Análisis Económico, vol. XXXVII, núm. 96, septiembre-diciembre de 2022, pp. 79-97, ISSN: 0185-3937, e- ISSN: 2448-6655

Análisis de la Logística Marítima de Norteamérica 2010-2018. Un Estudio de Eficiencia y Productividad Medido a través del Índice Malmquist

Analysis of the North American Maritime Logistics 2010-2018. A Study of Efficiency and Productivity Measured through Malmquist Index

Recibido: 11/abril/2022; aceptado:11/julio/2022; publicado:01/septiembre/2022

Odette V. Delfín-Ortega[*]
José Alberto Lucas Avilés[**]

https://doi.org/10.24275/uam/azc/dcsh/ae/2022v37n96/Delfin

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es calcular el nivel de eficiencia y productividad de los principales puertos marítimos de América del Norte en 2010-2018. La metodología empleada en la primera etapa *es Data Envelopment Analysis* (DEA) en la cual se calcula la eficiencia técnica, posteriormente en una segunda etapa se obtiene el cambio en la productividad instrumentando el Índice *Malmquist*, la cual se desagrega en dos factores: "cambio técnico" (*Frontier-Shift*) y el "cambio de eficiencia" (*Catch-Up*). Los resultados dan cuenta de que en promedio fue el puerto de Los Ángeles quien tuvo un mayor crecimiento en la productividad, sin embargo, los valores obtenidos en general indican la falta de políticas portuarias para que las terminales optimicen de mejor manera sus recursos y se fomente el desarrollo portuario.

Palabras clave*:* Índice Malmquist; Eficiencia; Puertos de América del Norte.
Clasificación JEL: C67; D24; L81; L91.

ABSTRACT

The objective of this research is to calculate the level of efficiency and productivity of the main seaports in North America in 2010-2018. The methodology used in the first stage is Data Envelopment Analysis (DEA) in which the technical efficiency is calculated, later in a second stage the change in productivity is obtained by instrumenting the Malmquist Index, which is disaggregated into two factors: "change technical" (Frontier-Shift) and the "efficiency change" (Catch-Up). The results show that on average it was the port of Los Angeles that had the highest growth in

Esta obra está protegida bajo una Licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional

[*] Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. Correo electrónico: odette.delfin@umich.mx
[**] Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México

productivity, however, the values obtained in general indicate the lack of port policies for the terminals to better optimize their resources and encourage port development.
Keywords: Malmquist Index; Efficiency; North America ports.
JEL Classification: C67; D24; L81; L91.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las actividades marítimas se consideran promotoras económicas para muchos países, debido a que gran parte del comercio a nivel internacional se transporta por medio marítimo. Sin esta actividad, no podría ser posible realizar las operaciones de importación y exportación que llevan a cabo los países. Desde tiempos de la antigüedad el transporte marítimo se ha caracterizado por implementar avances tecnológicos e innovar en todos sus procesos, lo que ha beneficiado a los usuarios a través de la ampliación de rutas, traslados más rápidos y reducción de costos. De acuerdo con la Organización Marítima Internacional (OMI), se puede decir que hay alrededor de 50,000 barcos dedicados exclusivamente al intercambio de mercancías de diversos productos (OMI, 2015).

El transporte marítimo demanda una serie de adaptaciones y desarrollo en los puertos para poder cubrir las demandas y necesidades del comercio internacional; éstas se implementan en la infraestructura, equipos y procesos para el manejo de las mercancías. Los puertos marítimos son estructuras complejas que sirven como punto de encuentro de varios operadores quienes desarrollan diversos tipos de operaciones y actividades, cada uno de estos operadores tiene un objetivo diferente y están sujetos al cumplimiento de regulaciones. Los puertos son una pieza clave para la economía de un país y su competitividad, si un puerto es ineficiente esto generaría un encarecimiento en los costos de importación y exportación (OMI, 2015).

La relevancia de esta investigación consiste en analizar por qué en la mayoría de los países han tenido un desempeño deficiente logísticamente hablando y si esto impacta negativamente en su desarrollo comercial. Por lo tanto, para lograr ser más competitivos en materia de comercio exterior, es fundamental tomar en cuenta la conectividad eficiente a través de las diversas plataformas logísticas. De esta manera, la contribución que se pueda realizar para lograr un abastecimiento constante y oportuno en la cadena de suministros da como resultado un posicionamiento competitivo en los mercados internacionales (Bancomext, 2016; BID, 2013; Munguía, Canales y Becerril-Torres, 2018).

Durante el primer trimestre de la pandemia, en el año 2020, el volumen de bienes comercializados a nivel mundial tuvo una reducción del 17.7% en comparación del primer trimestre del 2019, esta situación afectó a todos los países – se enfatizó en las exportaciones realizadas de los Estados Unidos de América, a la Unión Europea y a Japón-. En la misma dirección se vieron afectados también los países de América Latina y el Caribe, los cuales mostraron una contracción de sus operaciones de exportaciones –de enero a mayo de 2020- del 26.1% y de sus importaciones de 27.4%. Esta situación motivó a la industria marítima a realizar un ajuste en 4 áreas estratégicas: 1) reducción en los costos de operación; 2) análisis y gestión de una oferta efectiva, 3) reorientación de las responsabilidades financieras y 4) redireccionar las estrategias de mercado (Sánchez y Weikert, 2020).

El objetivo de esta investigación es calcular el nivel de eficiencia y productividad de los principales puertos marítimos de América del Norte en 2010-2018 y la hipótesis que se plantea es que el cambio tecnológico fue el factor que incidió mayormente en la Productividad Total de los Factores de los principales puertos de América del Norte durante el periodo, 2010-2018. En este sentido el presente trabajo se determina la eficiencia técnica, y posteriormente se obtiene la productividad portuaria, lo que representa una gran contribución en esta región debido a que no se habían realizado estudios de esta naturaleza. Para el desarrollo metodológico se propone la formulación de un modelo de frontera no paramétrico Análisis de la Envolvente de Datos (DEA por sus siglas en inglés), orientado al *output* con rendimientos variables a escala. Dicho

modelo permite obtener la eficiencia técnica, así como evaluar el desarrollo de la Productividad Total de los Factores con el cálculo del índice *Malmquist*.

El presente trabajo está estructurado en 4 secciones, además de la introducción, En la primera sección se presenta una contextualización de los puertos de Norteamérica. En la siguiente sección se presentan los materiales y métodos; a continuación, se tiene el apartado III, donde se encuentran los resultados de los cálculos de eficiencia y productividad total de los factores, mientras que en la sección IV se discuten los resultados. Finalmente, están las conclusiones.

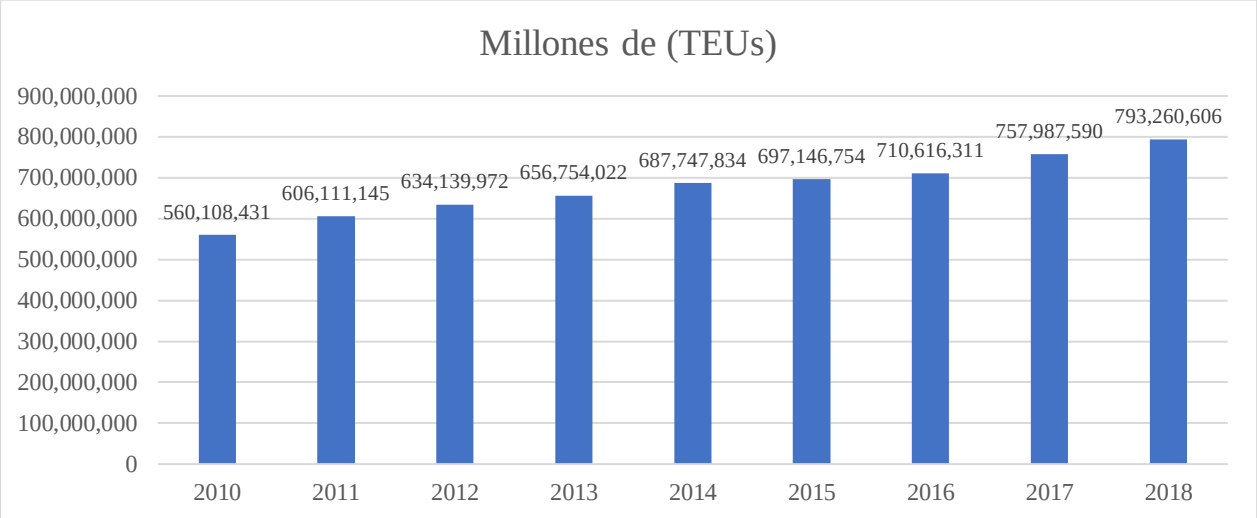
I. CONTEXTUALIZACIÓN DE LOS PUERTOS DE NORTEAMÉRICA

Los puertos se pueden definir como un compuesto de instalaciones y servicios que facilitan el intercambio de productos y mercancías, entre los medios de transporte terrestres y acuáticos en el terreno nacional e internacional. Los puertos representan vínculo de ingreso para la mayoría de los productos y mercancías del comercio exterior además de ser el vínculo entre el transporte terrestre y el marítimo (Díaz, 2009).

Hoy en día, la mayor parte de todo el comercio mundial se transporta a través del mar (OMI, 2015). La comercialización de productos tangibles en su mayoría se transporta vía marítima a través de puertos de tráfico de altura, que es el interoceánico, y los puertos de cabotaje que se llevan a cabo a través del mismo litoral (Portables, 2012).

En la gráfica 1 se presenta el movimiento anual mundial de contenedores y se puede observar que en el año 2010 se movilizaron 560,108,431teus[1], mostrando un comportamiento ascendente hasta el 2018 donde cierra con 793,260,606 teus, lo que muestra un crecimiento en la comercialización de productos a nivel mundial.

Gráfica 1
Tráfico anual mundial de contenedores (TEUs) en el periodo, 2010-2018.

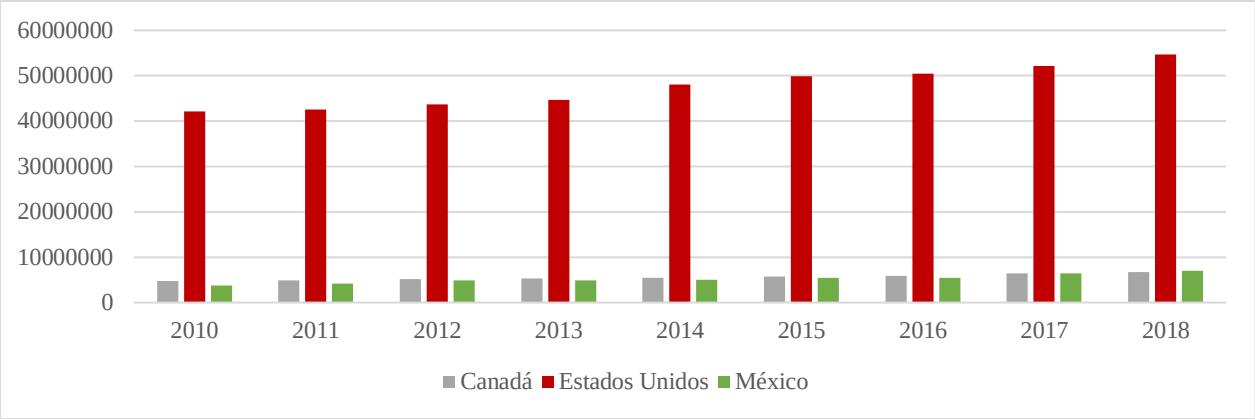


Fuente: Elaboración propia con los datos obtenidos de UNCTAD, 2018.

[1] Un TEU o Twenty-Foot Equivalent Unit, por sus siglas en inglés, es una unidad de medida utilizada en el comercio exterior y en los envíos internacionales. El TEU tiene la finalidad de expresar la capacidad de carga de los contenedores estándar de 20 pies (20’ x 8’ x 8’).

Los puertos pueden compararse de muchas maneras diferentes: por volumen, tonelaje, tráfico de contenedores etc. En la gráfica 2, se ilustra el tráfico anual de contenedores en América del Norte durante el periodo 2010-1018. De la misma forma, se puede apreciar como Estados Unidos está muy por encima de Canadá y México en este indicador. En el caso de Canadá y México se puede observar que estos países han estado muy parejos en cuanto al tráfico de contenedores durante el periodo antes mencionado.

Gráfica 2
Tráfico anual de contenedores en América del Norte en el periodo 2010-2018.
(Número de TEUS)



Fuente: Elaboración propia con los datos obtenidos de UNCTAD, 2018.

De acuerdo con datos del Gobierno de Canadá (2019), este país tiene más de 550 instalaciones portuarias. Debido a su papel estratégico, el gobierno ha invertido más de 715 millones de dólares en ellos desde 2005. Las Autoridades Portuarias manejan más del 60% del tonelaje comercial marítimo total. De hecho, en 2016, manejaron 5.7 millones de teus, un crecimiento del 35% en los últimos diez años.

En cuanto a los puertos marítimos de Estados Unidos manejan más del 99% de la carga de ultramar del país en volumen y el 65% en valor, según la Asociación Americana de Autoridades Portuarias (AAPA, 2019). Estas cifras son significativas, dado que el valor de todo el comercio internacional representa casi el 30% del PIB de Estados Unidos de América. La Asociación Americana de Autoridades Portuarias menciona que los puertos de aguas profundas en los EE. UU. apoyaron 541,946 puestos de trabajo en 2014. El salario promedio de estos trabajadores era de 54,273 dólares. Además, la actividad portuaria generó más de 23 millones de empleos en sectores relacionados y a través de su impacto económico generado en las comunidades circundantes (EPA, 2018).

Los puertos mexicanos representan un pilar esencial de la política comercial internacional y son un detonante importante en la economía no solo a nivel nacional, sino también internacional. Los expertos admiten que los puertos de México, aunque han ido incrementando su eficiencia, aún están lejos de poder equipararse con puertos del calibre de Hong Kong, Ámsterdam, Nueva York, Los Ángeles, Long Beach, y Singapur (Díaz, 2009).

Hoy en día, los puertos que manejan la mayor cantidad de productos comercializables en México son: Manzanillo, Veracruz, Lázaro Cárdenas y Altamira; sin embargo, aún no se posee un puerto mexicano entre los 50 principales del mundo en materia de tráfico de contenedores (CGPMM, 2019).

Diversos estudios se han realizado sobre el desempeño portuario, algunos de ellos van enfocados al análisis de la eficiencia sustentable portuaria como es el caso de Çağata y Lee (2019); Sdoukopoulos, Boile, Tromaras y Anastasiadis (2019); Yen-Chun, Chih-Hung, Goh y Yung-Hsiang (2016). En sus aportaciones proponen realizar estrategias operativas (optimización de operaciones), uso de tecnología, uso de energías

renovables, combustibles alternativos y sistemas de gestión de energía con la finalidad de mejorar la eficiencia energética y el desempeño ambiental de puertos y terminales.

Otros autores han realizado investigaciones sobre productividad portuaria como el caso de Ruiz, Salarzadeh, y Chin (2017); Ghiara y Tei (2021); Delfin y Navarro (2015); Yen-Chun, Chih-Hung, Goh y Yung-Hsiang (2016), quienes con sus resultados han contribuido en el mejoramiento operacional portuario. Estos estudios de la productividad son relevantes porque la expansión de la carga y la adaptabilidad al cambio tecnológico pueden afectar directamente la tasa de crecimiento de la productividad marginal y el desempeño de un puerto y son a través de este tipo de estudios donde se establecen los lineamientos de políticas portuarias para incrementar el desempeño portuario.

En la misma dirección se han realizado estudios sobre eficiencia utilizando el Análisis de la Envolvente de Datos (DEA) y en otros casos la metodología del Análisis de Frontera Estocástica (SFA) en el sector portuario, tal es el caso de Miller y Hyodo (2022); Shaheen y Elkalla (2019); Haruna (2021); Sheng y Kim (2021); Ropero, Turias y Jiménez (2019); Hajizadeh, *et. al*. (2017); Kammoun (2018); y Arbia (2018). Ellos indican que analizar el desempeño es esencial para evaluar el funcionamiento de los puertos de contenedores y así determinar si están operando por debajo de su capacidad de producción.

También se han realizado investigaciones sobre eficiencia económica portuaria como son los casos de Hidalgo-Gallego, Núñez-Sánchez y Coto-Millán (2022); Tongzon y Hong-Oanh (2021); Navarro y Delfín (2020); estos estudios contribuyen al análisis de la logística marítima y su medición de la eficiencia técnica y la eficiencia económica.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología del Análisis de la Envolvente de Datos (DEA por sus siglas en inglés), es una técnica que utiliza la programación lineal para poder calcular una frontera que pueda considerarse eficiente entre las unidades observables. A través de esta metodología se pretende alcanzar el nivel máximo de salidas (*outputs)* de conformidad de una cantidad específica de insumos o entradas (*inputs)*, o bien, la menor cantidad de insumos posible para poder producir lo máximo posible (Coelli, Prasada, & Battese, 1998).

Tomando en cuenta que el sector industrial es un detonante económico para cualquier país, el análisis de la productividad representa una herramienta esencial para poder indicar si están operando de manera óptima y proponer mejoras que ayuden a aumentar su desarrollo. Es primordial comprender la importancia de la productividad de un país, porque puede ayudar a analizar los aspectos macroeconómicos relevantes para tener un crecimiento económico óptimo (Sumanth, 1993).

Este estudio adoptó por utilizar la metodología *Data Envelopment Analysis* (DEA), propuesta por Farrell (1957) para calcular la eficiencia técnica del sector portuario de América del Norte, además la metodología que se utiliza para calcular la Productividad Total de los Factores (PTF) es el *Índice Malmquist* expresado por Färe *et al*., (1994), ya que a través de esta técnica se puede desagregar el cambio de la PTF en cambio de eficiencia y cambio técnico.

Eficiencia Técnica

Los escritos sobre la eficiencia técnica comenzaron a mediados de la década de 1950. El principal significado de la eficiencia técnica fue propuesto por el autor Koopmans (1951:460) el cual lo define como *"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"*, en la misma dirección las primeras mediciones de eficiencia técnica fueron desarrolladas por Debreu (1951) y posteriormente por Shephard (1953), así como

(Farrell, 1957) quien ya hace una propuesta de medición de eficiencia técnica con orientación al *input* o al *output*

Posteriormente Charnes, Cooper y Rhodes (1978), desarrollaron el modelo con Rendimientos Constantes a Escala, el cual se le conoce como modelo CRS o CCR (esta última por las siglas de los autores), el cual indica que los cambios en la cantidad de insumos conducen a cambios proporcionales en los niveles de producción, en las unidades de toma de decisiones[2]. Tiene dos direcciones: entrada (comparación entre el nivel de entrada mínimo requerido en un nivel de salida dado y la entrada realmente utilizada) y dirección de salida (comparación entre la salida máxima alcanzable en un nivel de entrada dado y la realización real). Se puede escribir de forma aproximada de 3 maneras: fracción, multiplicación y envolvente.
La propuesta que realizan los autores Charnes, Cooper and Rhodes (1978) del modelo de rendimientos constantes con orientación a las salidas (*output)* es la siguiente:

$$Max\ \theta$$

$$Sujeto\ a:\ Y\lambda - yr\theta\ \geq\ 0$$

$$X\lambda\ -\ Xi\ \leq\ 0$$

$$\lambda \geq 0$$

En dicha fórmula la letra griega θ representa el trayecto desde la salida hasta la frontera eficiente; X representa a los *inputs*; *Y* son los productos o *outputs*; λ representa al vector del peso o intensidad, y *xi*, *yr* es el vector de entradas y salidas.

Más adelante, los autores Banker, Charnes y Cooper (1984) retomaron el modelo CRS e implementaron modificaciones proponiendo el modelo de Rendimientos Variables a Escala (VRS). El cual toma en cuenta diferentes condiciones como competencia imperfecta y canales de financiamiento limitados, que pueden resultar en la incapacidad de la unidad para operar a la escala óptima, se modifica la programación lineal para introducir restricciones:

$$N1'\lambda = 1$$

Esta restricción permite comparar unidades ineficientes solo con unidades de producción del mismo tamaño. Sin esta restricción, el DMU se evaluaría con otras unidades de diferentes tamaños (Coll & Blasco, 2006).
.

$$Max\ \theta$$
$$Sujeto\ a:\ Y\lambda - yr\theta\ \geq\ 0$$
$$X\lambda\ -\ Xi\ \leq\ 0$$
$$N1'\lambda = 1$$
$$\lambda \geq 0$$

Índice Malmquist

Esta medición tiene sus inicios con Sten Malmquist (1953) quien propuso analizar el nivel de utilidad del consumidor comparándolo en dos temporalidades diferentes, y posteriormente Moorsteen (1961) lo aplica en una investigación donde analiza la ineficiencia desde la perspectiva de la producción, y compara las diferencias de productividad en diferentes momentos, teniendo en cuenta algunas restricciones tecnológicas (Delfín y Navarro, 2015).

[2] Denominados Decision-Making Unit's (DMU's)

Más adelante Caves, Christensen y Diewert (1982) aplicaron un método para identificar los cambios realizados en la productividad utilizando el Índice de *Malmquist* (IM). Estos autores lo utilizaron para desarrollar el índice desde la perspectiva de entrada y salida. En el índice se descartó inicialmente la posibilidad de que las empresas exhibieran un comportamiento ineficiente. Sin embargo, estudios posteriores implementados por Färe, Grosskopf, Lindgren y Roos en el año 1989 y Färe, Grosskopf, Norris y Zhang en el año 1994, plantearon realizar la medición desglosando las mejoras en PTF a través del IM midiendo los cambios de eficiencia propuestos por Farrell, 1957.

Los autores Färe, Grosskopf, Norris, & Zhang, (1994) muestran el IM especificando la tecnología del periodo inicial t_0 como se ve en la fórmula 1:

$$S^t = \{(x^t, y^t): x^t \ puede \ producir \ y^t\} \quad (1)$$

Donde S^t se obtiene a determinando las funciones de distancia en el periodo inicial; se muestra en la fórmula 2 la función de producción del *output* presentada en el periodo *t*:

$$D_0^t(x^t, y^t) = inf\{\theta: (x^t, y^t/\theta)\epsilon S^t\} = (sup\{\theta: (x^t, \theta y^t)\epsilon S^t\})^{-1} \quad (2)$$

En esta fórmula se representa la máxima proporción de los *outputs* en el tiempo de inicio y^t en función de una cantidad de insumos *inputs* x^t y se representa la tecnología como variante en el tiempo. De esta manera la expresión $D_0^t(x^t, y^t) \leq 1$ si y solo si $(x^t, y^t) \in S^t$. En adición, $D_0^t(x^t, y^t) = 1$ si y solo si(x^t, y^t) donde se tienen la frontera máxima alcanzable de la tecnología.

Por lo tanto, para poder calcular el aumento o disminución de la PTF con el IM se comienza definiendo la distancia en dos periodos de tiempo de las funciones respectivas como se muestra en la fórmula 3:

$$D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1}) = inf\{\theta: (x^{t+1}, y^{t+1}/\theta)\epsilon \ s^t\} \quad (3)$$

La distancia que presenta esta función indica el cambio máximo obtenido en la producción requerido para obtener(x^{t+1}, y^{t+1}) en un tiempo específico. De esta manera, es posible determinar el cálculo de un *output* en función del x^ t, y ^ t que se relaciona con la parte tecnológica variante en el tiempo de t + 1, llamado $D_0^{t+1}(x^t, y^t)$.

Otros autores que realizaron el cálculo del IM fueron Caves, Christensen y Diewert (1982) quienes lo definen de esta forma:

$$M_{CCD}^t = \frac{D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^t(x^t, y^t)} \quad (4)$$

En esta expresión, se muestra la referencia técnica en el período *t* que es la tecnología. De esta manera, el IM se puede obtener de acuerdo con la tecnología que se tiene en el siguiente período t + 1, véase la fórmula 5:

$$M_{CCD}^{t+1} = \frac{D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^{t+1}(x^t, y^t)} \quad (5)$$

Para evitar elegir puntos de referencia arbitrarios, el IM se designa con la aplicación de la media geométrica de los cálculos de IM que propusieron Caves, Christensen y Diewert (1982):

$$M_o(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = \left[\left(\frac{D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^t(x^t, y^t)}\right)\left(\frac{D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^{t+1}(x^t, y^t)}\right)\right]^{1/2} \quad (6)$$

Con los cálculos de IM propuestos por Färe, Grosskopf, Norris, & Zhang, (1994), se pueden determinar los cambios tecnológicos en el tiempo.

$$M_o(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = \frac{D_0^{t+1}(x^{t+1},y^{t+1})}{D_0^{t+1}(x^t,y^t)} \times \left[\left(\frac{D_0^t(x^{t+1},y^{t+1})}{D_0^t(x^t,y^t)}\right)\left(\frac{D_0^{t+1}(x^{t+1},y^{t+1})}{D_0^{t+1}(x^t,y^t)}\right)\right]^{1/2} \quad (7)$$

Para poder identificar el cálculo de los dos factores (fórmula 7), se presentan de manera separada en las fórmulas 8 y 9

$$Cambio\ en\ la\ eficiencia = \frac{D_0^t(x^{t+1},y^{t+1})}{D_0^t(x^t,y^t)} \quad (8)$$

$$Cambio\ tecnológico = \left[\left(\frac{D_0^t(x^{t+1},y^{t+1})}{D_0^t(x^t,y^t)}\right)\left(\frac{D_0^{t+1}(x^{t+1},y^{t+1})}{D_0^{t+1}(x^t,y^t)}\right)\right]^{1/2} \quad (9)$$

El primer elemento (fórmula 8), analiza las mejoras o retrocesos en la eficiencia técnica con rendimientos a escala constante de las unidades analizadas. Este cambio en la eficiencia técnica se mide por el cociente de los resultados del cálculo de eficiencia en cada periodo. Si el resultado es mayor que 1, indica que la eficiencia ha aumentado durante t a t + 1, y si es menor que 1, indica que la eficiencia se ha deteriorado Si es = 1 la eficiencia ha sido constante.

Por su parte, en la fórmula 9 se muestra si existe progreso tecnológico. En donde se analiza el resultado del cambio tecnológico, si se tuvo un valor mayor a la unidad indica que hay progreso tecnológico, en el lado opuesto, si se tuvo un valor menor a 1 (uno) indica que hay regresión tecnológica y un resultado igual a 1 indica que la tecnología se mantiene.

Por tanto, de acuerdo con la fórmula 7, el resultado de la multiplicación de ambos términos (cambio en la eficiencia y cambio tecnológico) se obtiene el IM. De la misma manera que los cálculos anteriores si el resultado de esta multiplicación da un valor superior a la unidad, indica que la productividad total de los factores ha aumentado entre dos períodos y esto pudo ser debido a mejoras en la tecnología o en la eficiencia. Por el contrario, un resultado menor a uno significa que la productividad entre los dos períodos ha disminuido y un resultado igual a uno quiere decir que la productividad sigue siendo la misma.

Posteriormente los autores Färe, Grosskopf, Norris y Zhang (1994), propusieron la medición del Índice Malmquist donde estimaron las mediciones del cambio en la eficiencia técnica global desagregándolo en cambio de eficiencia técnica pura (ETP), y eficiencia de escala (EE) (véase fórmula 10). De esta manera se puede determinar si la mejora en la eficiencia se debió a que la unidad de producción optimizó adecuadamente sus recursos o se debió a que trabajó bajo una escala de producción óptima.

$$ETG_i^{t+1} = \frac{D_i^{t+1}(y^{t+1},x^{t+1})}{D_i^t(y^t,x^t)} = \left\{\frac{D_i^{t+1}(y^{t+1},x^{t+1})}{D_i^t(y^t,x^t)}\right\}_{urs} \left[\frac{\frac{D_i^{t+1}(y^{t+1},x^{t+1})_{urs}}{D_i^{t+1}(y^{t+1},x^{t+1})_{urs}}}{\frac{D_i^t(y^t,x^t)_{urs}}{D_i^t(y^t,x^t)_{urs}}}\right] = ETP_i^{t+1} * EE_i^{t+1} \quad (10)$$

Finalmente se debe elegir una orientación para estimar el modelo IM. a) Hacia los *inputs* (reducir la cantidad de insumos manteniendo el mismo nivel de producción). b) Orientado a los *outputs* (aumentando el nivel de producción manteniendo el mismo nivel de insumo).

El Índice de *Malmquist* tiene ventajas y desventajas (Schuschny, 2007): Como ventajas se puede decir que se permite realizar las mediciones utilizando múltiples *Inputs* y *Outputs* utilizando diferentes unidades de medida; otra ventaja que se tiene es que para el cálculo del IM no se necesita utilizar la forma funcional explícita de la tecnología; y por último que este índice se puede desglosar en cambio tecnológico y cambios en la eficiencia.

Entre las desventajas, Schuschny (2007) menciona que se puede tener *outliers* (o datos atípicos) que pueden sesgar los resultados obtenidos, tampoco se tiene la manera de determinar si se omitieron variables relevantes en el modelo, así como tampoco se puede determinar la frontera eficiente absoluta (solo se determina la relativa).

Desarrollo del Modelo

Para el desarrollo metodológico se propone la formulación de un modelo de frontera no paramétrico Análisis de la Envolvente de Datos (DEA por sus siglas en inglés), orientado al *output* con rendimientos variables a escala. Dicho modelo permite obtener la eficiencia técnica, así como evaluar el desarrollo de la Productividad Total de los Factores con el cálculo del índice Malmquist. Se utiliza el software "R" para la realización de este apartado metodológico.

Selección de la Muestra

En un principio, se plantea estudiar 23 puertos de la región de América del Norte, sin embargo, debido a la falta de datos, el estudio se redujo únicamente a 14 de los principales puertos de contenedores de los países que conforman esta región los cuales vienen publicados en el reporte de La Asociación Americana de Autoridades Portuarias (AAPA) de 2017, llamado "Clasificación de puertos de contenedores del TLCAN 2017" (Tabla 1).

Tabla 1
Tráfico de contenedores en la región del TLCAN para el año 2017 por TEUs.

Clas. 2017	Puerto	País	2017	2016	Variación	% de variación
1	Los Ángeles	EE.UU.	9,343,192	8,856,783	486,409	5.49
2	Long Beach	EE.UU.	7,544,507	6,775,170	769,337	11.36
3	New York/New Jersey	EE.UU.	6,710,817	6,251,953	458,864	7.34
4	Savannah	EE.UU.	4,046,212	3,644,521	401,691	11.02
5	Seattle/Tacoma Alliance	EE.UU.	3,665,329	3,615,752	49,577	1.37
6	Vancouver (BC)	Canadá	3,252,223	2,929,585	322,638	11.01
7	Hampton Roads	EE.UU.	2,841,016	2,655,707	185,309	6.98
8	Manzanillo	México	2,830,370	2,578,822	251,548	9.75
9	Houston	EE.UU.	2,459,107	2,182,894	276,213	12.65
10	Oakland	EE.UU.	2,420,837	2,369,641	51,196	2.16
11	Charleston	EE.UU.	2,177,550	1,996,276	181,274	9.08

15	Lázaro Cárdenas	México	1,149,079	1,115,452	33,627	3.01
17	Port Everglades	EE.UU.	1,076,893	1,037,226	39,667	3.82
22	Altamira	México	803,222	684,931	118,291	17.27

Fuente: Elaboración propia con base en datos AAPA, 2019.

Definición de las Variables

Para la selección de variables se realizó una revisión de la literatura que ha estudiado la eficiencia portuaria utilizando la metodología DEA, una vez analizada, y en base a la disponibilidad de información se usaron las siguientes variables proxi para el modelo DEA:

Inputs:

- Número de terminales especializadas en contenedores (TRC)
- Índice de conectividad del transporte marítimo de línea portuaria (ICM)
- Índice laboral de carga (ILC).

Output:

- TEU (número de contenedores que se manejaron en el puerto al año).

Para obtener los datos de las variables se utilizaron las siguientes fuentes:

a) Programa de estadísticas de carga de rendimiento portuario de los Estados Unidos.
b) Estadísticas del puerto de Vancouver.
c) Manuales de los puertos de México de 2010 a 2018.
d) Base de datos de La Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo.
e) Estudio español de la cadena de costos para el tráfico de contenedores en las operaciones de exportación.

III. RESULTADOS DE EFICIENCIA PORTUARIA

Los resultados obtenidos del modelo DEA con orientación a las salidas (*output)*, muestran que, en general, existe una ineficiencia en el sector portuario de América del Norte durante el periodo estudiado, debido a que se tuvo un promedio global de 0.747. El año más eficiente fue el 2012, ya que en promedio los puertos obtuvieron una eficiencia de 0.828, recordando que un puerto es eficiente siempre y cuando su resultado sea igual a la unidad 1, en este caso ninguno de los puertos logró ese resultado, lo que indica una ineficiencia técnica en este sector en América del Norte. El puerto con el nivel más alto de eficiencia de ese año fue el de Oakland, obteniendo un resultado de 0.948, mientras que el más ineficiente durante ese año fue, el puerto de Everglades con un resultado de 0.604 (véase tabla 2).

Tabla 2
Eficiencia Técnica DEA-VRS de los principales puertos de América del Norte, 2010-2018

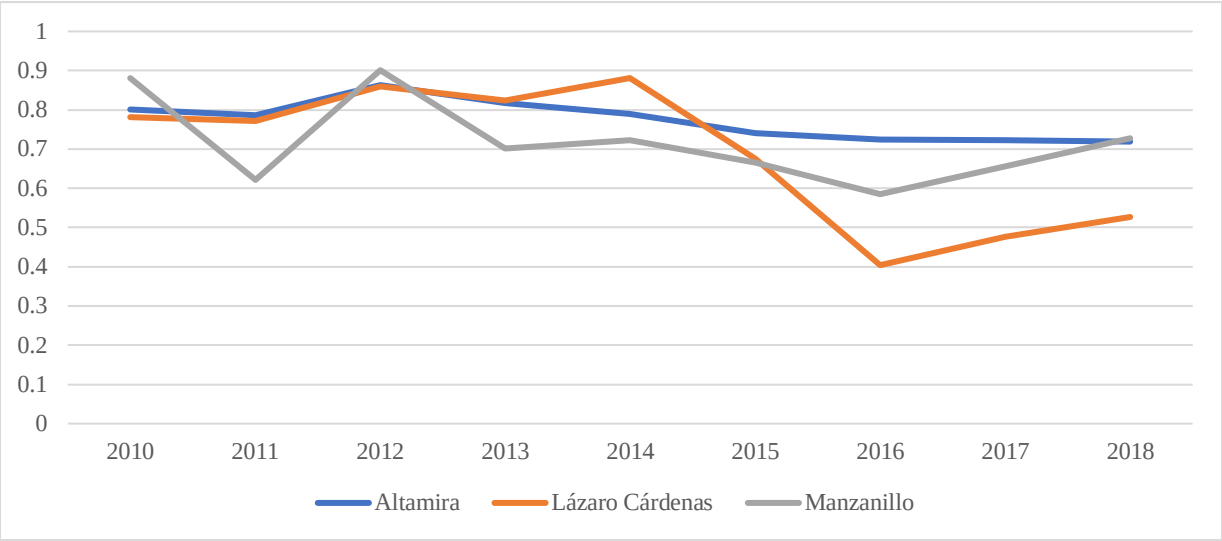
Puerto	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**Promedio Puerto**
Altamira	0.801	0.787	0.863	0.817	0.789	0.741	0.724	0.723	0.719	0.774
Charleston	0.780	0.770	0.868	0.864	0.765	0.532	0.540	0.515	0.530	0.685
Hampton Roads	0.681	0.667	0.642	0.554	0.551	0.860	0.828	0.741	0.632	0.684
Houston	0.942	0.944	0.817	0.799	0.801	0.816	0.779	0.741	0.737	0.820
Lázaro Cárdenas	0.782	0.771	0.859	0.823	0.881	0.676	0.404	0.476	0.526	0.689
Long Beach	0.912	0.857	0.862	0.878	0.836	0.821	0.918	0.850	0.834	0.863
Los Ángeles	0.863	0.840	0.873	0.826	0.840	0.848	0.826	0.813	0.821	0.839
Manzanillo	0.881	0.622	0.901	0.701	0.723	0.666	0.585	0.655	0.728	0.718
Metro Port Vancouver (BC)	0.728	0.717	0.691	0.933	0.864	0.792	0.880	0.722	0.787	0.790
New York/New Jersey	0.825	0.809	0.931	0.793	0.870	0.908	0.879	0.817	0.799	0.848
Oakland	0.486	0.484	0.948	0.587	0.532	0.741	0.736	0.485	0.439	0.604
Port Everglades (FY)	0.466	0.527	0.604	0.728	0.632	0.378	0.543	0.700	0.836	0.602
Savannah	0.765	0.754	0.863	0.820	0.784	0.739	0.715	0.713	0.735	0.765
Seattle/Tacoma Alliance	0.845	0.763	0.867	0.808	0.793	0.742	0.741	0.729	0.726	0.779
Promedio/Año	0.768	0.737	0.828	0.781	0.762	0.733	0.721	0.691	0.704	0.747

Fuente: elaboración propia con base en la metodología DEA, 2021.

Respecto a los puertos mexicanos, se pudo observar en la gráfica 3, que al inicio del periodo el puerto de Manzanillo era el más eficiente, sin embargo para el siguiente año, es decir 2011, los 3 puertos presenta un reducción en la eficiencia, de manera más considerable el puerto de Manzanillo para posteriormente recuperarse en el año 2012 alcanzando el valor de eficiencia más alto (0.901) de todos los años analizados, sin embargo en los años posteriores ese mismo puerto volvió a presentar un comportamiento descendente.

Respecto al puerto de Lázaro Cárdenas en el año 2014, presenta resultados crecientes los primeros 4 años hasta alcanzar el punto máximo en el año 2014 con 0.881 y posteriormente sus niveles de eficiencia descienden considerablemente obteniendo el valor más bajo en el año 2016 con un valor de 0.404, el más bajo de todos los años de estudio en todos los puertos mexicanos.

Gráfica 3
Eficiencia Técnica DEA-VRS de los Puertos mexicanos, 2010-2018.

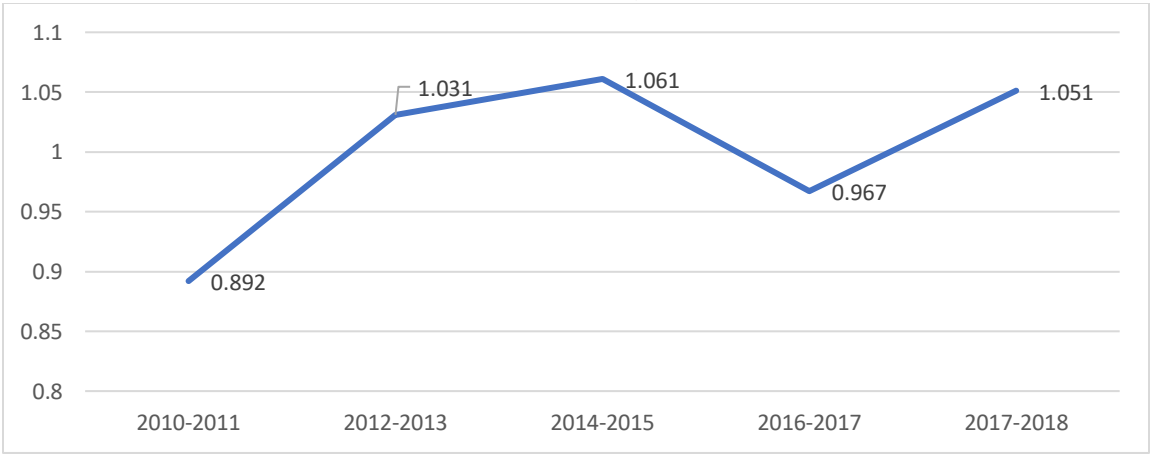


Fuente: elaboración propia con base en la metodología DEA, 2021.

El índice Malmquist

Los resultados obtenidos en el cambio de la productividad total de los factores indican que durante el periodo que se analizó existe una tendencia ascendente (gráfica 4) alcanzando su valor más elevado en el periodo 2014-2015 con un incremento en la PTF de 6.1%, mientras que el peor desempeño fue de 2010-2011, cabe recordar que este periodo es posterior a la crisis global de 2008, iniciada en Estados Unidos. En promedio América del Norte no ha tenido una mejora, ni tampoco un retroceso en su productividad.

Gráfica 4
Productividad Portuaria Promedio de los Principales Puertos de América del Norte, 2010-2018.



Fuente: elaboración propia con base en la metodología DEA, 2021.

Los puertos de Los Ángeles, Hampton Roads, Houston, Long Beach, Oakland y Vancouver obtuvieron en promedio valores > 1, lo que indica se tiene un incremento en la PTF durante este periodo (véase tabla 3).

Los puertos de New York/New Jersey, Lázaro Cárdenas, Seattle/Tacoma Alliance, Port Everglades, Savannah, Charleston, Manzanillo y Altamira obtuvieron en promedio valores por debajo de la unidad, lo que quiere decir que ninguno de estos puertos ha tenido un incremento en la productividad durante el periodo de estudio.

Esto implica que el 43% de los puertos de América del Norte, sujetos a este estudio, tuvieron una mejora en cuanto a productividad se refiere, de este 43%, el 80% de esta muestra está integrado por puertos estadounidenses, en otras palabras, 5 de los 6 puertos con una mejora en la productividad son de este país.

En el lado opuesto, el 57% de la muestra restante, que comprende 8 puertos, no tuvieron una mejora en su productividad portuaria – los resultados del Índice *Malmquist* en promedio fueron menores a uno-. En esta muestra se encuentra 5 puertos estadounidenses y 3 puertos mexicanos. Lo anterior indica que los puertos mexicanos se encuentran ubicados como los menos productivos de la región de Norteamérica (véase tabla 3).

Tabla 3
Índice Malmquist de los Principales Puertos de América del Norte, 2010-2018.

Puerto	2010-2011	2012-2013	2014-2015	2016-2017	2017-2018	Índice Malmquist Promedio
Altamira	0.455	1.185	0.963	0.831	1.001	0.887
Charleston	0.880	0.917	0.782	0.995	1.008	0.916
Hampton Roads	1.009	0.970	1.728	1.034	1.005	1.149
Houston	1.002	0.996	1.456	0.874	1.081	1.082
Lázaro Cárdenas	0.861	0.943	0.792	1.066	1.135	0.959
Long Beach	0.928	1.324	1.011	0.965	0.980	1.042
Los Ángeles	0.991	1.930	1.060	0.963	1.000	1.189
Manzanillo	0.640	0.730	0.966	1.129	1.111	0.915
Metro Port Vancouver (BC)	0.993	0.934	0.961	0.978	1.153	1.004
New York/New Jersey	0.989	1.003	0.963	0.906	1.084	0.989
Oakland	1.008	0.867	1.670	0.619	1.031	1.039
Port Everglades (FY)	0.696	1.008	0.631	1.154	1.254	0.949
Savannah	0.949	0.909	0.887	1.020	0.871	0.927
Seattle/Tacoma Alliance	1.082	0.714	0.981	1.008	1.005	0.958
Promedio	0.892	1.031	1.061	0.967	1.051	1.000

Fuente: elaboración propia con base en la metodología DEA, 2021.

En la tabla 4, se muestran los resultados del Índice *Malmquist* desagregado en cambio en la eficiencia técnica y cambio tecnológico. El promedio en todo el periodo de la PTF fue de 1.00, eso quiere decir que la PTF se mantuvo constante en los años analizados; siendo el cambio tecnológico quien más

incidió en la PTF debido a que mostró un progreso de 3.7% y se puede observar que el 50% de los puertos tuvieron un progreso tecnológico, entre esos puertos destacan Los Ángeles, Oakland, Hampton Roads, Houston, Long Beach, New York/New Jersey, Seattle/Tacoma Alliance y Metro Vancouver. El puerto de Everglades fue el puerto que tuvo el mayor retroceso tecnológico, e impactó negativamente en los contenedores que manejó en el periodo.

Como se pudo observar en los cálculos obtenidos, los puertos de América del Norte en promedio no han tenido una mejora en la productividad portuaria en el periodo de estudio 2010-2018. En el primer periodo 2010-2011, se observan aumentos reducidos en la PTF debido al retroceso tecnológico que tuvieron la mitad de los puertos, en gran parte por la crisis financiera que se tuvo en el año 2008, y que insidió en la reducción del comercio mundial, especialmente el comercio marítimo. Debido al uso inadecuado de los insumos y a la baja eficiencia técnica, se redujo el volumen de transporte de contenedores.

En el último periodo 2017-2018, se registró un repunte en la productividad portuaria. Todos los puertos sujetos a este estudio obtuvieron un progreso en la productividad a excepción de los puertos de Long Beach y Savannah. Se observa que en promedio se comportaron de manera similar el cambio en la eficiencia como cambio tecnológico. Los puertos que destacan durante este periodo son el puerto de Vancouver, Everglades, Manzanillo y Lázaro Cárdenas, el primero obteniendo una mejora en eficiencia, el segundo con un progreso tecnológico y una mejora en la eficiencia, y por último los 2 puertos mexicanos de igual manera obtuvieron mejoras tanto en su eficiencia como en su progreso tecnológico.

Tabla 4
Cambio en la productividad promedio en el periodo 2010-2018.

Cambio en la productividad promedio en el periodo 2010-2018

DMU	Cambio en Eficiencia	Cambio Tecnológico	Índice Malmquist promedio
Altamira	1.000	0.930	0.887
Charleston	0.941	0.994	0.916
Hampton Roads	1.031	1.122	1.149
Houston	0.991	1.112	1.082
Lázaro Cárdenas	1.009	0.967	0.959
Long Beach	0.979	1.084	1.042
Los Ángeles	0.995	1.228	1.189
Manzanillo	0.929	0.980	0.915
Metro Port Vancouver (BC)	1.064	1.008	1.004
New York/New Jersey	0.960	1.049	0.989
Oakland	0.934	1.145	1.039

Port Everglades (FY)	1.086	0.891	0.949
Savannah	1.006	0.966	0.927
Seattle/Tacoma Alliance	0.971	1.035	0.958
Promedio	0.993	1.037	1.000

Fuente: elaboración propia con base en la metodología DEA, 2021.

Respecto a los resultados obtenidos en los puertos de México, se observa que solo el puerto de Lázaro Cárdenas presenta un incremento en el cambio de eficiencia, es decir optimizó sus recursos de la mejor manera respecto a los teus movilizados logrando incrementar su eficiencia, sin embargo, los 3 puertos analizados presentaron un retroceso tecnológico. Lo que da cuenta de la necesidad de que haya mayor inversión en investigación y desarrollo en este sector.

Finalmente, se puede determinar que, en promedio, el cambio tecnológico fue quien determinó la Productividad Total de los Factores de las terminales de contenedores de los principales puertos de América del Norte durante el periodo, 2010-2018. Por lo tanto, se cumple la hipótesis planteada al inicio de esta investigación.

IV. Discusión de Resultados

Una vez realizados los cálculos de eficiencia y cambio en la productividad se puede observar la relevancia de reorientar las políticas portuarias en América del Norte, para lograr fortalecer el desarrollo en este sector, mediante planes maestros específicos que ayuden a incrementar su crecimiento y zona de influencia; promoviendo las actividades que generen un valor agregado a las operaciones en las terminales especializadas en contenedores. De esta manera con la participación de los gobiernos de cada uno de los países que integran este bloque comercial y de la inversión privada, se puedan potencializar los puertos y que impacten de manera positiva en el desarrollo económico y social de la región donde se encuentran ubicados.

La PTF calculada mediante el índice Malmquist, ofrece un diagnóstico de lo que sucede en con las terminales de contenedores de los puertos de América del Norte. Más aún, los niveles de desagregación que se analizan permiten realizar mejoras en ésta área; en este caso pudimos observar que el cambio tecnológico tiene una mayor incidencia en el aumento de la productividad por lo que se debe de incrementar la inversión en investigación y desarrollo en este sector portuario.

Finalmente, esta investigación permitió demostrar, que, en base con la información y las técnicas empleadas, todos los puertos de América del Norte tienen una baja eficiencia. Esto hace necesario que los gobiernos de los países de este bloque, los operadores portuarios, las navieras, el sector privado y los prestadores de servicios portuarios trabajen en la implementación de estrategias dirigidas a corregir la ineficiencia en aspectos como: conectividad, personal capacitado y especializado en el manejo de teus así como la carencia de terminales especializadas de contenedores de última generación, siendo esto una de las mayores contribuciones a este sector portuario en Norteamérica que se presentan a través de este estudio.

Conclusiones

En esta investigación se realiza el cálculo de la eficiencia técnica de DEA-VRS, así como el análisis de la PTF de los principales puertos de América del Norte en los años 2010-2018, aplicando el índice *Malmquist*,

el cual desagrega los cambios en la productividad en dos factores: "cambio técnico" *(Frontier-Shift)* y "cambio de eficiencia" *(Catch-Up).*

Como *inputs* se utilizaron el número de terminales especializadas en contenedores (TRC), el índice de conectividad del transporte marítimo de línea portuaria (ICM) y el índice laboral de carga (ILC) y como *output* el número de contenedores (teus) que se movieron al año en los puertos analizados.

Se pudo observar en los resultados que en promedio todos los puertos fueron ineficientes en el periodo 2010-2018; sin embargo, en el año 2010, los puertos que presentaron niveles de eficiencia más elevados fueron Houston y Long Beach, y el que presentó los menores valores fue el puerto de Everglades. Para el año 2018 los puertos más eficientes fueron Everglades, Long Beach y Los Ángeles, y el que tuvo el valor más bajo en este indicador fue el puerto de Oakland.

Los resultados del índice Malmquist muestran que de 6 de los 14 puertos presentaron un aumento en la productividad. El puerto con el valor más alto de la PTF fue el de Los Ángeles, esto debido a las inversiones que se hicieron en la infraestructura y tecnología, aprovechando eficientemente los recursos y obteniendo una mayor cantidad de productos movilizados en los contenedores anualmente. Por otro lado, el puerto que no presentó mejoras y presentó una contracción en la PTF, obteniendo valores menores a uno, fue el puerto de Everglades, sin embargo, durante este periodo se observa una tendencia ascendente en cuanto al movimiento de contenedores. Durante el periodo estudiado en promedio no hubo ningún puerto que fuera eficiente, en otras palabras, todos los puertos de América del Norte son ineficientes.

Los puertos con mayor infraestructura, como el caso de los puertos de Estados Unidos, no están optimizando sus recursos, principalmente su factor trabajo (índice laboral de carga), ya que las horas trabajadas por las grúas anualmente, están por debajo de las horas que deberían de trabajar por grúa, tomando en cuenta la cantidad de terminales de contenedores y el número de grúas que tiene cada una de estas.

La hipótesis planteada se cumple, ya que se puede determinar que el cambio tecnológico fue el factor que incidió mayormente en la Productividad Total de los Factores de los principales puertos de América del Norte durante el periodo, 2010-2018.

En cuanto a los resultados de la Productividad Total de los Factores, las recomendaciones deben de direccionarse a generar una mejora en el progreso tecnológico de los puertos de América del Norte, por lo que se recomienda una mayor inversión en investigación y desarrollo en este sector, además de una completa adaptación a las nuevas tecnologías digitales y los sistemas de telecomunicaciones, fomentando el pleno aprovechamiento de todos los usuarios, de los operadores navieros y por todos los demás actores que tengan injerencia en el sector portuario de estos países.

REFERENCIAS

Arbia, A. (2018). Efficiency Analysis with non parametric method: Illustration of the Tunisian ports. *Logistics & Sustainable Transport,* 9(1), pp. 51-58. https://doi.org/10.2478/jlst-2018-000551.

Asociación Americana de Autoridades Portuarias (AAPA). (2019). *Advocating For U.S. Ports: American Association of Port Authorities*. Obtenido de American Association of Port Authorities: https://www.aapa-ports.org/advocating/content.aspx?ItemNumber=21150

Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (2013). Diagnóstico sobre el desempeño de los puertos y estudio de conectividad portuaria en Belice, Centroamérica y la República Dominicana. Observatorio Mesoamericano de Transporte de Carga y Logística. Pablo Guerrero y Julieta Abad , Editors. Recuperado de https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Diagn%C3%B3stico-sobre-el-desempe%C3%B1o-de-los-puertos-y-estudio-de-conectividad-portuaria-en-Belice-Centroam%C3%A9rica-y-la-Rep%C3%BAblica-Dominicana.pdf

Bancomext (2016). Transporte y logística. Reporte Sectorial de la dirección de estudios económicos. Recuperado de https://www.bancomext.com/wp-content/uploads/2016/04/EES-Logistica-2016-1.pdf

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. https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078

Çağatay I., Lee, J.; (2019). A review of energy efficiency in ports: Operational strategies, technologies and energy management systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 112, pp. 170-182, https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.04.069.

Caves, D., Christensen, L., & Diewert, W. E. (1982). The economic theory of index numbers and the measurement of input, output and productivity. *Econometrica* 50 (6)), 1393–1414. https://doi.org/10.2307/1913388

Charnes, A., Cooper, W., & Rhodes, E. (1978). Measurement the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*(2), 429–444. https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8

Coelli, T., Prasada Rao, D., & Battese, G. E. (1998). *An Introductionto Efficiency and Productivity Analysis.* Boston: Kluwer Academic Publisher.

Coll, V., & Blasco, O. (2006). Frontier Analyst. Una herramienta para medir la eficiencia. Obtenido de*: www.eumed.net/libros/2006c/206/*.

Coordinación General de Puertos y Marina Mercante (CGPMM). (2019). *Sistema Portuario Mexicano: Coordinación General de Puertos y Marina Mercante*. Recuperado de Coordinación General de Puertos y Marina Mercante: https://www.gob.mx/puertosymarinamercante/documentos/sistema-portuario-nacional

Debreu, G. (1951). The coefficient of resource utilization. *Econometrica,*19(3), 273–292. https://doi.org/10.2307/1906814

Delfín-Ortega, O., y Navarro-Chávez, J. C. (2015). Productividad total de los factores en las terminales de contenedores en los puertos de México: una medición a través del índice Malmquist. *Contaduría y administración*, 60(3), 663-685. https://doi.org/10.1016/j.cya.2015.05.011

Díaz Bautista, A. (2009). México y la política económica portuaria internacional. *Banco Nacional de Comercio Exterior, 59*(9), 685-692.

Environmental Protección Agency. (2018). *The Role of Ports: Environmental Protección Agency*. Obtenido de Environmental Protección Agency: https://www.epa.gov/community-port-collaboration-and-capacity-building/ports-primer-21-role-ports#employment

Färe, R., Grosskopf, S., Lindgren, B., & Roos, P. (1989). Productivity Developments in Swedish Hospitals: A Malmquist Output Index Approach. *Discussion paper, Southern Illinois University at Carbondale.*

Färe, R., Grosskopf, S., Norris, M., & Zhang, Z. (1994). Productivity growth, technical progress and efficiency change in industrialized countries. *The American Economic Review* 84(1), 66–83. https://www.jstor.org/stable/2117971

Farrell, M. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society, Serie A 120 Part III.*, 253–267. https://doi.org/10.2307/2343100

Ghiara, H. & Tei, A. (2021) Port activity and technical efficiency: determinants and external factors, *Maritime Policy & Management*, 48(5), 711-724, https://doi.org/10.1080/03088839.2021.1872807

Goverment of Canada. (2019). *Backgrounder on Canada's port system: Goverment of Canada*. Obtenido de Goverment of Canada: https://www.tc.gc.ca/eng/backgrounder-canada-port-system.html

Hajizadeh, A., Saeidi, S., Kaabi, A., Yousefi, H., Zaredoost, M. (2017). Relative Efficiency Analysis of Container Ports in Middle East using DEA. *Journal of Marine Science and Technology*, 15(4), 69-80. https://doi.org/10.22113/jmst.2017.47151

Haruna, D. (2021). Measuring container terminal efficiency of west African ports using a stochastic frontier approach: The case of the ports of Tema, Lome and Abidjan. Master of Science in Maritime Management (115). University of South-Eastern Norway.

Hidalgo-Gallego, S.; Núñez-Sánchez, R. & Coto-Millán, P. (2022). Port allocative efficiency and port devolution: a study for the Spanish port authorities (1992-2016), *Maritime Policy & Management*, 49:1, 39-61, https://doi.org/10.1080/03088839.2020.1867917

Kammoun, R. (2018). The Technical Efficiency of Tunisian Ports: Comparing Data Envelopment Analysis and Stochastic Frontier Analysis Score. *Logistics & Sustainable Transport* 9(2), pp. 73-84. https://doi.org/10.2478/jlst-2018-0011

Koopmans, T. (1951). Efficient Allocation of Resources. *Econometrica*, 19(4), 455-465. https://doi.org/10.2307/1907467

Malmquist, S. (1953). Index numbers and indifference surfaces. *Trabajos de Estatistica*(4), 209–242. https://doi.org/10.1007/BF03006863

Miller, K. & Hyodo, T. (2022). Assessment of port efficiency within Latin America, *Journal of Shipping and Trade*, 7(1), pp. 1-27. https://doi.org/10.1186/s41072-021-00102-5

Moorsteen, R. (1961). On measuring productive potential and relative efficiency. *The Quarterly Journal of Economics*(75(3)), 151–167. https://doi.org/10.2307/1885133

Munguía, G; Canales, R. A; & Becerril-Torres, O. U. (2018). La competitividad logística del transporte marítimo en la Alianza del Pacífico: 1990-2015. *México y la cuenca del pacífico*, 7(20), 65-88. https://doi.org/10.32870/mycp.v7i20.533

Navarro, J. C. y Delfin, O.V. (2020). Las Principales Terminales de Contenedores Portuarias en el Ámbito Internacional: Un análisis de Eficiencia Económica. *Revista Mexicana de Economía y Finanzas REMEF*, 15 (2) pp. 241-262. https://doi.org/10.21919/remef.v15i2.484

Organización Marítima Internacional (OMI). (2015). *Sala de prensa:*. Obtenido de Organización Marítima Internacional: http://www.imo.org/es/MediaCentre/PressBriefings/Paginas/47-WMD-theme-2016-.aspx

Organización Marítima Internacional (OMI) (2015). *Sala de Prensa:* Recuperado de Organización Marítima Internacional: http://www.imo.org/es/MediaCentre/PressBriefings/Paginas/47-WMD-theme-2016-.aspx

Portables Rodríguez, G. d. (2012). *Transportación Internacional.* México: Trillas, S.A. de C.V.

Ropero, G.; Turias, A. & Jiménez, C. (2019). Bootstrapped operating efficiency in container ports: a case study in Spain and Portugal. *Industrial Management & Data Systems*, 119 (4) pp. 924-948. https://doi.org/10.1108/IMDS-03-2018-0132

Ruiz, M.A.; Salarzadeh, H.; Chin, A. (2017). Measuring Ports Efficiency under the Application of PEP-Model, *Procedia Computer Science*, 104, pp. 205-212, https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.01.107.

Sánchez, R. y Weikert, F. (2020). Logística internacional pospandemia. Análisis de las industrias area y de transporte marítimo de contenedores. Serie Comercio Internacional No. 162. División de Comercio Internacional e Integración de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)

Schuschny, A. (2007). *El método DEA y su aplicación al estudio del sector energético y las emisiones de CO2 en América Latina y el Caribe.* Publicación de las Naciones Unidas., Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Serie Estudios Estadísticos y Prospectivos, Santiago de Chile.

Sdoukopoulos, E; Boile, M.; Tromaras, A. & Anastasiadis, N. (2019). Energy Efficiency in European Ports: State-Of-Practice and Insights on the Way Forward. *Sustentability*, 11(18), 4952; https://doi.org/10.3390/su11184952

Shaheen, A. & Elkalla, M. (2019). Assessing the Middle East Top Container Ports Relative Technical Efficiency. *Economics Journal of Maritime & Transportation Science*. https://doi.org/10.18048/2019.56.04

Sheng, Y. and Kim, Y. (2021). An Analysis on the Logistics Efficiency of Shanghai Port for Global Supply Chain. *Journal of Distribution Science* 19(7), 29-39. http://dx.doi.org/10.15722/jds.19.7.202107.29

Shephard, R. (1953). *Cost and production functions.* Princeton: Princeton University Press.

Sumanth, D. (1993). *Ingeniería y Administración de la Productividad. México:* McGraw-Hill.

Tongzon, J.L. & Hong-Oanh N. (2021). Effects of port-shipping logistics integration on technical and allocative efficiency. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 37(2), 2021, Pages 109-116, ISSN 2092-5212, https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2021.01.001.

Yen-Chun J. W.; Chih-Hung Y.; Goh, M.; & Yung-Hsiang L. (2016). Regional Port Productivity in APEC. *Sustentability*. MDPI, 8(7), pp. 1-17. https://doi.org/ 10.3390/su8070689