pech</i>	<i>sech</i>
Argentina	Buenos Aires	1~2	1.07022	1.10482	0.968679	1.09783	1.00637
Brasil	Paranagua	1~2	0.691803	0.901269	0.767587	0.899664	1.00178
Brasil	Santos	1~2	1.01112	1.23603	0.818039	1	1.23603
Brasil	Rio Grande	1~2	1.78483	1.21222	1.13594	1.66939	1.14793
Chile	San Antonio	1~2	0.679966	0.728702	0.728702	0.758127	0.961188
Chile	Valparaíso	1~2	1.07673	1	1	1	1
Chile	San Vicente	1~2	1.11593	1.15363	1.15363	1	1.15363
Colombia	Cartagena	1~2	0.491574	0.818891	0.818891	0.818891	1
Colombia	Buenaventura	1~2	0.98354	1.53113	1.53113	1.32972	1.15146
Ecuador	Guayaquil	1~2	0.679771	1.07086	1.07086	1.07911	0.99235
Perú	Callao	1~2	0.66688	1	1	1	1
Uruguay	Montevideo	1~2	0.919006	0.982696	0.982696	0.95265	1.03154
Venezuela	Puerto Cabello	1~2	0.956265	0.788606	0.788606	1	0.788606
	Promedio		0,93290	1,04068	0,98190	1,04657	1,03622

Tabla 7 Resumen Índice de Malmquist. *Elaboración propia*

En la tabla 7 se identifican cada una de las variables que arroja la salida Stata para el cálculo del índice de malmquist. Cabe destacar que la expresión del índice de Malmquist se descompone en Δ eficiencia y Δ tecnología. El cambio en la eficiencia se puede descomponer en cambio de eficiencia técnica pura y cambio en eficiencia de escala. El significado de cada una de las variables es:

- Tfpch: cambio en la productividad total de los factores.
 - Effch: cambio en la eficiencia técnica.
 - Techch: cambio en la tecnología.
 - Pech: cambio en la eficiencia técnica pura (influye la gestión)
 - Sech: cambio en la eficiencia de escala.
- ✓ Pech * Sech = Effch

✓ $Effch * Tech = Tfpch$

En base a la tabla 7, podemos identificar que el 54 % de los puertos de la región lograron un cambio favorable en la utilización de la tecnología, lo cual significa que se han modernizado o que están utilizándola correctamente, que el mismo porcentaje se reproduce cuando se analiza el cambio en la eficiencia técnica, lo que hace que se mantenga el mismo porcentaje al momento de analizar la variación de los cambios en la productividad total de los factores, pero que dicha variación positiva en la variación del cambio de la tecnología no fue acompañada en el mismo porcentaje para el cambio de eficiencia pura relacionada con la gestión, que es del apenas 30%. Los cambios que se observan en la variación de la eficiencia de escala es del 54% aproximadamente lo que indica que se está trabajando en una escala cercana a al óptima, en resumidas palabras observamos que un solo puerto para fuera de escala.

5. CONCLUSIONES

El trabajo utiliza una metodología de programación no paramétrica, basada en el análisis de datos involucrados ("Data Envelopment Analysis", o DEA), que permite computar los índices Malmquist de cambios en la productividad.

Algo a destacar es la posibilidad de generar Benchmarking y con ello, analizar de qué manera consumir los recursos para lograr acercarse a una DMU eficiente, la metodología empleada para calcular los índices de Malmquist, permite separar las variaciones de los cambios ocurridos en la productividad total de los factores en un componente de cambios en la eficiencia y otro de cambios en la tecnología. A su vez, al considerar el supuesto de retornos constantes a escala, los cambios en la eficiencia pueden descomponerse en cambios en la eficiencia pura y en cambios de escala.

En el caso de este trabajo, luego de la aplicación de las diferentes metodologías, permite estudiar y analizar de qué manera se comportan las variables de entrada y salida para lograr una tendencia a ser eficiente y como varían los distintos aspectos de eficiencia en diferentes periodos temporales.

Como conclusión del análisis de la eficiencia podemos destacar que no muchos puertos operan fuera de la escala óptima, pero que existe una variación ineficiente tanto técnica con también en la tecnología que poseen, lo que conlleva a plantear para futuros trabajos como lograr cambios positivos de tecnología. Algo que se debe resaltar es que la gran mayoría de los puertos no poseen problemas de gestión, esto es importante y denota que a través del tiempo los planteamientos estratégicos fueron acertados. La situación portuaria en la región de América del Sur ha experimentado importantes cambios como consecuencia, principalmente, de las políticas de apertura económica. Los hechos más relevantes de esos cambios han sido la eliminación de la reserva de carga, la supresión de los subsidios a la construcción de buques y la privatización de las empresas estatales. Estos cambios de política se han adoptado, por lo general, para mejorar las condiciones de competencia de las exportaciones de los países de la región. Sin embargo, en la mayoría de los casos, estos cambios no han sido acompañados de una política de promoción de la marina mercante, que favorezca el desarrollo y competitividad de las empresas navieras de la región, para que puedan insertarse exitosamente en las transformaciones que están sucediendo: concentración, consorcios y fusiones de empresas, competencia, especialización, consolidación y masificación de la carga, concentración y modernización de actividades portuarias, privatizaciones y crecimiento de la importancia del transporte multimodal.

6. REFERENCIAS

- 1) Atul Deshmukh (2003), Indian Ports- The Current Scenario, Mumbai
- 2) Jan Hoffmann (2001) Latin American Ports: Results and Determinants of Private Sector Participation, United Nations Economic Commission for Latin America and the Caribbean, International Journal of Maritime Economics.
- 3) Doerr, O., & Sánchez, R. J. (2006). Indicadores de Productividad para la Industria Portuaria. Aplicable en América Latina y el Caribe. división de Recursos Naturales e Infraestructura, CEPAL, 1-76.

- 4) Khalid, N., Muda, A.F., Zamil, A.S. (2004) "Port Competitiveness: SWOT Analysis of Malaysian Ports under Federal Port Authorities" Centre of Economic Studies & Ocean Industries. Maritime Institute of Malaysia.
- 5) Marlow, Peter B. and Ana Cristina Paixao (2004), Measuring Lean Ports Performance, International Journal of Transport Management.
- 6) Trujillo, L. y M.M. González, (2005), "Reforms and infrastructure efficiency in Spain's container ports Reforms and infrastructure efficiency in Spain's container ports". World Bank, Policy research working paper series, nº WPS 3515.
- 7) Frei FX, Harker PT (1999) Projections onto efficient frontier: theoretical and computational extension to DEA. J Product Anal 11:275–300.
- 8) COELLI, T., PRASADA RAO, D.S. y BATTESE, G.E. (1998): An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- 9) M.J.Farrel (1957) The Measurement of productive Efficiency. Journal of the Royal Statistical Society.
- 10) Thanassoulis, E. (2001). *Introduction to the Theory and Application of Data Envelopment Analysis - A foundation text with integrated software*. London: Kluwer Academic publishers.
- 11) Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Tone, K. (2000). *Data Envelopment Analysis*. London: Kluwer Academic Publishers.
- 12) Antonio Estache, Beatriz Tovar de la Fé, Lourdes Trujillo (2004), Sources of efficiency gains in port reform: a DEA decomposition of a Malmquist TFP index for Mexico. The World Bank.
- 13) William Wager Cooper, Lawrence M. Seiford, Kaoru Tone (2006), *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*.
- 14) Cullinane, K., Song, D.W., Ji, P. and Wang, T.F. (2004): "An Application of DEA Windows Analysis to Container Port Production Efficiency, Review of Network Economics.
- 15) Choonjoo Lee, Ji Yong-Bae (2009), *Data Envelopment Analysis in Stata*
- 16) Martínez, E., Díaz, R., Navarro, M., Ravelo, T., (1999) "A study of the Efficiency of Spanish Port Authorities using Data Envelopment Analysis" International Journal of Transport Economics.

Agradecimientos

Este trabajo no podría haberse realizado sin el apoyo económico prestado por varias fuentes. Los autores agradecen al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y a la Universidad Nacional del Sur.