



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES

MAESTRÍA EN CIENCIA EN NEGOCIOS INTERNACIONALES

**“EFICIENCIA Y PRODUCTIVIDAD PORTUARIA DE LOS PAÍSES DE
AMÉRICA DEL NORTE, 2010-2018: UNA MEDICIÓN MEDIANTE EL ÍNDICE
MALMQUIST BASADO EN LA METODOLOGÍA DEA”**

TESIS:

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIA EN NEGOCIOS INTERNACIONALES

PRESENTA:

JOSÉ ALBERTO LUCAS AVILÉS

DIRECTOR DE TESIS:

DRA. ODETTE VIRGINIA DELFÍN ORTEGA

MORELIA, MICHOACÁN A AGOSTO 2021

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN NEGOCIOS INTERNACIONALES

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Morelia, Mich., el día 11 de agosto de 2021, los miembros de la Mesa de Sinodales designada por el H. Consejo Técnico del Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales (ININEE) de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), aprobaron presentar el examen de grado la tesis titulada:

“EFICIENCIA Y PRODUCTIVIDAD PORTUARIA DE LOS PAÍSES DE AMÉRICA DEL NORTE, 2010-2018: UNA MEDICIÓN MEDIANTE EL ÍNDICE MALMQUIST BASADO EN LA METODOLOGÍA DEA”

Presentada por el alumno:

José Alberto Lucas Avilés

Aspirante al grado de **Maestro en Ciencias en Negocios Internacionales**. Después de haber efectuado las revisiones necesarias, los miembros de la Mesa de Sinodales manifestaron SU APROBACIÓN DE LA TESIS, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA MESA DE SINODALES

Director de la Tesis

Dra. Odette Virginia Delfín Ortega

Dr. Plinio Hernández Barriga

Dr. José César Lenin Navarro Chávez

Dr. Enrique Armas Arévalos

Dra. Irma Cristina Espitia Moreno

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN NEGOCIOS INTERNACIONALES
CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de Morelia, Mich., el día 11 de agosto de 2021, el que suscribe **JOSÉ ALBERTO LUCAS AVILÉS**, alumno del programa de la Maestría en Ciencias en Negocios Internacionales adscrito al Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales (ININEE), manifiesta ser el autor intelectual del presente trabajo de tesis, desarrollado bajo la dirección de la Dra. Odette Virginia Delfín Ortega y cede los derechos del trabajo titulado **“Eficiencia y Productividad Portuaria de los Países de América del Norte, 2010-2018: Una Medición Mediante el Índice Malmquist Basado en la Metodología DEA”** a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo para su difusión con fines estrictamente académicos.

No está permitida la reproducción total o parcial de este trabajo de tesis ni su tratamiento o transmisión por cualquier medio o método sin la autorización escrita del autor y/o director del mismo. Cualquier uso académico que se haga de este trabajo, deberá realizarse conforme a las prácticas legales establecidas para este fin.



JOSÉ ALBERTO LUCAS AVILÉS

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN NEGOCIOS INTERNACIONALES

CARTA DE ORIGINALIDAD

A QUIEN CORRESPONDA. –

Por este medio se hace constar que el trabajo de tesis titulado **“EFICIENCIA Y PRODUCTIVIDAD PORTUARIA DE LOS PAÍSES DE AMÉRICA DEL NORTE, 2010-2018: UNA MEDICIÓN MEDIANTE EL ÍNDICE MALMQUIST BASADO EN LA METODOLOGÍA DEA”** realizado por el alumno **José Alberto Lucas Avilés** con matrícula 1217717D de la Maestría en Ciencias en Negocios Internacionales, dirigido por la Dra. Odette Virginia Delfín Ortega, fue analizado a través de la herramienta de detección de plagio iThenticate de Turnitin.

Con base en el reporte de las similitudes encontradas por dicha herramienta informática, **se considera que el trabajo de tesis no constituye un plagio** con respecto a obras de terceros.

Los resultados del análisis se encuentran bajo resguardo de la coordinación de la Maestría en Ciencias en Negocios Internacionales y de la Secretaría Académica del Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

ATENTAMENTE

Morelia, Mich., a 11 de marzo de 2021.

Dra. Odette Virginia Delfín Ortega
Directora de Tesis


José Alberto Lucas Avilés
Alumno

ÍNDICE

RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	9
INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO 1: FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN	12
1.1 Planteamiento del Problema.....	12
1.1.1 Descripción del Problema.	12
1.2 Preguntas de Investigación.....	16
1.2.1 Pregunta General:.....	16
1.3 Objetivo de la Investigación.....	16
1.3.1 Objetivo General.	16
1.4 Justificación.....	17
1.5 Horizonte Temporal y Espacial.....	18
1.6 Universo y Muestra de Estudio.	18
1.6.1 Universo.	18
1.6.2 Muestra.....	18
1.7 Tipo de investigación	18
1.8 Hipótesis de investigación.....	18
CAPÍTULO 2: LOS PUERTOS DE AMÉRICA DEL NORTE.....	20
2.1 Los puertos de Canadá	25
2.1.1 Puerto de Vancouver	27
2.1.2 Puerto de Montreal	28
2.1.3 Puerto de Prince Rupert	29
2.1.4 Puerto de Halifax.....	30
2.1.5 Puerto de Saint John.....	31

2.1.6 Puerto de Nanaimo	31
2.2 Los puertos de Estados Unidos	32
2.2.1 Puerto de los Ángeles.....	33
2.2.2 Puerto de Long Beach	34
2.2.3 Puerto de Nueva York y Nueva Jersey.....	34
2.2.4 Puerto de Savannah	35
2.2.5 Puerto de Seattle/Tacoma Alianza	35
2.2.6 Puerto de Hampton Roads.....	36
2.2.7 Puerto de Houston	37
2.2.8 Puerto de Oakland	38
2.2.9 Puerto de Charleston	38
2.2.10 Puerto de Everglades.....	39
2.3 Los puertos de México	40
2.3.1 Puerto de Manzanillo	42
2.3.2 Puerto de Lázaro Cárdenas.....	43
2.3.3 Puerto de Veracruz	43
2.3.4 Puerto de Altamira	44
2.3.5 Puerto de Ensenada	44
2.3.6 Puerto de Progreso	45
2.3.7 Puerto de Mazatlán.....	45
CAPÍTULO 3: PRODUCTIVIDAD UNA RETROSPECTIVA TEÓRICA.....	47
3.1 La importancia de la Productividad	47
3.2 El Concepto de Productividad.....	48
3.3 Tipos de Productividad	51
3.4 Productividad Total de los Factores (PTF)	51
3.4.1 Medición de la Productividad Total de los Factores	56
3.5 Resumen Crítico	59
CAPÍTULO 4: REVISIÓN DE LA LITERATURA EMPÍRICA	60

CAPÍTULO 5: DESARROLLO METODOLÓGICO	67
5.1 La eficiencia mediante un modelo no paramétrico	67
5.2 El modelo de análisis de la envolvente de datos (DEA)	68
5.3 Eficiencia Técnica	68
5.4 El índice Malmquist	70
5.5 Selección de la Muestra.....	77
5.5.1 Definición de las Variables	79
5.5.3 Test de esfericidad de Barlett	82
5.5.5 Criterio del porcentaje de la varianza.....	83
5.5.7 Rotación de factores	84
CAPÍTULO 6: ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	86
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	104
Recomendaciones.....	106
BIBLIOGRAFÍA.....	108

RELACIÓN DE FIGURAS, GRÁFICAS Y TABLAS

FIGURAS

Figura 1. Autoridades Portuarias de Canadá.....	26
Figura 2. Puertos Estratégicos de los Estados Unidos	32
Figura 3. Puertos de México	41
Figura 4. Ubicación geográfica de los puertos de América del Norte.	78

GRÁFICAS

Gráfica 1. Tráfico anual mundial de contenedores en el periodo, 2010-2018. (TEUs)	13
Gráfica 2. Tráfico anual de contenedores en América del Norte en el periodo 2010-2018. 21	
Gráfica 3. Porcentaje de puertos por país que forman parte de la clasificación 2017 de la AAPA.	25
Gráfica 4. Puertos canadienses que forman parte de la clasificación 2017 de la AAPA.	26
Gráfica 5. Puertos estadounidenses que forman parte de la clasificación 2017 de la AAPA.	33
Gráfica 6. Puertos mexicanos que forman parte de la clasificación 2017 de la AAPA.	42
Gráfica 7. Eficiencia técnica DEA-VRS promedio de la actividad portuaria de América del Norte, 2010-2018.	88
Gráfica 8. Eficiencia Técnica DEA-VSR de los Puertos de América del Norte, 2010-2018.	89
Gráfica 9. Eficiencia Técnica DEA-VRS de los Puertos mexicanos, 2010-2018.....	90
Gráfica 10. Eficiencia Técnica DEA-VRS Promedio, 2010-2018.....	91
Gráfica 11. Productividad Portuaria Promedio de los principales puertos de América del Norte, 2010-2018.	92

Gráfica 12. Cambio en la productividad promedio en el periodo 2010-2018.....	94
Gráfica 13. Productividad Total de los Factores promedio de los Puerto de América del Norte, 2010-2018.	100
Gráfica 14. Cambio Tecnológico Promedio, 2010-2018.	101
Gráfica 15. Productividad de los puertos mexicanos, 2010-2018.....	103

TABLAS

Tabla 1. Tráfico de contenedores en la región del TLCAN según la clasificación de la AAPA. Clasificación portuaria 2017 por TEUs.....	22
Tabla 2. Cronología de las definiciones de productividad.....	49
Tabla 4. Tráfico de contenedores en la región del TLCAN según la clasificación de la AAPA . Clasificación portuaria 2017 por TEUs.....	77
Tabla 5. Variables utilizadas en los modelos DEA en base a la revisión de la literatura. ...	79
Tabla 6. Pruebas de KMO y prueba de Bartlett.	82
Tabla 7. Comunalidades de la extracción de las variables.....	83
Tabla 8. Varianza total explicada.....	83
Tabla 9. Matriz de componentes.	84
Tabla 10. Matriz de componentes rotado.....	85
Tabla 11. Eficiencia Técnica DEA-VRS de los principales puertos de América del Norte, 2010-2018	86
Tabla 12. Índice Malmquist de los principales puertos de América del Norte, 2010-2018. 93	
Tabla 13. Productividad portuaria 2010-2011.	95
Tabla 14. Productividad portuaria 2012-2013.	96
Tabla 15. Productividad portuaria 2014-2015.	97
Tabla 16. Productividad portuaria 2016-2017.	98

Tabla 17. Productividad portuaria 2017-2018.	99
Tabla 18. Cambio en la productividad promedio en el periodo 2010-2018.....	102

GLOSARIO DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

AAPA. American Association of Port Authorities/Asociación Americana de Autoridades Portuarias

CGPMM. Coordinación General de Puertos y Marina Mercante

DEA. Análisis Envolverte de Datos

EPA. Environmental Protection Agency/ Agencia de Protección Ambiental

OMI. Organización Marítima Internacional

PP. Productividad parcial

PT. Productividad total

PTF. Productividad total de los factores

SCT. Secretaría de Comunicaciones y Transportes

TEU. Twenty-foot Equivalent Unit/Unidad de medida estándar que es empleada en todo el mundo para designar los contenedores de 20 pies.

TLCAN. Tratado de Libre Comercio de América del Norte

UNCTAD. United Nations Conference on Trade and Development/La Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se muestran los resultados obtenidos del análisis de los cambios en la Productividad Total de los Factores, de las terminales especializadas en el manejo de contenedores de los principales puertos marítimos de los países de América del Norte, durante el período 2010-2018. Para llegar a estos resultados, se opta por elaborar el índice Malmquist, y de esta forma descomponer los cambios de productividad en dos factores: cambio en eficiencia y cambio tecnológico. Los resultados mostraron que durante el período de estudio, no hubo aumento general de la productividad ni una regresión en esta, su comportamiento fue constante, debido principalmente al cambio tecnológico quien presentó una mayor incidencia en la PTF. El puerto de Los Ángeles fue el que tuvo un mayor crecimiento en la productividad, y del lado opuesto, el puerto de Altamira fue el que tuvo la mayor reducción, en este último caso debido principalmente a la falta de infraestructura portuaria y tecnológica, como lo son las terminales especializadas en contenedores y grúas pórtico para la movilización de contenedores. Los resultados de este trabajo, indican la falta de políticas públicas en materia de puertos, para que estos puedan operar a su máxima capacidad.

Palabras clave: Productividad total de los factores (PTF); Índice Malmquist; Puertos de América del Norte; Eficiencia; Cambio tecnológico.

ABSTRACT

This research work shows the results obtained from the analysis of the changes in the Total Factor Productivity of the terminals specialized in container handling of the main maritime ports of the North American countries, during the period 2010-2018. To arrive at these results, we chose to develop the Malmquist index, and thus decompose productivity changes into two factors: change in efficiency and technological change. The results showed that during the study period, there was no general increase or regression in productivity; its behavior was constant, mainly due to technological change, which had a greater impact on TFP. The port of Los Angeles was the one with the highest productivity growth, and on the other hand, the port of Altamira was the one with the highest reduction, in the latter case mainly due to the lack of port infrastructure and technology, such as specialized container terminals and gantry cranes for container mobilization. The results of this work indicate the lack of public policies regarding ports, so that they can operate at their maximum capacity.

Keywords: Total factor productivity (TFP); Malmquist Index; North American ports; Efficiency; Technological change.

INTRODUCCIÓN

El horizonte comercial marítimo está prosperando, incentivado por la reactivación económica mundial en 2017. Con la tasa de crecimiento más alta en los últimos años, la actividad económica marítima mundial ha recuperado su dinamismo lo que ha dado pie al fortalecimiento de confianza del sector del transporte marítimo. El tráfico de contenedores mundial incrementó un 6.4% tras niveles históricamente bajos registrados un par de años atrás (UNCTAD, 2018).

Gran parte del comercio mundial se transporta a través del transporte marítimo. Sin esta actividad, sería imposible la importación y exportación de una infinidad de mercancías, en la escala necesaria para satisfacer las necesidades en el mundo actual. La constante innovación que continúa experimentando el transporte marítimo se refleja en beneficios para los consumidores de todo el mundo a través del bajo costo de los fletes. Existen más de 50,000 buques marítimos dedicados exclusivamente al intercambio de mercancías, que transportan todo tipo de productos. La flotilla mundial se encuentra registrada en más de 150 países y emplea a más de un millón de personal marino de prácticamente todas las nacionalidades (OMI, 2015).

El objetivo de esta investigación es identificar los principales factores que determinaron la productividad portuaria, de los puertos de los países de América del Norte durante el periodo 2010-2018. El estudio analizará la productividad de los principales puertos de este bloque comercial, enfocándonos en los puertos con el mayor movimiento de TEUs de cada país. Para la medición de la PTF se pretende utilizar un modelo no paramétrico, siendo este el Índice Malmquist basado en la metodología DEA (Análisis Envolvente de Datos).

En el capítulo 1 titulado “Fundamentos de la Investigación” se revisa el planteamiento del problema, se definen las preguntas de investigación, los objetivos, la justificación, las hipótesis y las variables, para de esta manera dar contexto y dirección al trabajo de investigación.

En el capítulo 2, titulado “Los Puertos de América del Norte” se realiza una revisión acerca de los principales puertos (con el mayor movimiento de TEUs) de Canadá, Estados Unidos y México para conocer su origen, evolución y sus perspectivas de desarrollo.

En el capítulo 3, titulado “Productividad una retrospectiva teórica” se aborda una breve introducción al concepto de la productividad y se desarrolla el marco teórico, en el cual se hace una revisión de los conceptos y teorías referentes a la productividad.

En el capítulo 4, de la extensa revisión de la literatura se obtienen algunos de los trabajos más relevantes realizados sobre el estudio de la optimización de la producción en los puertos a través de distintas metodologías.

En el capítulo 5, titulado “Desarrollo metodológico” se describe el modelo utilizado para la obtención de la productividad total de los factores, de los principales puertos de América del Norte, durante el periodo de 2010-2018. En el presente trabajo, se utiliza el índice Malmquist, basado en el modelo de análisis envolvente de datos (DEA).

En el capítulo 6, titulado “Análisis y Resultados” se presentan los resultados obtenidos de la eficiencia técnica, el cambio en la eficiencia y el cambio tecnológico en base a la metodología DEA con orientación output, de los principales puertos de América de Norte; asimismo, se exponen los resultados del cálculo del índice Malmquist para la determinación de la productividad total de los factores durante el periodo de 2010-2018.

En el apartado final, “Conclusiones y Recomendaciones” se dictan las conclusiones y recomendaciones al sector de estudio y se proponen líneas de investigación futuras que contribuyan a la ampliación de la literatura del tema del sector portuario de los países de América del Norte.

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

En este apartado se elabora la estructura de la investigación, la cual permite desarrollar un proyecto de forma planeada, ordenada y metódica, cualidad necesaria para un trabajo de investigación científica.

1.1 Planteamiento del Problema.

Como punto de partida, el autor Roberto Hernández Sampieri define el planteamiento del problema como el proceso de concebir una idea, en la cual investigador, estudiante o experto ha profundizado en un tema de su interés, y ha elegido el enfoque, para llevar a cabo la investigación. En otras palabras, plantear el problema es estructurar más formalmente la idea de investigación (Hernández, 2014).

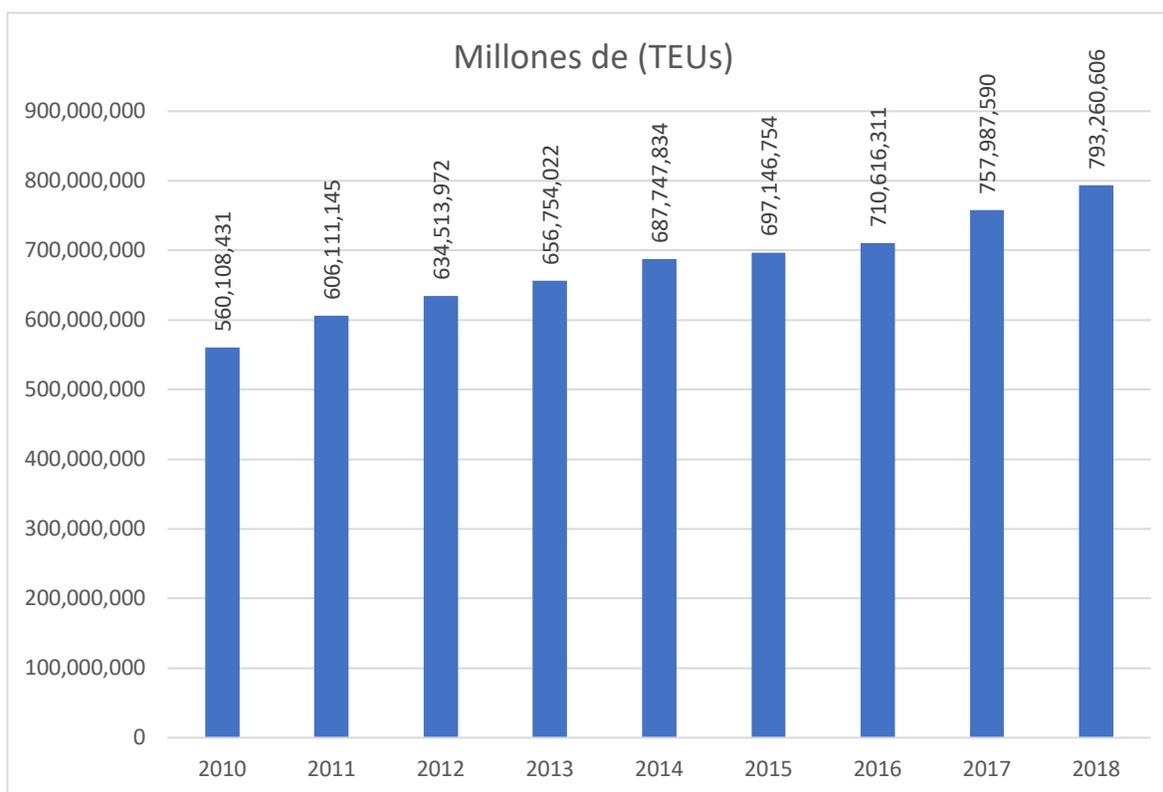
1.1.1 Descripción del Problema.

Canadá, Estados Unidos y México integran uno de los bloques económicos regionales más competitivos y sólidos del mundo. La robusta relación económica comercial entre estos países provee una sólida base para el desarrollo y la prosperidad, generando paz y estabilidad en la región. Norteamérica reúne el 12% del comercio de todo el mundo, de todo el PIB mundial esta zona conforma el 28% de este, y el 26% del total de los flujos mundiales de inversión extranjera directa (Gobierno de México, 2016).

El transporte marítimo de mercancías es uno de los más antiguos en la historia humana. Su estudio tiene un origen antiguo principalmente por las primeras civilizaciones ubicadas en el mediterráneo las cuales aprovecharon su localización geográfica, para intercambiar sus excedentes con otros pueblos. Entre estos pueblos destacaron los fenicios, siendo estos los más desarrollados de su época. Los fenicios iniciaron con el estudio de la náutica y la cartografía que es ayuda y facilitos en el diseño rutas marítimas comerciales (Huesca, 2012).

En el 2015 por primera vez se superaron los 10 mil millones de toneladas transportadas por este medio. La participación del comercio marítimo representa en términos de valor, no términos de volumen, del 55 % al 66 % del comercio en el mundo. (Malpica, 2017).

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



Fuente: Elaboración propia con base en UNCTAD, 2018.

En la actualidad, alrededor del 90% del comercio mundial se transporta a través del transporte marítimo internacional, el incremento de la actividad portuaria es reflejo la recuperación de la economía mundial y el aumento de los intercambios comerciales. Como principales responsables del aumento de volumen, destacan el fuerte crecimiento en la ruta comercial entre los países asiáticos, una demanda cada vez mayor de consumo en los Estados Unidos y de los países europeos, al incremento del comercio Norte-Sur gracias a una mejora de los

¹ TEU (*Twenty-foot Equivalent Unit*) unidad de medida estándar que es empleada en todo el mundo para designar los contenedores de 20 pies.

ingresos procedentes de las exportaciones de los productos básicos en África y en los países en desarrollo de América que estimuló las importaciones (UNCTAD, 2018). A comienzos de 2020, la flota mundial total contaba con 98,140 buques mercantes con un arqueado bruto igual o superior a 100 toneladas brutas, lo que equivale a una capacidad de 2,060 millones de toneladas de peso muerto (UNCTAD, 2020).

Canadá cuenta con un sistema de puertos en las costas del Pacífico y del Atlántico, los puertos son eslabones vitales en la cadena de suministro y puertas de entrada que llevan las mercancías al mercado, convirtiéndolos en una parte importante de la economía canadiense. Todos los aspectos de la cadena de suministro del transporte canadiense, incluidos los cargadores, los transportistas, las empresas de logística, las empresas de recursos naturales y las pequeñas y medianas empresas locales y regionales, están de alguna manera relacionados con el trabajo que se realiza en los puertos todos los días. En 2017, los puertos y el transporte marítimo transportaron casi 90,000 millones de dólares (17%) de las exportaciones de Canadá a los mercados mundiales, e importaron 110,000 millones de dólares (21%) del valor total de las importaciones de Canadá (Government of Canada, 2019).

Según la Asociación Americana de Autoridades Portuarias (2019), los puertos de los Estados Unidos entregan bienes y servicios vitales a los consumidores, envían exportaciones estadounidenses, crean empleos y apoyan el crecimiento económico local y nacional. Los puertos marítimos crean puestos de trabajo en Estados Unidos. La actividad de carga portuaria en 2018 apoyó el empleo de casi 31 millones de personas en los Estados Unidos, un aumento de 7.5 millones de empleos desde 2014. Los empleos relacionados con el mar en 2018 también proporcionaron 1.4 billones de dólares en ingresos personales y consumo local. Por cada mil millones de dólares en exportaciones que se envían a través de los puertos marítimos de Estados Unidos, se crean 15,000 puestos de trabajo. Los puertos marítimos son motores económicos vitales. Las actividades de carga en los puertos marítimos de Estados Unidos representan el 26% de la economía estadounidense, generando casi 5.4 billones de dólares en actividad económica total y más de 378,000 millones de dólares en impuestos federales, estatales y locales en 2018 (AAPA, 2019).

En el 2016 México movió más de 400 millones de toneladas, siendo esta una necesidad para contar con puertos más modernos y con mayor capacidad. Gracias a los puertos, llegan

materias primas, además ayudan a México a exportar productos manufacturados que son parte clave de la economía mexicana, ya que generan empleo y una mejor calidad de vida para los mexicanos. Además, un tercio de la carga que se mueve en México se transporta por vía marítima, por eso, la importancia de contar con instalaciones portuarias del más alto nivel, como los dos sistemas portuarios: el del Golfo de México y el del Pacífico (SCT, 2019).

El estudio de la productividad de puertos y terminales de contenedores es muy importante, debido a una mayor demanda y nuevas necesidades del comercio marítimo. Es evidente que la productividad y la eficiencia en los terminales de contenedores puede mejorar sustancialmente con un uso más intenso de la tecnología al alcance, por ejemplo, maquinaria, métodos de la automatización y equipos para eficientar los procesos de carga y descarga de contenedores (Doerr & Sánchez, 2006).

El presente trabajo de investigación pretende analizar y explicar los factores que determinan la productividad portuaria de los países de América del Norte y poder realizar conclusiones y recomendaciones sobre este importante indicador.

1.2 Preguntas de Investigación.

1.2.1 Pregunta General:

- ¿Cuáles fueron los factores que incidieron en la eficiencia de los principales puertos de América del Norte fueron eficientes durante el periodo, 2010-2018?
- ¿Qué factor 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?

1.3 Objetivo de la Investigación.

Los objetivos de investigación señalan a lo que se aspira en la investigación y deben expresarse con claridad, pues son las guías del estudio (Hernández, 2014).

1.3.1 Objetivo General.

- Determinar, cuáles fueron los factores que incidieron en la eficiencia de los principales puertos de América del Norte fueron eficientes durante el periodo, 2010-2018.
- Identificar, que factor 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.

1.4 Justificación.

La medición de la productividad y la eficiencia son necesaria para el buen desarrollo de cualquier actividad económica. En las últimas décadas, la globalización de las economías condujo a un crecimiento significativo del comercio mundial. La industria portuaria ha tenido que desarrollar infraestructura, procesos, equipos y tecnología especializada para la manipulación de las mercancías, adecuando lo existente o desarrollando nuevas facilidades para adecuarse a las nuevas demandas. Las terminales más modernas de contenedores necesitan una cantidad intensa de capital e inversión para desempeñar su actividad y mantener su gravosa infraestructura (Doerr & Sánchez, 2006).

El presente trabajo favorecerá a entender los factores que determinan la productividad portuaria y la eficiencia de los países de América del Norte ya que en la actualidad alrededor del 90% del comercio mundial se transporta a través del transporte marítimo (OMI, 2015).

La razón fundamental de este tipo de estudio es que los puertos marítimos con un rendimiento deficiente pueden aprender de los que tienen un mejor rendimiento y de esta manera aumentar la eficiencia y mejorar así la cadena de suministro y los sistemas de transporte, lo que a su vez aumenta la productividad de los puertos marítimos y contribuye al crecimiento del PIB (Odeck & Bråthen, 2012).

La presente investigación pretende tener un panorama más completo de estos factores para reforzar las teorías de la productividad, con la finalidad de plantear nuevas herramientas metodológicas, que permitan relacionar variables de esta naturaleza.

1.5 Horizonte Temporal y Espacial.

El trabajo de investigación establecerá los factores que determinaron la productividad y eficiencia portuaria en los países de América del Norte del año 2010 al año 2018.

1.6 Universo y Muestra de Estudio.

Universo: Conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones (Hernández, 2014). Muestra: Subgrupo del universo o población del cual se recolectan los datos y que debe ser representativo de ésta (Hernández, 2014).

1.6.1 Universo.

Todos los puertos de América del Norte.

1.6.2 Muestra.

Los principales puertos de América del Norte, enfocándonos en los puertos con el mayor movimiento de TEUs de cada país. América del Norte.

1.7 Tipo de investigación

Dada la naturaleza de esta investigación que se desarrolla, el trabajo tiene un alcance exploratorio, descriptivo, correlacional y explicativo, así como también tiene un diseño longitudinal con un enfoque cuantitativo.

Dado el tipo de investigación se utilizarán instrumentos cuantitativos como: las bases de datos de organismos oficiales nacionales e internacionales (UNCTAD, AAPA, OMI, CGPMM y los sitios web de los distintos puertos a estudiar), de igual forma se requieren instrumentos cualitativos como: Libros de textos, artículos científicos, tesis de maestría y doctorado, journals y consulta con la directora de tesis y sinodales.

1.8 Hipótesis de investigación

- El número de terminales especializadas en contenedores, el índice de conectividad de transporte marítimo de línea portuaria y el índice laboral de carga, fueron los principales factores que determinaron la eficiencia en las terminales de contenedores de los principales puertos de América del Norte en el periodo 2010-2018.

- 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.

CAPÍTULO 2: LOS PUERTOS DE AMÉRICA DEL NORTE

En el capítulo 2, titulado, se realiza una revisión acerca de los principales puertos (con el mayor movimiento de TEUs) de Canadá, Estados Unidos y México para conocer su origen, evolución y sus perspectivas de desarrollo.

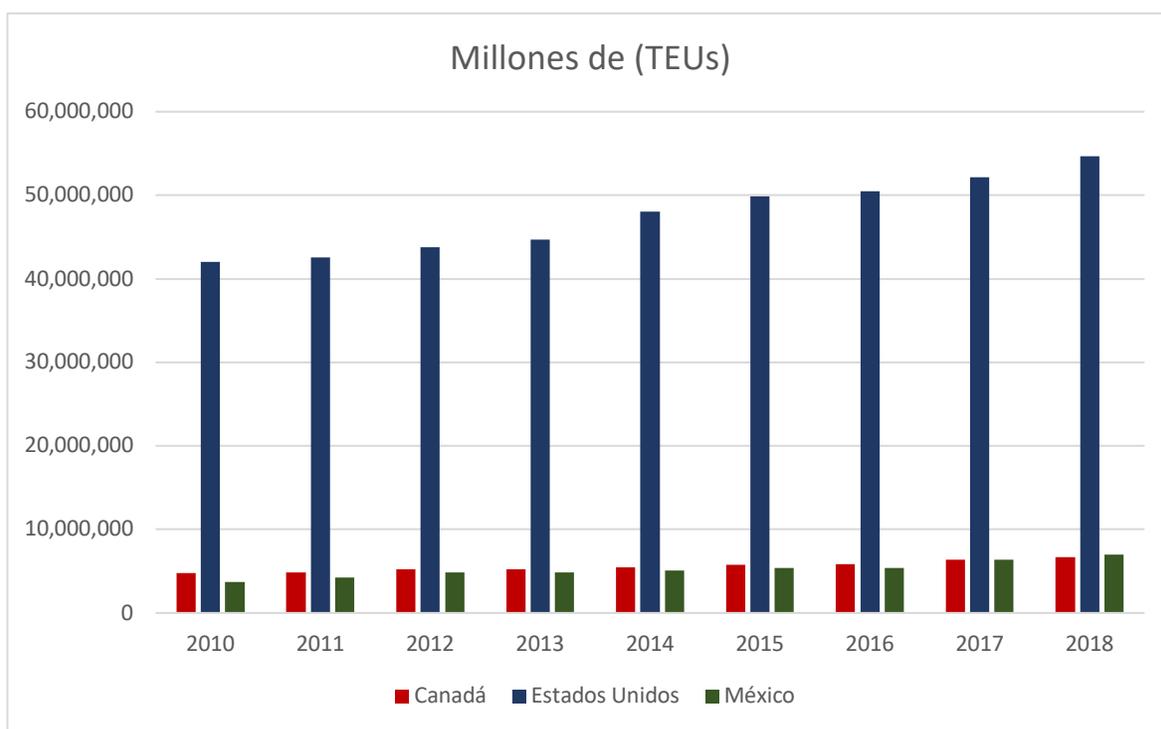
Los puertos se pueden definir como un compuesto de instalaciones y servicios que facilitan el intercambio de productos y mercancías, entre los medios de transporte terrestres y acuáticos en el terreno nacional e internacional. Los puertos son la puerta de entrada para la mayoría de los productos y mercancías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

En la antigüedad la náutica era elemental, básica y exclusivamente litoral o mediterránea y principalmente las embarcaciones se movilizaban a través de remos, todo lo anterior constituía el problema principal de la cimentación naval. La edad media es la etapa de los grandes hallazgos geográficos, los cuales fueron posibles al contar con barcos de mayor tamaño que facilitaban un mejor manejo de las velas, al uso de la brújula y de las cartas marítimas.

En este periodo se inició la navegación transoceánica; beneficiados por los avances tecnológicos de las potencias de esa época, como lo eran España y Portugal. Esto permitió el descubrimiento de América y la apertura del camino de Oriente. Estos países conservaron la supremacía naval durante los siglos XV y XVI (López Enriquez, 1977).

Hoy en día, la mayor parte de todo el comercio mundial se transporta a través del mar (OMI, 2015). El transporte marítimo de mercancías, se puede dividir en tráfico de altura, que es el interoceánico, y el de cabotaje que aun cuando puede ser internacional va tocando puertos sobre la misma costa (Portables Rodríguez, 2012).

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



Fuente: Elaboración propia con base en UNCTAD, 2018.

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 2010-2018. 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.

Tabla 1. Tráfico de contenedores en la región del TLCAN según la clasificación de la AAPA². Clasificación portuaria 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
12	Montreal	Canadá	1,537,669	1,447,566	90,103	6.22
13	San Juan	EE.UU.	1,319,572	1,084,374	235,198	21.69
14	Honolulu	EE.UU.	1,204,568	1,211,997	-7,429	-0.61
15	Lázaro Cárdenas	México	1,149,079	1,115,452	33,627	3.01
16	Veracruz	México	1,117,304	965,294	152,010	15.75
17	Port Everglades	EE.UU.	1,076,893	1,037,226	39,667	3.82

² AAPA (*American Association of Port Authorities*). La Asociación Americana de Autoridades Portuarias.

18	Jacksonville	EE.UU.	1,033,068	968,279	64,789	6.69
19	Miami	EE.UU.	1,024,338	1,028,156	-3,818	-0.37
20	Baltimore	EE.UU.	962,484	869,485	92,999	10.7
21	Prince Rupert	Canadá	926,540	736,663	189,877	25.78
22	Altamira	México	803,222	684,931	118,291	17.27
23	Halifax	Canadá	559,242	480,722	78,520	16.33
24	Philadelphia	EE.UU.	545,408	459,701	85,707	18.64
25	New Orleans	EE.UU.	532,597	522,364	10,233	1.96
26	Anchorage	EE.UU.	460,678	471,166	-10,488	-2.23
27	Wilmington (DE)	EE.UU.	374,600	362,492	12,108	3.34
28	Mobile	EE.UU.	318,889	272,734	46,155	16.92
29	Palm Beach	EE.UU.	282,290	267,280	15,010	5.62
30	Boston	EE.UU.	270,881	248,391	22,490	9.05
31	Wilmington (NC)	EE.UU.	259,819	260,195	-376	-0.14
32	Ensenada	México	230,185	191,708	38,477	20.07
33	Gulfport	EE.UU.	216,683	165,095	51,588	31.25
34	Penn Terminals	EE.UU.	201,096	158,083	43,013	27.21
35	Apra (GU)	EE.UU.	198,681	198,209	472	0.24
36	San Diego	EE.UU.	132,566	142,764	-10,198	-7.14
37	Hueneme	EE.UU.	119,170	83,600	35,570	42.55
38	Kahului (fy)	EE.UU.	113,725	109,065	4,660	4.27
39	Progreso	México	91,318	67,842	23,476	34.6
40	Freeport	EE.UU.	85,540	91,411	-5,871	-6.42
41	Kawaihae	EE.UU.	82,870	81,407	1,463	1.8

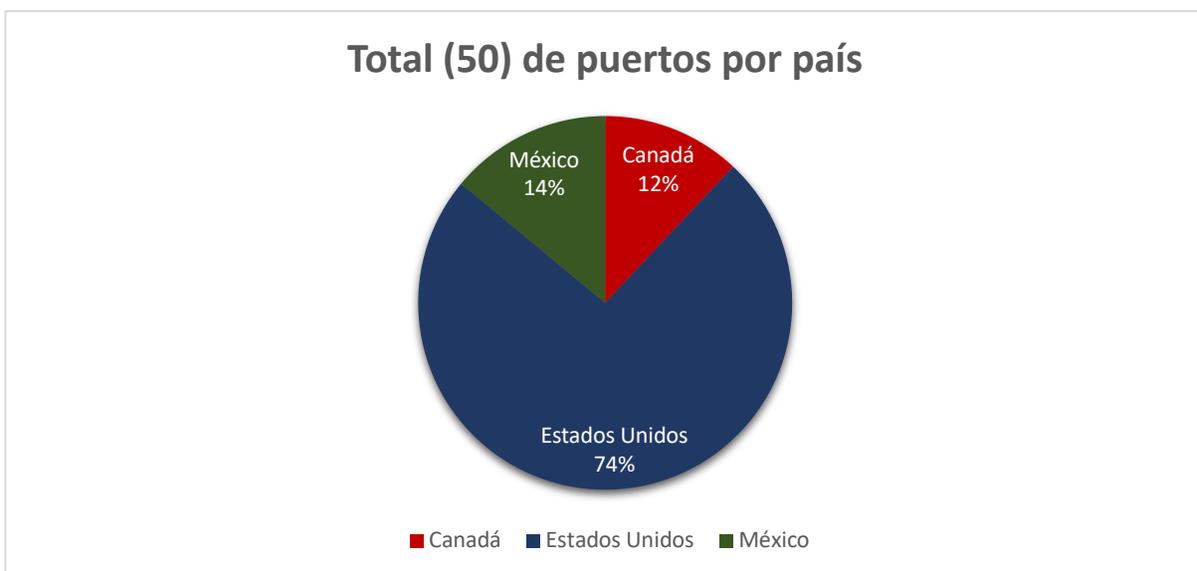
42	Saint John	Canadá	57,402	90,262	-32,860	-36.41
43	Tampa	EE.UU.	56,555	49,716	6,839	13.76
44	Nawiliwili	EE.UU.	52,374	50,814	1,560	3.07
45	Mazatlán	México	48,380	35,285	13,095	37.11
46	Hilo (fy)	EE.UU.	47,875	42,731	5,144	12.04
47	Nanaimo	Canadá	44,160	43,024	1,136	2.64
48	Manatee	EE.UU.	39,726	28,191	11,535	40.92
49	Panamá City	EE.UU.	35,462	29,626	5,836	19.7
50	Galveston	EE.UU.	33,752	35,414	-1,662	-4.69

Fuente: Elaboración propia con base en datos del reporte de AAPA, 2017³.

La AAPA recibe continuamente información sobre la clasificación de los puertos a nivel nacional e internacional. Los puertos pueden compararse de muchas maneras distintas: por volumen o valor del comercio, número de pasajeros de cruceros, ingresos y capacidad de almacenamiento, por mencionar algunos ejemplos. En la tabla 1 se puede observar la clasificación de los 50 principales puertos de América del Norte con el mayor tráfico de TEUs durante el año 2017. Además, se puede ver la variación con respecto al año anterior y su porcentaje de cambio.

³ *Puertos de Estados Unidos a investigar; **Puertos de Canadá a investigar; ***Puertos de México a investigar.

Gráfica 3. Porcentaje de puertos por país que forman parte de la clasificación 2017 de la AAPA.⁴



Fuente: Elaboración propia con base en datos del reporte de AAPA, 2017.

En la gráfica 3, se puede ver el porcentaje por país del total de los puertos que forman parte de la clasificación 2017 de la AAPA. Es claro que los puertos de Estados Unidos forman la mayor parte de esta clasificación contando con un total de 37 puertos, pero solo 30 de ellos se encuentran en territorio estadounidense. De los 7 restantes, 4 se encuentran en Hawái, 1 en Puerto Rico, 1 en las Bahamas y 1 en Guam. Por último, México cuenta con 7 y Canadá con 6 puertos en esta clasificación de 2017.

2.1 Los puertos de Canadá

Según datos del Gobierno de Canadá (2019), Canadá tiene más de 550 instalaciones portuarias. Diecisiete son autoridades portuarias canadienses por su importancia estratégica, regional, nacional, continental e internacional. Debido a su papel estratégico, el gobierno federal ha invertido más de 715 millones de dólares en ellos desde 2005. Las Autoridades Portuarias de Canadá manejan más del 60% del tonelaje comercial marítimo total. De hecho,

⁴ Del total de los 50 puertos de la clasificación 2017 de la AAPA Estados Unidos cuenta con 37, México 7 y Canadá 6.

en 2016, manejaron 5.7 millones de unidades equivalentes a veinte pies (TEU), un crecimiento del 35% en los últimos diez años.

Figura 1. Autoridades Portuarias de Canadá

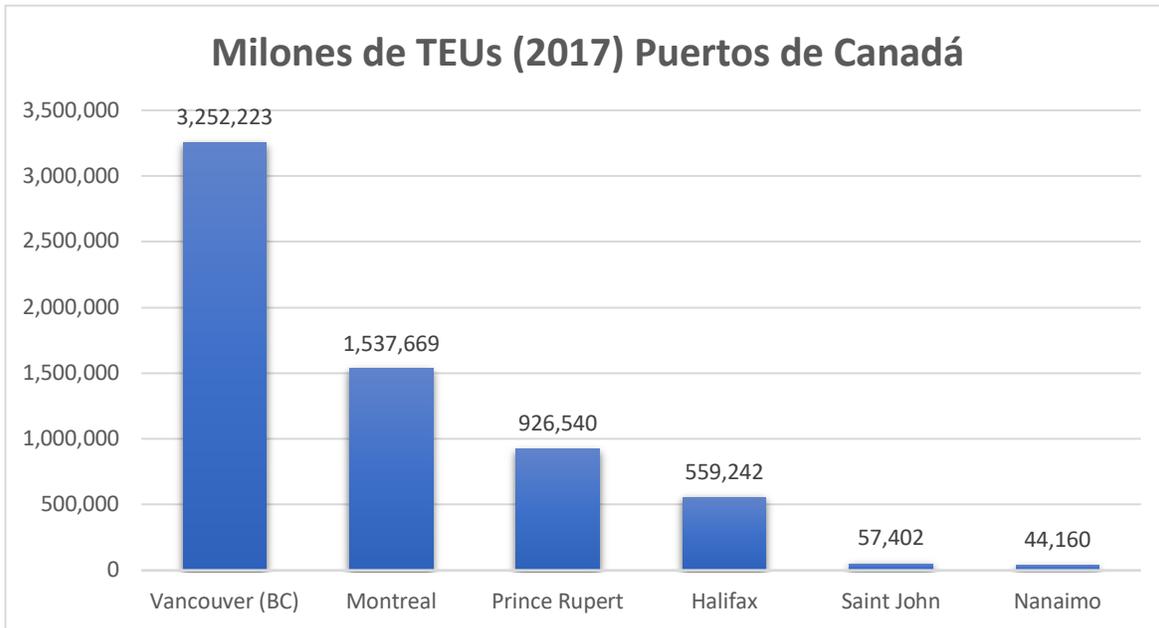


Fuente: Gobierno de Canadá, 2019.

Las cinco mayores autoridades portuarias de Canadá (Vancouver, Montreal, Prince Rupert, Halifax y Saint John) tuvieron un tráfico total de contenedores de 6.33 millones de TEUs, lo que supone un aumento de 0.65 millones de TEUs con respecto a 2015, obteniendo un aumento del 11.4%. El Puerto de Vancouver representó algo más del 38% de los ingresos totales de las Autoridades Portuarias de Canadá, Montreal el 17% y Prince Rupert el 11%. Seis Autoridades Portuarias de Canadá (Vancouver, Montreal, Prince Rupert, Toronto, Halifax y la ciudad de Quebec) juntas, representaron casi la mitad (Government of Canada, 2019).

En su último Índice de Desempeño Logístico (2016), el Banco Mundial clasifica a los países según el desempeño de su sistema logístico nacional. Canadá se ubicó en el puesto 14º, con un fuerte desempeño en aduanas (6º), infraestructura (9º) y rastreo (9º). En contraste, Canadá se ubicó en el puesto 29 en cuanto a la facilidad para organizar los envíos (Government of Canada, 2019).

Gráfica 4. Puertos canadienses que forman parte de la clasificación 2017 de la AAPA.



Fuente: Elaboración propia con base en datos del reporte de AAPA, 2017.

2.1.1 Puerto de Vancouver

En base a los datos del Puerto de Vancouver (2019), el puerto de Vancouver está situado en la costa suroeste de British Columbia en Canadá, el puerto de Vancouver se extiende desde Roberts Bank y el Río Fraser hasta Burrard Inlet. El puerto es el más grande de Canadá, apoyando el comercio con más de 170 economías alrededor del mundo.

Con la gama de carga más diversificada de todos los puertos de América del Norte, el puerto opera en cinco sectores comerciales: automóviles, gráneles, contenedores y cruceros. En 2018, 147 millones de toneladas de carga pasaron por el puerto, valoradas en 240,000 millones de dólares. Casi el 90% del volumen total del puerto se destina a los mercados canadienses de importación y exportación.

Muchas empresas diferentes operan en el puerto, incluyendo terminales de carga y cruceros, industrias que requieren acceso a las aguas de marea, astilleros, remolcadores, ferrocarriles, camiones, agentes navieros, transitorios, proveedores, constructores y agencias administrativas (Port of Vancouver, 2019).

Según el Puerto de Vancouver (2019), el puerto alberga 27 importantes terminales de carga marítima, tres ferrocarriles de Clase 1 y una amplia gama de instalaciones y servicios para la comunidad marítima internacional.

Las terminales de alta mar proporcionan una capacidad Super Post-Panamax y amplias instalaciones ferroviarias en el muelle sin prácticamente ninguna restricción de calado. Las instalaciones de agua dulce ofrecen servicios integrados para las industrias automovilística y forestal costera, y para el transporte marítimo de corta distancia.

El Puerto de Vancouver, que permite el comercio de aproximadamente 240,000 millones de dólares en mercancías, es un importante facilitador del desarrollo económico de Canadá. Las actividades portuarias se sostienen anualmente:

- 24,200 millones de dólares en producción económica
- 11,900 millones de dólares en producto interno bruto (PIB)
- 7 mil millones de dólares en salarios
- 115,300 empleos en Canadá
- 96,200 empleos en Colombia Británica
- 67,900 dólares de salario promedio para empleos directos (frente a 44,000 dólares de salario promedio en Canadá)
- 1,400 millones de dólares anuales en ingresos fiscales (Port of Vancouver, 2019).

2.1.2 Puerto de Montreal

Es el único puerto de contenedores sobre el corredor Ontario-Quebec, a través del cual fluye dos tercios del comercio internacional de Canadá. Es el segundo más grande puerto de contenedores en Canadá, 41 mil millones de dólares en bienes se mueven a través de el puerto de Montreal cada año. La actividad portuaria se traduce en 2,100 millones de dólares en valor añadido a la economía canadiense.

El puerto maneja más de 1.4 millones de TEUs (veinte pies de unidad equivalente) anualmente. colocados de punta a punta, cubrirían la distancia desde de Montreal a Vancouver y viceversa.

Más de 12 millones de toneladas de carga altamente diversificada: productos alimenticios, muebles, ropa y accesorios, electrónica, juguetes, libros y CDs, productos farmacéuticos, hardware, productos de consumo de todo tipo. El puerto puede albergar buques portacontenedores de 6,000 TEUs, cada uno de los cuales podría llevar 60 millones de iPads o 37 millones de pares de zapatos.

El puerto crea alrededor 16,000 empleos directos e indirectos. Cuenta con cerca de 240 empleados de la Autoridad Portuaria: ingenieros, informáticos, marinos, electricistas, soldadores, mecánicos, formadores, técnicos y profesionales en las finanzas, la administración, las comunicaciones, los derechos humanos y la democracia. gestión de recursos, etc. (Port of Montreal, 2015).

2.1.3 Puerto de Prince Rupert

El Puerto de Prince Rupert está situado en el territorio tradicional de la Primera Nación Tsimshian, que ha vivido y comerciado en la zona durante miles de años. Los corredores de transporte desarrollados por los pueblos indígenas se convirtieron en la columna vertebral de una red comercial cada vez más amplia.

El Grand Trunk Pacific Railway (GTP) se extendió desde Winnipeg hasta Prince Rupert y se enlazó con el Grand Trunk Railway del este de Canadá para formar el segundo ferrocarril transcontinental del país. El principal promotor del proyecto y gerente de GTP, Charles Melville Hays, perdió la vida en el hundimiento del RMS Titanic. Para cuando el último pico fue conducido en 1914, la era de la construcción de ferrocarriles estaba llegando a su fin y Canadá estaba entrando en una recesión económica. El GTP cayó en bancarrota y poco después del estallido de la guerra en 1919, fue absorbido por la Canadian National Railway (hoy CN Rail).

En 1972, el Puerto de Prince Rupert fue declarado Puerto Nacional y para 1975, se completó la construcción de su primera instalación, la Terminal de Fairview. La continua expansión de las instalaciones portuarias de Prince Rupert proporcionó el impulso para el desarrollo en todo el noroeste de Canadá y fue un motor que impulsó el crecimiento económico de la región.

La creación de la Autoridad Portuaria Prince Rupert como órgano de gobierno tuvo lugar en 1997 y ha supervisado la transición del puerto de un puerto de recursos regionales a un puerto comercial norteamericano emergente.

La Terminal de Fairview se amplió en 2017, aumentando la capacidad de manipulación del puerto a 1.3 millones de contenedores al año, lo que la convierte en la segunda instalación de contenedores más grande de Canadá. La terminal se ha embarcado en otra expansión para manejar 1.8 millones de TEUs para el año 2022.

El Puerto de Prince Rupert es el puerto de Norteamérica más cercano a Asia hasta por tres días de navegación: está 36 horas más cerca de Shanghái que Vancouver y más de 68 horas más cerca que Los Ángeles.

El Puerto de Prince Rupert es una puerta de entrada global, que exporta mercancías a granel desde Canadá a destinos de todo el mundo. La ruta más corta del Pacífico hacia Asia ofrece un tiempo de navegación más corto hacia mercados estratégicos, y menores costos. Los principales destinos de la carga a granel son China, Japón y Corea, otros destinos comunes incluyen el sudeste asiático, las Américas, el norte de África, el Medio Oriente y Europa (Port of Prince Rupert, 2019).

2.1.4 Puerto de Halifax

Durante más de 250 años, el puerto de Halifax ha seguido siendo una piedra angular de la actividad económica de la ciudad, la región y la provincia en su conjunto. La ubicación estratégica del puerto hizo de Halifax una puerta de entrada a Norteamérica ideal para colonos y cargadores y un punto estratégico perfecto para las operaciones militares.

El Puerto de Halifax es un motor económico regional que genera 15,000 empleos y contribuye con más de 1,970 millones de dólares en impacto económico.

Las mayores compañías navieras del mundo hacen escala en el puerto de Halifax, conectando el puerto con más de 150 países. El puerto manejó en 2018 un Total: 547,445 TEUs (Port of Halifax, 2019).

2.1.5 Puerto de Saint John

Situado en la parte sur de la provincia de New Brunswick, Puerto de Saint John, es el puerto más grande del este de Canadá por volumen y tiene una base de carga diversa, manejando un promedio de 28 millones de toneladas métricas de carga anualmente, incluyendo graneles secos y líquidos, graneles fraccionados y contenedores.

Con conexiones globales a 500 puertos en todo el mundo, el Puerto de Saint John se conecta fácilmente a los mercados interiores del centro de Canadá por ferrocarril y carretera. El puerto es un facilitador del comercio, proporcionando una puerta de entrada marítima a los mercados globales.

En el sector de los contenedores se registraron avances positivos, ya que el Puerto de Saint John experimentó su segundo año completo de éxito de operaciones en la terminal de carga multipropósito del lado oeste. Los TEUs de contenedores aumentaron un 3% y el tonelaje de los contenedores aumentaron en un 8% a finales de 2018 (Port of Saint John, 2019).

2.1.6 Puerto de Nanaimo

El Puerto de Nanaimo es el puerto público más grande de carga de la isla de Vancouver y las actividades de carga se han llevado a cabo desde hace más de cien años. La Comisión del Puerto de Nanaimo fue creada en 1961 y el Puerto fue continuado como Autoridad Portuaria de Nanaimo de conformidad con la Ley de la Marina de Canadá, que recibió la aprobación real el 11 de junio de 1998. El puerto manejó en 2018 un total de 44,891 TEUs (Port of Nanaimo, 2019).

2.2 Los puertos de Estados Unidos

Según la EPA (2018), los puertos de Estados Unidos son una parte importante de su economía nacional y del sistema de transporte intermodal. Más del 95% de la carga que entra a los Estados Unidos llega por barco. Estados Unidos cuenta con más de 360 puertos comerciales en todo el país los cuales ayudan a transferir bienes a sus destinos en comunidades de todo el país. Sus puertos también sirven como un recurso importante para la defensa nacional y la preparación para emergencias.

Figura 2. Puertos Estratégicos de los Estados Unidos

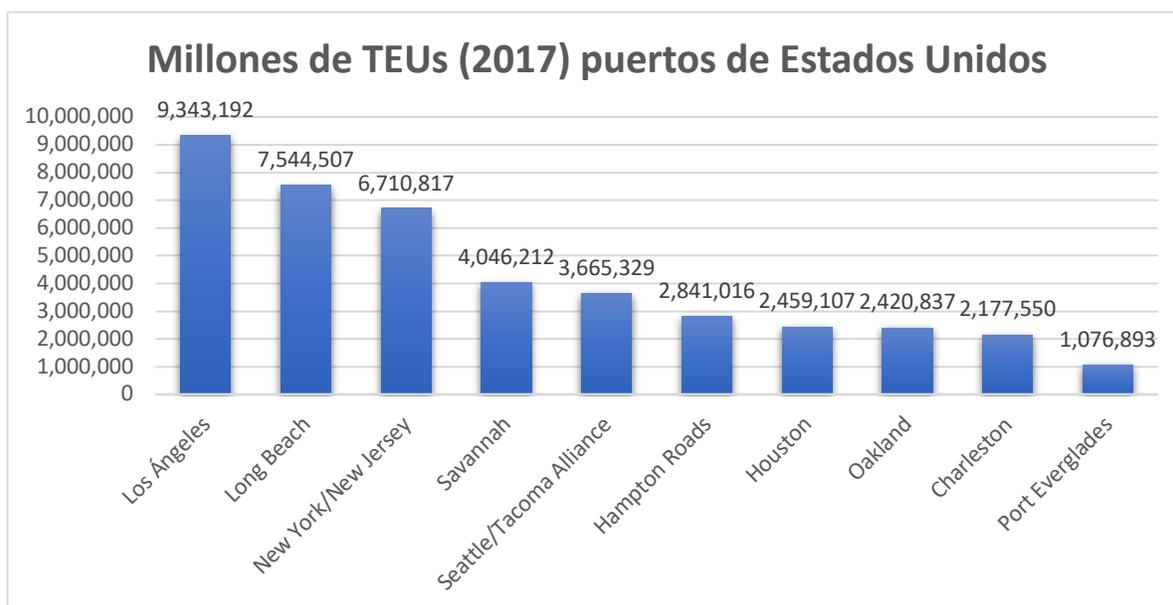


Fuente: United States Environmental Protection Agency-EPA, 2018.

Los puertos americanos son puertas de entrada para el comercio nacional e internacional. 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). Estas cifras son significativas, dado que el valor de todo el comercio internacional representa casi el 30% del Producto Interno Bruto (PIB) de Estados Unidos. Para satisfacer las crecientes demandas de los consumidores, más barcos hacen escala en los puertos marítimos de Estados Unidos más que nunca antes y los barcos son cada vez más grandes.

En muchas comunidades, los puertos son fuentes importantes de empleo local. Los puertos son empleadores y también apoyan el empleo en sectores relacionados como el transporte por carretera y ferroviario. De acuerdo con la Asociación Americana de Autoridades Portuarias, 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 (Environmental Protection Agency, 2018).

Gráfica 5. Puertos estadounidenses que forman parte de la clasificación 2017 de la AAPA.



Fuente: Elaboración propia con base en datos del reporte de AAPA, 2017.

2.2.1 Puerto de los Ángeles

El Puerto de Los Ángeles es la principal puerta de entrada del país para el comercio internacional y el puerto marítimo más concurrido del hemisferio occidental. Ubicado en la Bahía de San Pedro, a 25 millas al sur del centro de Los Ángeles, el Puerto abarca 7,500 acres de tierra y agua a lo largo de 43 millas de la costa.

Manejando diversos productos desde aguacate hasta zinc, el Puerto de Los Ángeles cuenta con terminales de pasajeros y de carga, incluyendo cruceros, contenedores, automóviles,

graneles, líquidos y secos, e instalaciones de almacenamiento que manejan miles de millones de dólares de carga cada año. Actualmente, en medio de un programa de inversión en infraestructura de 10 años y 2,600 millones de dólares destinado a elevar el nivel de eficiencia de la carga, el puerto también se centra en nuevas tecnologías para mejorar el flujo de información digital a lo largo de la cadena de suministro.

El Puerto de Los Ángeles es uno de los puertos marítimos más activos del mundo y la puerta de entrada líder para el comercio internacional en Norteamérica y se ha clasificado como el puerto de contenedores número uno en los Estados Unidos cada año desde el año 2000. En 2018, el Puerto movió más carga que en ningún otro momento de sus 111 años de historia - 9.5 millones de Unidades Equivalentes a Veinte Pies (TEUs) - la mayor cantidad de carga movida anualmente por un puerto del hemisferio occidental (Port of Los Angeles, 2019).

2.2.2 Puerto de Long Beach

El Puerto de Long Beach es el segundo puerto marítimo de contenedores más concurrido de los Estados Unidos, el Puerto maneja el comercio valorado en más de 194,000 millones de dólares anuales y soporta 2.6 millones de puestos de trabajo relacionados con el comercio en todo el país, más de 575,000 en el sur de California.

Mientras la industria navega por la "Big Ship Era", el Puerto de Long Beach es uno de los pocos puertos de Estados Unidos que puede recibir a los buques más grandes de la actualidad.

El Puerto sirve a 140 líneas navieras con conexiones a 217 puertos marítimos de todo el mundo. Las mercancías que se mueven a través del puerto llegan a todos los distritos del Congreso de los Estados Unidos.

El puerto abarca 3,200 acres con 31 millas de frente costero, 10 muelles, 62 atracaderos y 68 grúas de pórtico Post-Panamax. En 2018, el Puerto manejó más de 8 millones de unidades de contenedores, alcanzando el año más ocupado de su historia (Port of Long Beach, 2019).

2.2.3 Puerto de Nueva York y Nueva Jersey

La Autoridad Portuaria de Nueva York y Nueva Jersey concibe, construye, opera y mantiene la infraestructura crítica para la red de comercio y transporte de la región de Nueva York y Nueva Jersey. Estas instalaciones incluyen el sistema de aeropuertos, terminales marítimas y puertos más activos de Estados Unidos, el sistema de tránsito ferroviario, seis túneles y

puentes entre Nueva York y Nueva Jersey, la terminal de autobuses de la Autoridad Portuaria de Manhattan y el World Trade Center.

Durante más de ocho décadas, la Autoridad Portuaria ha trabajado para mejorar la calidad de vida de los más de 17 millones de personas que viven y trabajan en Nueva York y Nueva Jersey, una región que mantiene 8.6 millones de puestos de trabajo con un producto regional bruto estimado en más de 929,000 millones de dólares (Port Authority of New York & New Jersey, 2019).

2.2.4 Puerto de Savannah

Los puertos de aguas profundas de Georgia en Savannah y Brunswick, junto con las operaciones de barcasas en Bainbridge y Columbus, son las puertas de Georgia al mundo. Son los conductos críticos a través de los cuales fluyen las materias primas y los productos terminados hacia y desde los destinos de todo el mundo.

El Puerto de Savannah, donde se encuentra la instalación de contenedores más grande de su tipo en Norteamérica, está compuesto por dos modernas terminales en aguas profundas: Garden City Terminal y Ocean Terminal. En conjunto, estas instalaciones ejemplifican los exigentes estándares de eficiencia y productividad del GPA. Garden City Terminal es la cuarta instalación de manejo de contenedores más ocupada en los Estados Unidos, abarcando más de 1,200 acres y moviendo millones de toneladas de carga en contenedores anualmente (Georgia Ports Authority, 2019).

2.2.5 Puerto de Seattle/Tacoma Alianza

La Northwest Seaport Alliance es una sociedad de operación de carga marítima de los puertos de Tacoma y Seattle. La NWSA es la primera de su tipo en Norteamérica y es la cuarta puerta de enlace de contenedores más grande. Las instalaciones de carga marítima regional también son un importante centro de carga a granel, carga a granel seco, carga de proyecto, carga pesada, automóviles y camiones.

Ubicada en el noroeste del Pacífico en el estado de Washington, la Northwest Seaport Alliance ofrece tránsitos más cortos entre EE.UU. y Asia, así como una conexión profunda con Alaska.

La alianza es una autoridad de desarrollo portuario gobernada por los dos puertos como miembros iguales, cada uno de los cuales actúa a través de sus comisionados elegidos.

La Northwest Seaport Alliance es la cuarta puerta de entrada de contenedores más grande para el transporte de carga en contenedores entre Asia y los principales puntos de distribución en el Medio Oeste, el Valle de Ohio y la Costa Este.

También son un importante centro para cargas a granel, granel seco, cargas de proyecto/de carga pesada, automóviles y camiones. Se conecta con la segunda mayor concentración de centros de distribución de la Costa Oeste.

El valor de este comercio internacional bidireccional ascendió a más de 75,300 millones de dólares en 2017. Las importaciones ascendieron a 58,300 millones de dólares y las exportaciones a 17,000 millones de dólares de ese total (The Northwest Seaport Alliance, 2019).

2.2.6 Puerto de Hampton Roads

El Puerto de Virginia cuenta con instalaciones de clase mundial. El puerto cuenta con:

- 6 terminales
- 1,864 acres
- Atraques de hasta 50' de profundidad
- 30 millas de ferrocarril en el muelle

Su puerto de aguas profundas es el más profundo de la costa este de los Estados Unidos, el cual alberga a la mayor base naval del mundo. Cuenta con, una robusta industria de construcción y reparación naval, y un próspero comercio de carbón para la exportación. Es el sexto complejo más grande de carga de contenedores de los Estados Unidos.

El puerto ofrece canales de 50 pies, de entrada y salida, y es el único puerto de la Costa Este de los Estados Unidos con autorización del Congreso para dragar a 55 pies. En una época en la que los portacontenedores transportan decenas de miles de unidades equivalentes a veinte pies por viaje, las aguas profundas y la ausencia de restricciones aéreas constituyen una ventaja competitiva significativa.

De 374,000 empleos en Virginia, casi el diez por ciento de la fuerza laboral residente del estado, están vinculados a la actividad portuaria. Esos empleos generan \$17.5 mil millones en compensación anual y \$1.4 mil millones en impuestos estatales y locales.

El Puerto de Virginia es un puerto central; una distinción importante para el público naviero. Cerca de 30 líneas navieras internacionales ofrecen servicio directo y dedicado desde y hacia Virginia, con conexiones a más de 200 países en todo el mundo. En una semana promedio, más de 40 contenedores internacionales, buques de carga a granel y buques de carga rodada son atendidos en nuestras terminales marítimas (Port of Virginia, 2019).

2.2.7 Puerto de Houston

El Puerto de Houston es un complejo de 25 millas de largo de casi 200 terminales industriales privadas y públicas a lo largo del Canal de Navegación de Houston, de 52 millas de largo.

Cada año, más de 247 millones de toneladas de carga se mueven a través del gran puerto de Houston, transportadas por más de 8,200 buques y 215,000 barcazas. El puerto ocupa sistemáticamente el primer lugar en los Estados Unidos en cuanto al tonelaje transportado por el agua en el extranjero; el primero en las importaciones de los Estados Unidos; el primero en el tonelaje de exportación de los Estados Unidos y el segundo en el tonelaje total de los Estados Unidos. También es el principal puerto de carga a granel del país, con un 52% de la carga de proyectos en los puertos de la Costa del Golfo.

El puerto ha sido instrumental en el desarrollo de la ciudad de Houston como centro de comercio internacional. Es el hogar de un complejo petroquímico multimillonario, el más grande de la nación y el segundo más grande del mundo. Los servicios de transporte en las principales rutas comerciales conectan a Houston con los mercados internacionales de todo el mundo.

Situado en el centro de la costa del Golfo, Houston es una puerta de entrada estratégica para la carga que se origina en o con destino al Oeste y Medio Oeste de los Estados Unidos. Houston se encuentra cerca de una de las mayores concentraciones de 152 millones de consumidores de la nación en un radio de 1,000 millas. Amplias conexiones aéreas, ferroviarias y de camiones permiten a los transportistas transportar económicamente sus

mercancías entre el Puerto de Houston y los puntos del interior del país (Port of Houston, 2019).

2.2.8 Puerto de Oakland

Desde su fundación en 1927, el Puerto de Oakland ha servido como la principal puerta de entrada al océano para los embarques internacionales de carga en contenedores en el norte de California. El Puerto de Oakland supervisa 1,300 acres de instalaciones marítimas que sirven a un mercado local de más de 14.5 millones de consumidores, 34 millones en un viaje de siete horas en auto y el 50% de la población de los Estados Unidos en tren.

Tres terminales de contenedores y dos instalaciones ferroviarias intermodales dan servicio a la costa de Oakland. Todos los canales de navegación y el 90% de los atracaderos del Puerto están dragados a 50 pies, con capacidad para buques de hasta 18,000 TEUs. Las instalaciones ferroviarias de Union Pacific y BNSF están ubicadas adyacentes al corazón del área de la terminal marítima para proporcionar un movimiento confiable y eficiente de carga entre las terminales marítimas o instalaciones de trasbordo y las instalaciones ferroviarias intermodales (Port of Oakland, 2019).

2.2.9 Puerto de Charleston

Fundado en 1942, la Autoridad Portuaria de Carolina del Sur (SCPA) posee y opera terminales marítimas públicas en dos instalaciones portuarias, el Puerto de Charleston y el Puerto de Georgetown, además de los Puertos Interiores de Greer y Dillon. Estas instalaciones son terminales operadas por el propietario, lo que significa que la SCPA es propietaria de las terminales, opera todas las grúas de contenedores, administra y opera todos los patios de almacenamiento de contenedores y dirige todas las funciones de servicio al cliente tanto en el patio como en los carriles.

Las instalaciones de la Autoridad de Portuaria de SC en Charleston, Dillon, Georgetown y Greer recaudan \$53 mil millones en impacto económico anual en todo el estado. De hecho, 1 de cada 11 empleos del SC se atribuye al Puerto, y los empleos apoyados por el puerto pagan casi un 40% más que el salario anual promedio del estado. En el 2017, la Autoridad Portuaria de Carolina del Sur manipulo aproximadamente más de 2.2 millones de TEUs (South Carolina Ports Authority, 2019).

2.2.10 Puerto de Everglades

Las exóticas vacaciones en cruceros y el comercio internacional han convertido al puerto de Everglades en una potencia económica en el condado de Broward y en uno de los puertos marítimos más diversos de los Estados Unidos. Ubicado en el corazón de Fort Lauderdale y Hollywood, Florida, el Puerto de Everglades es uno de los puertos de cruceros más activos del mundo. Es uno de los puertos de contenedores más importantes de Florida y uno de los puertos de carga más activos de los Estados Unidos. Además, el Puerto de Everglades es el principal puerto marítimo del sur de Florida que recibe productos derivados del petróleo (incluida la gasolina y el combustible para aviones). La zona de comercio exterior y el espacio de oficinas disponible en el área del puerto seguro hacen del Puerto de Everglades un centro ideal de comercio y negocios mundial.

El valor total de la actividad económica del Puerto de Everglades es cercano a los US \$ 34 mil millones. Florida tiene 231,579 empleos afectados por el puerto, de los cuales 13,127 personas trabajan para empresas que brindan servicios directos al puerto. El Puerto de Everglades es la puerta de entrada global de Florida. El puerto se ha convertido rápidamente en el principal puerto marítimo de carga de contenedores de Florida. Es el centro perfecto y el punto de entrada para las empresas que hacen negocios en América Central y del Sur, el Caribe, Europa y el Lejano Oriente.

En el año fiscal 2018, el Puerto de Everglades superó 1 millón de TEU (unidades equivalentes a 20 pies, el estándar de medición estándar de la industria para contenedores) por cuarto año consecutivo, con un total de 1108,465 millones de TEU, y continuó manteniendo su estatus como el puerto de contenedores más grande en Florida y Estados Unidos. El décimo puerto de contenedores más grande, con más de 150 puertos y 70 países (Port Everglades, 2019).

2.3 Los puertos de México

En la actualidad, México cuenta de infraestructura portuaria mesurada. Sin embargo, el paso en el que crece económicamente el país, similar al crecimiento en el gasto público y privado en materia de puertos, ha sido deficiente para saciar las necesidades de transporte y conectividad de la urbe, así como para alcanzar estándares competitivos en el ámbito internacional.

Los puertos mexicanos componen un pilar esencial de la política comercial internacional y realizan una función importante en la estimulación de la economía, no sólo local, regional o nacional, sino también en Norteamérica, el Pacífico y la Cuenca de Asia. Los expertos admiten que los puertos de México son más eficientes, productivos y seguros que, en otros gobiernos, pero aún están lejos de poder equipararse con puertos del calibre de Hong Kong, Ámsterdam, Nueva York, Los Ángeles, Long Beach, y Singapur. El registro de los puertos exhibe de una forma más clara la posición internacional de México, que no posee un puerto entre los 50 principales del mundo en materia de tráfico de contenedores (Díaz Bautista, 2009).

En México, la actividad portuaria, tiene su origen con la llegada de los españoles, aunque algunos historiadores señalan, que los aztecas ya tenía conocimiento sobre el uso de la canoa, el remo y la vela, para el transporte de personas y productos, entre puertos costanero, sin embargo, fue a la llegada de estos, donde se comenzó la actividad marítima, de manera importante.

Durante la etapa colonial, para la extracción de minerales valiosos, fue indispensable crear los primeros puertos del país, Veracruz y Campeche en el Golfo, y muchos años después, Acapulco, San Blas y Salina Cruz, en el Pacífico.

Hoy en día, los puertos que concentran el mayor porcentaje de movimientos de carga comercial son: Manzanillo, Veracruz, Lázaro Cárdenas y Altamira, existen otros puertos denominados emergentes, que empiezan a figurar entre los de mayor crecimiento (CGPMM, 2019).

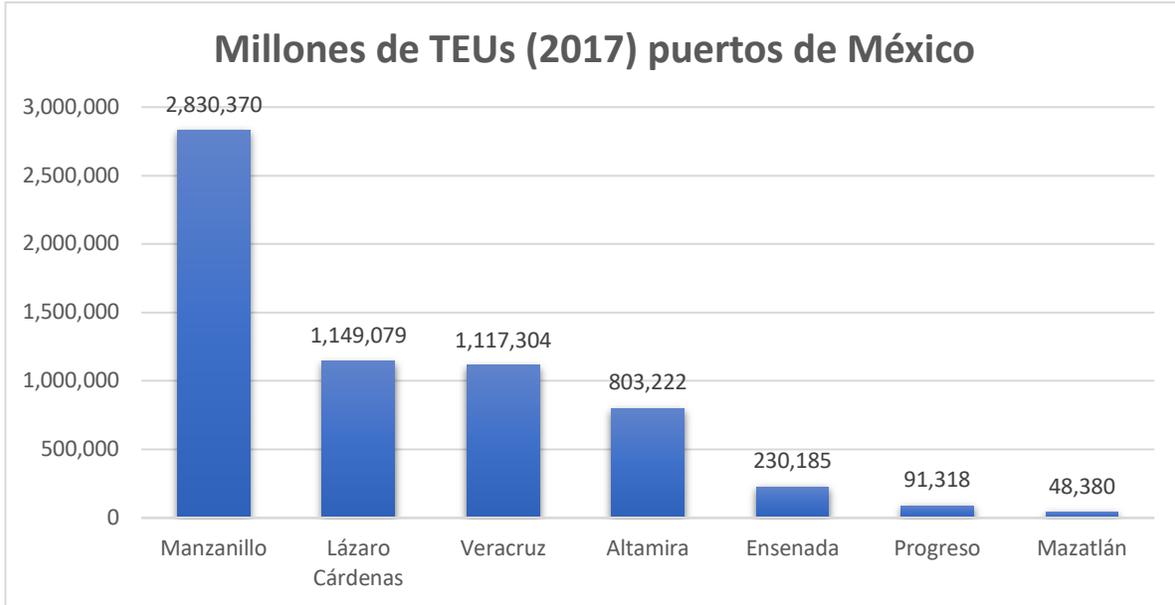
Figura 3. Puertos de México



Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2017.

El sistema portuario mexicano cuenta con 117 puertos y terminales habilitados, de los cuales 102 son puertos y 15 son terminales fuera de puerto. Del lado del pacífico México cuenta con 58 puertos y terminales. Por el lado del golfo de México se encuentran 59 puertos y terminales. (SCT, 2017).

Gráfica 6. Puertos mexicanos que forman parte de la clasificación 2017 de la AAPA.



Fuente: Elaboración propia con base en datos del reporte de AAPA, 2017.

2.3.1 Puerto de Manzanillo

El Puerto de Manzanillo está ubicado en el interior del estado de Colima, República de México, en la costa del Pacífico. Los puertos de Colima y Manzanillo son conocidos por su seguridad y paz social, lo que les permite atraer más inversión privada, nacional y extranjera, aumentando así su capacidad instalada.

El Puerto de Manzanillo se ha posicionado como el principal punto de entrada para el procesamiento de commodities del comercio internacional en la parte central de la República Mexicana y la Región del Bajío, que a su vez representan más del 67% del PIB del país y el 55% del PIB del país. México es el principal importador de Contenedores, el Pacífico mexicano tiene una tasa de participación del 68% y todo el país tiene una tasa de participación del 46%.

Su área de influencia internacional se encuentra frente a la costa oeste del continente americano y la Cuenca del Pacífico, incluyendo Estados Unidos, Canadá, Guatemala, Colombia, Ecuador, Chile, Japón, China, Taiwán, Corea del Sur, Indonesia, Malasia, Singapur y las Filipinas. Por otro lado, también existen importantes negocios con la Unión

Europea; España, Rusia, Alemania; y Oceanía, Australia, Nueva Zelanda y Sudáfrica (Puerto de Manzanillo, 2019).

2.3.2 Puerto de Lázaro Cárdenas

Lázaro Cárdenas es el puerto del Pacífico mexicano más cercano al centro del país. Abarca un total de más de 60 millones de habitantes, concentrados en la zona económica más importante a nivel nacional. Las modernas instalaciones de Puerto Lázaro Cárdenas están equipadas y calificadas para cubrir todas las actividades en puertos industriales y comerciales de su tamaño con eficiencia, seguridad y productividad.

El puerto está bien equipado para recibir grandes barcos y mercancías diversas. Lázaro Cárdenas es el único puerto en México con una profundidad de canal de 18.00 metros y un puerto principal de Ciaboga con una profundidad de 16.50 metros. También es el único puerto protegido que puede recibir buques con un desplazamiento de hasta 165,000 toneladas. El fondeadero del puerto se ubica al sur del puerto, con longitud de 5,282 metros, una anchura de 2,892 metros y una profundidad de 30 a 50 metros.

La zona portuaria de Lázaro Cárdenas tiene 21.844 metros de agua. En la actualidad se han construido 3,689 metros de muelles con profundidades de 6, 8, 11, 12, 14 y 16,50 metros respectivamente, la capacidad estructural puede albergar buques con un desplazamiento de 20.000 a 150.000 toneladas.

En cuanto a los servicios industriales urbanos, el puerto de Lázaro Cárdenas cuenta con accesos viales y ferroviarios, electricidad de alta, media y baja tensión, agua bruta, teléfonos y combustibles para atender las necesidades de posibles industrias (Puerto de Lázaro Cárdenas, 2013).

2.3.3 Puerto de Veracruz

De acuerdo con la Ley de Puertos, APIVER se constituyó como una sociedad anónima de capital variable. El gobierno federal le otorgó una concesión por 50 años, que puede extenderse por otros 50 años. APIVER cede parte de los derechos a través de un contrato de terceros, licitación pública y contrato basado en la propiedad de la franquicia, el desarrollo del proyecto principal y otras regulaciones normativas.

El puerto de Veracruz presenta riesgos para la navegación marítima por sus características hidrológicas. Sus efectos negativos pueden ser la pérdida de vidas humanas, la contaminación ambiental y la pérdida de productos materiales. Debido a esto se instaló el Centro de Control de Tráfico Marítimo de Veracruz, el cual se encarga de monitorear, controlar, asistir a la navegación y brindar información relevante a los buques mercantes dentro de su rango de influencia para incrementar la seguridad de la vida en el mar y la navegación Segura y ayudar a proteger el medio marino y las zonas costeras adyacentes.

El Centro de Control de Tráfico Marítimo, como organismo auxiliar de la Capitanía del Puerto, supervisa el cumplimiento de la normativa marítima local e internacional coordinando las comunicaciones entre el personal pertinente, así como buscando, rescatando y asistiendo a los buques en situaciones de emergencia (Puerto de Veracruz, 2019).

2.3.4 Puerto de Altamira

El puerto de Altamira se ubica en la zona sur de Tamaulipas, por sus enormes reservas territoriales y su ubicación geográfica superior, tiene un enorme potencial de crecimiento y es una importante ventana para el comercio exterior como Altamira.

El puerto está conectado a 125 puertos en todo el mundo a través de varias líneas de transporte de carga de contenedores de servicio regular y carga a granel, siendo el destino principal la Cuenca Atlántica.

Su calado actual es de 40 pies y se incrementará a 50 pies en su proyecto final. Hay 17 amarres en operación y tiene el potencial de 90 amarres (Puerto de Altamira, 2016).

2.3.5 Puerto de Ensenada

El Puerto de Ensenada está situado en el noroeste del país azteca, en la provincia de Baja California, en un lugar esencial de la cuenca del Pacífico, a menos de 115 kilómetros de la frontera de México con los Estados Unidos y en la parte superior del Municipio de Ensenada, colindando hacia el norte con los territorios de California y Arizona y hacia el sur con Baja California Sur, hacia el este con Sonora y hacia el oeste con el Océano Pacífico. Su posición geográfica se sitúa en las coordenadas 31 51'30" Latitud Norte y 116 38'00" Longitud Oeste.

El municipio de Ensenada cuenta con un aumento de la línea costera de 1,114.89 kilómetros, que abarca más del 80.8% de la línea costera absoluta del Estado; adicionalmente cuenta con 74,800 hectáreas de lagunas mareales, razonables para la hidroponía.

Para el movimiento terrestre de la carga con origen o destino el puerto, los tres recorridos más significativos son la autopista Tijuana-Ensenada y las autopistas gubernamentales Tijuana-Ensenada y Tecate-Ensenada. La autopista es de altas determinaciones (4 carriles y 2 cuerpos) y por ella se embarcan los mayores flujos de carga. Las tres vías mencionadas son las conexiones fundamentales para comunicar el Puerto con la red vial primaria de los Estados Unidos de América (Puerto de Ensenada, 2015).

2.3.6 Puerto de Progreso

El espacio de impacto del puerto de Progreso es el propio estado de Yucatán y en segundo lugar los territorios de Quintana Roo, Campeche, Chiapas y Tabasco.

El punto neurálgico de la nación, al igual que el noroeste y la cuenca del Golfo de México son un sector de negocios atractivo, ya que goza de beneficios para la carga marítima a menor costo, contrastado con el que ofrece el autotransporte.

La importación y tarifa del promontorio a diferentes sectores empresariales, al igual que la fundación de plantas maquiladoras, industria que se ha llenado rápidamente en los últimos años, aprovechando los beneficios financieros y de superficie que ofrece la demarcación. También es significativa la mejora del mercado de la industria turística, que tiene un extraordinario potencial. (Puerto de Progreso, 2010).

2.3.7 Puerto de Mazatlán

A través de las obras de ampliación y modernización del puerto de Mazatlán y por su situación geoestratégica respecto a las naciones asiáticas de la cuenca del Pacífico, Mazatlán se convertirá en la puerta de entrada y salida de los sectores empresariales asiáticos. El puerto de Mazatlán está situado en la costa oeste de México, en la provincia de Sinaloa.

El puerto de Mazatlán, en cuanto a intercambio, atiende las condiciones del Corredor Económico del Norte (Sinaloa, Nayarit, Durango, Zacatecas, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas). Además, existe una conexión de inventario con la península de Baja

California. En la zona de influencia del puerto se encuentran los principales productos y sub-productos de origen agrícola, pesquero, forestal y mineral, con destino a los principales mercados del mundo.

Sinaloa, Durango, Coahuila, Chihuahua, Nuevo León, Zacatecas y Tamaulipas han enmarcado el Corredor Económico del Norte, -COEN-, al quedar unidos por la red carretera Mazatlán-Matamoros, concluyéndose la obra de infraestructura carretera más importante que se construye en México; la carretera Mazatlán-Durango.

El puerto de Mazatlán será la puerta para el paso de productos, esencialmente de Asia, que podrán ser enviados por vía terrestre a la frontera Matamoros-Texas para ingresar al mercado del sureste norteamericano. (Puerto de Mazatlán, 2018).

CAPÍTULO 3: PRODUCTIVIDAD

UNA RETROSPECTIVA TEÓRICA

Se aborda en este capítulo, el concepto de la productividad y se desarrolla el marco teórico, en el cual se hace una revisión de los conceptos y teorías referentes a la productividad.

3.1 La importancia de la Productividad

La importancia de la productividad para mejorar el bienestar nacional ahora ha sido reconocida universalmente. No hay actividad humana que no pueda beneficiarse de una mayor productividad. Esto es importante porque se logran más aumentos en el ingreso nacional bruto (PNB) mejorando la eficiencia y la calidad de la fuerza laboral, en lugar de utilizar más mano de obra y capital. En otras palabras, cuando aumenta la productividad, el ingreso nacional o el PNB crece más rápido que los factores de entrada. Por lo tanto, cuando las ganancias de productividad se distribuyen según la contribución, el aumento de la productividad conducirá a un aumento directo de los niveles de vida. En la actualidad, se puede decir que la productividad es la única fuente importante de crecimiento económico mundial real, progreso social y mejores niveles de vida (Prokopenko, 1989).

Si no se aumenta la productividad para equilibrarlos, todos los aumentos de salarios, otros costos y precios solo significarán una mayor inflación. La mejora continua de la productividad es la única forma que tiene cualquier país de resolver los opresivos problemas de inflación, desempleo, déficit comercial e inestabilidad de la paridad monetaria. Desde un punto de vista personal, aumentar la productividad es fundamental para mejorar los estándares de la vida real y lograr el mejor uso de los recursos disponibles para mejorar la calidad de vida. En los negocios, el aumento de la productividad ha dado como resultado que los servicios muestren un mayor interés por parte de los clientes, un mayor flujo de efectivo, un mejor retorno de los activos y mayores ganancias. Más ganancias significa que se puede invertir más capital en expandir la capacidad de producción y crear nuevos empleos.

El aumento de la productividad contribuye a la competitividad de la empresa en los mercados nacionales y extranjeros (Bain, 1982).

3.2 El Concepto de Productividad

Según Prokopenko (1989), “*la productividad es la relación entre la producción obtenida por un sistema de producción o servicio y los recursos utilizados para obtenerla*” (p.3). Por tanto, la productividad se define como el uso efectivo de los recursos en la producción de diversos bienes y servicios: trabajo, capital, tierra, materiales, energía e información. Una mayor productividad significa obtener más con la misma cantidad de recursos o lograr una mayor producción y calidad con la misma entrada. Esto generalmente se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{\textit{Producto}}{\textit{Insumo}} = \textit{Productividad}$$

Para Prokopenko (1989), la productividad también se puede definir como la relación entre los resultados y el tiempo necesario para lograr esos resultados. El tiempo suele ser un buen denominador porque es una medida universal y no está controlado por humanos. Cuanto menos tiempo se tarde en lograr el resultado deseado, mayor será la productividad del sistema. Independientemente de si el tipo de sistema de producción es económico o político, la definición de productividad es la misma. Por lo tanto, aunque la productividad puede significar cosas diferentes para diferentes personas, el concepto básico es siempre la relación entre la cantidad y calidad de los bienes o servicios producidos y la cantidad de recursos utilizados para producirlos. La productividad es una herramienta de comparación entre gerentes y directores de empresas, ingenieros industriales, economistas y políticos. Compara la producción y el consumo de recursos en diferentes niveles del sistema económico (individuos, talleres, organizaciones, departamentos o países) (Prokopenko, 1989).

Según Bain (1982), la productividad no es una medida de producción o cantidad fabricada. Es una medida del grado en que los recursos se combinan y utilizan para lograr un resultado esperado específico.

$$\textit{Productividad} = \frac{\textit{Producción}}{\textit{Insumos}} = \frac{\textit{Resultados logrados}}{\textit{Recursos empleados}}$$

El concepto de productividad implica la interacción entre varios factores en el lugar de trabajo. Aunque la producción o el resultado realizado pueden estar relacionados con muchos

insumos o recursos diferentes, en forma de relaciones de productividad diferentes, como producción por hora de trabajo, producción por unidad de material o producción por unidad de capital, cada una de ellas tiene diferentes ratios de productividad o los índices se ven afectados por una combinación de muchos factores importantes. Estos determinantes incluyen la calidad y disponibilidad de materiales, la escala de operaciones y utilización de la capacidad, la disponibilidad y capacidad de producción de maquinaria importante, la actitud y habilidad de la fuerza laboral, y el entusiasmo y efectividad del personal gerencial. La forma en que estos factores se interrelacionan tiene un impacto significativo en la productividad, por tanto:

$$Productividad = \frac{Producción}{Insumos} = \frac{Resultados\ logrados}{Recursos\ empleados} = \frac{Efectividad}{Eficiencia}$$

La producción, el rendimiento, el costo y los resultados son parte del trabajo de productividad. No son términos extraños equivalentes. La mayoría de la gente asocia el concepto de productividad con el concepto de producción, porque en esta actividad la productividad es algo más evidente, tangible y medible. Los economistas apoyan esta definición tradicional, creyendo que la productividad es el resultado (producción) obtenido por cada unidad de trabajo involucrada. Esta vista debe cambiarse para incluir todas las partes del trabajo. Los departamentos educativos, los gobiernos, las organizaciones de servicios y las organizaciones profesionales deben mantener el interés y la preocupación por la productividad. La productividad afecta a todos como consumidores, contribuyentes y ciudadanos. Cuando las personas se quejan de que ya no tienen suficiente dinero para pagar las facturas de los alimentos, reparar automóviles o pagar impuestos y ayudar a limpiar los entornos contaminados, no solo se refieren al dinero, sino a la productividad: la capacidad de utilizar los recursos existentes. Recursos para satisfacer las crecientes necesidades de las personas (Bain, 1982).

La productividad mide cómo usamos de manera efectiva nuestro trabajo y capital para generar valor económico. Una alta productividad significa que se puede generar mucho valor económico con muy poco trabajo o muy poco capital. Una mayor productividad significa que se pueden producir más de la misma manera. En términos económicos, la productividad se refiere a todo crecimiento de la producción que no puede explicarse por el aumento de la

mano de obra, el capital o cualquier otro insumo intermedio utilizado en la producción (Hulten, 2000). Para resumir y fortalecer lo escrito en los párrafos anteriores, a continuación se enumeran algunas definiciones del término en orden cronológico:

Tabla 2. Cronología de las definiciones de productividad

Autor	Año	Aportación
François Quesnay	1766	La riqueza proviene de la naturaleza misma, y cuanto más riqueza genera la naturaleza, mayor es la productividad.
David Smumanth	1979	La relación de producción tangible entre insumos tangibles.
David Bain	1982	Es una medida del grado en que los recursos se combinan y utilizan para lograr un resultado esperado específico.
Joseph Prokopenko	1987	La productividad se define como el uso efectivo de recursos en la producción de diversos bienes y servicios.
Organización Internacional del Trabajo (OIT)	1996	Es la relación entre el rendimiento obtenido y los recursos utilizados para obtenerlo.
Charles R. Hulten	2000	Mide cómo usamos efectivamente nuestro trabajo y capital para generar valor económico.
Roger G. Schroeder, Susan Meyer Goldstein y M. Johnny Rungtusanatham	2011	Es la relación entre insumos y productos que existen en el sistema de producción. A menudo es conveniente medir esta relación por la relación entre la producción y la entrada.
Harold Koontz, Heinz Weihrich y Mark Cannice	2012	Es la relación aritmética de los productos con la debida consideración de la calidad a los insumos dentro de un cierto período de tiempo.

Fuente: Elaboración propia con base en la revisión bibliográfica, 2019.

3.3 Tipos de Productividad

Gutiérrez (1997) clasifica la producción en: productividad administrativa y productividad organizacional.

- La administrativa se hace evidente en el ámbito gerencial por medio de disposiciones que transforman en el éxito o fracaso en la producción de bienes y servicios, en lo que refiere a la calidad y cantidad mediante un buen uso de los recursos asignados.
- La productividad organizacional esta relacionada con dos conceptos básicos que son eficacia y eficiencia.

Básicamente, son cuatro los tipos de productividad:

- La productividad parcial (PP) es la relación obtenida del resultado a la categoría de entrada. Por ejemplo, el resultado de las horas de trabajo (una medida de la productividad laboral) es parte del concepto de productividad (Sumanth, 2003).
- La Productividad Total de los Factores (PTF). Es la proporción entre el resultado neto y la sumatoria de los insumos por mano de obra y capital. Al resultado neto también se le conoce como resultado de valor agregado (Sumanth, 2003).
- Productividad total (PT). Es la relación entre el resultado total y la suma de todos los factores de entrada. Considere el estándar de medición general del impacto relativo de todos los recursos de entrada (como mano de obra, materiales, maquinaria, capital, energía, etc.) en la producción. (Sumanth, 2003).
- Índice de la productividad total global. Índice de la productividad total, multiplicado por el índice del factor tangible (Sumanth, 2003).

3.4 Productividad Total de los Factores (PTF)

La productividad se define como la relación entre la cantidad producida y el insumo utilizado, y la PTF es la relación entre la producción neta y la suma de los factores relacionados con el trabajo y el insumo de capital (Sumanth, 2003).

En 1993, Hernández Laos mencionó que la productividad es generalmente considerada como la relación entre los recursos utilizados y los productos obtenidos, aunque el indicador más común es la productividad laboral, existen tantos indicadores de productividad como recursos utilizados. Sin embargo, la productividad parcial no muestra la eficiencia combinada de todo el uso de los recursos disponibles, por lo que es importante medir la eficiencia del uso de los factores al mismo tiempo, es decir, la productividad total de los factores (PTF).

El concepto de PTF se define como la relación entre los productos reales y el uso real de elementos o insumos. Fue introducido en la literatura económica por Timbergen a principios de la década de 1940. El concepto fue desarrollado independientemente por Stigler y posteriormente utilizado por varias instituciones y autores. También son importantes los autores, entre los que destacan Kendrick, Solow y Denison, y las contribuciones recientes de Lydall, Diewert, Christensen y Jorgenson (Hernández Laos, 1993).

La literatura profesional propone una serie de métodos para cuantificar la productividad total de los factores, que se pueden utilizar para analizar la economía de un país, una industria o una empresa. Se diferencian de los puntos de vista teóricos en tres aspectos básicos (Ayvar Campos, 2006):

- Desde el punto de vista de su interpretación teórica del concepto de la PTF.
- Las diferencias en los supuestos teóricos-económicos en las que se fundamentan.
- Los supuestos de las herramientas matemáticas y estadísticas para la medición.

Ayvar Campos (2006) comentó que actualmente existen una serie de métodos para medir la PTF, los cuales se dividen básicamente en dos aspectos:

1. Enfoque no paramétrico: La productividad total de los factores como medida de eficiencia productiva.
2. Enfoque paramétrico: La productividad total de los factores como medida del cambio tecnológico.

La primera evaluación (no paramétrica) de un grupo de autores (como Solow, Kendrick, Hernández Laos, etc.) considera que la PTF es una forma simple, es decir, la relación entre

productos e insumos (capital, trabajo, energía, etc.). ; En esta lógica de apreciación, para registrar el crecimiento de la PTF, la tasa de crecimiento del producto debe ser mayor que el crecimiento del insumo. Por lo tanto, la PTF es un indicador del crecimiento de la producción y no puede explicarse por un aumento de los insumos, por lo que también se le llama "superávit". En el segundo concepto teórico (concepto paramétrico), podemos encontrar a Diewert, Jorgensen, Christensen, etc., quienes consideran la PTF como un aumento de la productividad económica, que es el resultado de cambios tecnológicos, como la función de producción. Para este método, los cambios en la función de producción conducirán a cambios en la PTF (Ayvar Campos, 2006).

A partir de la función de producción, Robert M. Solow estableció el factor total de productividad como un concepto operativo. En su artículo titulado "Cambios tecnológicos y función de producción total" publicado en 1957, describió un método para separar el cambio en el producto per cápita causado por los cambios tecnológicos de la disponibilidad de capital per cápita. Solow define la función de producción total como:

$$(1) Q = F (K, L; t).$$

donde:

Q = producción,

K = insumo de capital,

L = insumo de mano de obra,

K y L representan el insumo de capital y trabajo en unidades físicas, y t representa el tiempo, que aparece en F para ilustrar los cambios tecnológicos. Por tanto, Solow se basa en la función de producción Cobb-Douglas con rendimientos constantes a escala, neutralidad autónoma de los cambios tecnológicos y competencia perfecta:

$$(2) dA = dQ - a dL + b dK \quad b = (1 - a)$$

A Q L K

donde:

a y b son la participación del trabajo y el capital en la renta, y dQ , dL y dK son las derivadas de Q , L y K en t . Cabe señalar que Solow utiliza el concepto de cambio tecnológico para referirse a: Cualquier tipo de movimiento de la función de producción. Por tanto, el retraso, la aceleración, la mejora y diversas cosas de la educación laboral se manifestarán como cambios tecnológicos (Solow, 1957).

El autor distingue un cambio tecnológico neutral de su movimiento a lo largo de la línea y lo define como el desplazamiento de la función de producción cuando la tasa marginal de sustitución permanece constante y solo aumenta o disminuye la producción disponible para un insumo dado. En este caso, la función de producción se expresa de la siguiente manera:

$$(3) Q = A(t) f(K, L)$$

El factor de multiplicación $A(t)$ mide el efecto acumulativo del desplazamiento a lo largo del tiempo.

Solow propuso un método para separar el desplazamiento de la función de producción total del movimiento a lo largo de la línea. El método se basa en los siguientes supuestos:

- Se paga a los factores sus productos marginales,
- Rendimientos constantes a escala a nivel agregado de toda la economía.
- Neutralidad del cambio tecnológico.
- Competencia perfecta en toda la economía.

Con base en estos supuestos, el cambio tecnológico representa la parte del crecimiento del producto que no puede "explicarse" aumentando los insumos, incluida la mejora de la educación laboral en el cambio tecnológico. Por otro lado, Kendrick (1961) utilizó funciones de producción de tipo Q como punto de partida para medir la productividad de los sectores de agricultura, manufactura, comercio, finanzas, transporte y servicios públicos estadounidenses en diferentes trabajos. $Q = f(X_1, \dots, X_n)$, donde Q es igual al valor agregado y (X_1, \dots, X_n) es igual a «n» elementos tangibles utilizados en la producción. El autor construyó un índice de PTF y lo usó para cuantificar la productividad de la manufactura estadounidense desde 1889 hasta 1957. Para Kendrick, TFP es la relación entre la producción real y la entrada:

$$\text{Productividad total de capital y mano de obra} = \frac{\text{Producción}}{\text{Mano de obra} + \text{Capital}}$$

Entre ellos, insumo de mano de obra = horas de trabajo ajustadas de acuerdo con los cambios en la calidad del trabajo; insumo de capital = inventario neto de construcción + equipo de planta + inventario + capital de trabajo + tierra.

El estudio de la productividad total de los factores en la teoría económica se basa en la idea de que la función de producción se utiliza como una representación de la tecnología actual en un período de tiempo dado, que representa la producción máxima que se puede obtener de un conjunto dado de factores y tecnología. estado. Este concepto se suele interpretar como un límite que limita el potencial de producción de la empresa. En este sentido, el cambio tecnológico puede asociarse a cambios en la frontera, y la mejora de la eficiencia puede entenderse como la combinación de elementos y productos empresariales, acortando la distancia de la frontera.

El progreso tecnológico generalmente está relacionado con una serie de innovaciones y cambios en la tecnología de producción o gestión, mientras que la eficiencia técnica es la capacidad de una empresa para administrar sus recursos y adaptarse al entorno y las condiciones en las que opera. Por tanto, el aumento de la productividad se puede descomponer en cambios de eficiencia y progreso tecnológico (Coelli, Prasada Rao, & Battese, An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis, 2005).

3.4.1 Medición de la Productividad Total de los Factores

Para medir la PTF se puede utilizar los siguientes métodos para calcular la PTF del sector de económico de estudio:

El método de Solow

Solow considera que la tasa de cambio tecnológico es igual a la tasa de crecimiento del producto menos la tasa de crecimiento de los insumos primarios ponderados por su participación en el producto, lo que varía en el tiempo (Solow, 1957).

El método se basa en los siguientes supuestos:

- 1) Rendimientos constantes a escala.
- 2) Cambio tecnológico neutral.
- 3) Competencia perfecta.

El método de Kendrick

Para Kendrick, la PTF es la relación entre la producción real y la entrada (Kendrick, 1976).

Para utilizar este método, se deben considerar las siguientes suposiciones:

- 1) Rendimientos constantes a escala.
- 2) Cambio tecnológico neutral.
- 3) Competencia perfecta.

$$PTF = \frac{\textit{Producción total}}{\textit{Insumos}} = \frac{\textit{Producción total}}{\textit{Mano de obra} + \textit{Capital}}$$

Método de Diewert

Para los autores Caves, Christensen y Diewert (1982) la PTF o cambio tecnológico representa el desplazamiento de la función de producción, lo que también se interpreta como parte del crecimiento del producto y no puede explicarse por el aumento del insumo. Por ello, asume:

$$\frac{\Delta t}{\Delta t - 1} = (\ln Y_t - \ln Y_{t-1}) - \sum \frac{1}{2} (S_{it} + S_{it-1}) (\ln X_{it} - \ln X_{it-1})$$

Donde:

Δt , es el cambio tecnológico en el año t.

$\Delta t-1$, es el cambio tecnológico en el año previo.

$\ln Y_t$, es el logaritmo del producto del año t.

$\ln Y_{t-1}$, es el logaritmo del producto del año previo.

S_{it-1} , es la participación del costo del insumo i en el producto en el año previo.

$\ln X_{it}$, es el logaritmo del insumo i en el año t.

$\ln X_{it-1}$, es el logaritmo del insumo en el año previo.

Método de Enrique Hernández Laos

Para Enrique Hernández Laos, la PTF muestra la relación entre productos e insumos, correlacionando la tasa de crecimiento de los productos con la tasa de crecimiento de los insumos primarios (Hernández, 1993).

La expresión matemática es la siguiente:

$$PTF = \frac{\left(\frac{Qt}{Qo}\right)}{\left[a \left(\frac{Lt}{Lo}\right) + b \left(\frac{Kt}{Ko}\right) \right]}$$

Donde:

Qt/Qo , es el índice del volumen del PIB del periodo actual a costo de factores de la industria.

Lt/Lo , es el índice de los insumos de la mano de obra en el período t.

Kt/Ko , es el índice de los acervos netos del capital fijo reproducible, a precios constantes en el periodo t.

$a=(w_o/Y_o)$, es la ponderación de la mano de obra en los insumos totales.

$b=(u_o/Y_o)$, es la ponderación del capital en los insumos totales. También es igual (1-a).

Supuestos:

- 1) Se libera del supuesto de la competencia perfecta.
- 2) Cambio tecnológico no neutral.
- 3) Se elimina el supuesto de rendimientos constantes a escala.
- 4) Se agregan índices a distintos niveles del análisis.

3.5 Resumen Crítico

De la amplia revisión de la literatura, se puede apreciar que existen 2 formas recurrentes de evaluar la eficiencia portuaria, la primera forma, es mediante un modelo paramétrico y la otra manera es mediante un modelo no paramétrico. El modelo no paramétrico utilizado generalmente en este tipo de estudios, es el DEA (Análisis Envolvente de Datos), y una alternativa a el, es un modelo paramétrico como lo es el SFA (Análisis de frontera Estocástica). Lo que pretende esta investigación es determinar la PTF (la Productividad Total de los Factores), es por esta razón que se decide utilizar un modelo no paramétrico como lo es el DEA y de esta forma determinar la eficiencia y el cambio tecnológico, para posteriormente determinar la PTF mediante el Índice Malmquist

CAPÍTULO 4: REVISIÓN DE LA LITERATURA EMPÍRICA

Existe un amplio estudio sobre la productividad portuaria, pero, en su gran mayoría son estudios no paramétricos centrados en determinar la eficiencia para posteriormente determinar la productividad. Se han realizado diversos estudios sobre la optimización de la producción en los puertos a través de distintas metodologías. De la extensa revisión de la literatura se obtienen algunos de los trabajos más relevantes. A continuación, se muestra la evidencia empírica existente.

Los autores Kutin, Nguyen y Vallée (2017), en su trabajo *“Efficiency of Moroccan Seaports: Application of DEA Using Window Analysis”*, evaluaron la eficiencia de ocho puertos marítimos del Reino de Marruecos. Con base en los datos recolectados durante 4 años (2014-2017), se realizaron dos estudios relacionados. En el primer análisis se utilizó el método estándar de análisis envolvente de datos (DEA) a través de los modelos CCR y BCC, y se utilizó el análisis de eficiencia en el segundo análisis, se utiliza la escala. Al utilizar estos dos métodos, es posible comprender mejor la situación de la eficiencia y, posteriormente, demostrar que la mayoría de los puertos y terminales de contenedores en el Reino de Marruecos son técnicamente ineficientes. El estudio concluyó que el uso del método de retorno a escala debería utilizar los recursos portuarios para mejorar el desempeño de los puertos de baja eficiencia.

“La eficiencia de los puertos en la región del APEC, 2005-2013: una medición a través del Análisis de la Frontera Estocástica (SFA)”, este artículo propone un modelo que utiliza análisis de frontera estocástica para medir la eficiencia de los 38 principales puertos del Foro de Cooperación Económica Asia-Pacífico durante el período 2005-2013. La eficiencia se calcula mediante los siguientes estimadores: JLMS (Jondrow, Lovell, Materov y Schmidt, 1982) y BC (Batesse y Coelli, 1988). La longitud de la terminal y el número de empleados se utilizan como entrada, y las TEU movilizadas cada año se utilizan como salida. La prueba de Hausman se utiliza para seleccionar el estimador más apropiado para determinar si el

modelo es un efecto fijo o un efecto aleatorio, y luego realizar pruebas de heterocedasticidad, multicolinealidad, variables faltantes, asimetría, raíz unitaria y integración, todas las cuales son para verificar la consistencia del modelo. Al implementar estas pruebas, se eliminaron las dos variables de superficie y grúas pórtico, lo que permitió obtener un modelo que podría explicar mejor la eficiencia de las 38 terminales de contenedores de APEC (Delfin Ortega & Navarro Chávez, 2016).

Delfin Ortega & Navarro Chávez (2015) en su trabajo titulado *“Productividad total de los factores en las terminales de contenedores en los puertos de México: una medición a través del índice Malmquist”* los autores analizaron los cambios en la productividad total de factores (PTF) de las terminales de contenedores de los principales puertos de México de 1982 a 2010. Por ello, se propone la elaboración del índice de Malmquist, que descompone los cambios de productividad en dos factores: cambios de eficiencia (efecto catch-up) y cambios tecnológicos (transferencia de fronteras). Los resultados muestran que durante el período de análisis, la productividad en general ha aumentado, lo que se explica por los cambios tecnológicos; Manzanillo es el puerto con el crecimiento de productividad más rápido, mientras que por otro lado, Tuxpan tiene el mayor descenso. El puerto, en este último caso, se debe principalmente a la tendencia a la baja del tráfico de contenedores durante este período. Estos resultados indican la necesidad de formular políticas públicas portuarias para que el puerto pueda operar a su máxima capacidad.

“Measuring Transport Systems Efficiency Under Uncertainty by Fuzzy Sets Theory Based Data Envelopment Analysis: Theoretical and Practical Comparison with Traditional DEA Model” en este trabajo, se especifica un modelo DEA basado en la teoría difusa para evaluar la eficiencia de los sistemas y servicios de transporte teniendo en cuenta la incertidumbre en los datos, así como en el resultado de la evaluación. En particular, hemos aplicado el modelo DEA difuso propuesto para evaluar la eficiencia de un conjunto seleccionado de puertos internacionales de contenedores. En particular, nos centramos en el "tiempo de retraso", que es un dato de entrada importante que no suele ser fácil de medir y, por tanto, se considera incierto. Por último, se ha llevado a cabo una comparación de la eficiencia de los puertos obtenida mediante el modelo DEA difuso propuesto y el DEA tradicional, con el fin de

evaluar las diferencias entre ambos métodos (Bray, Caggiana, Dell'Orcoa, & Ottomanellia, 2015).

Los autores Almawshe & Shah (2014) evaluaron la eficiencia técnica de 19 terminales de contenedores en la región de Oriente Medio. Se utiliza el enfoque DEA para medir la eficiencia técnica, y el análisis de las variables de holgura identifica las áreas potenciales de mejora de las terminales ineficientes. Los resultados del trabajo "*Technical Efficiency Analysis of Container Terminals in the Middle Eastern Region*" muestran que las terminales de contenedores de Jebel Ali, Salalah y Beirut son las más eficientes de la región, y que la menos eficiente es la terminal de Adén. Los resultados proporcionan información valiosa para los gestores de las terminales, ayudando a desarrollar la utilización de los recursos para un desarrollo constante de la eficiencia operativa.

El trabajo "*Environmental Performance of Brazilian Container Terminals: A Data Envelopment Analysis Approach*" tuvo como objetivo evaluar el desempeño de las terminales de contenedores brasileñas estableciendo un ranking basado en el desempeño de la ecoeficiencia. Se realizaron investigaciones documentales y bibliográficas para reunir los datos necesarios. Así, se aplicó un modelo de análisis envolvente de datos como herramienta de apoyo para evaluar el desempeño de los puertos. Como resultado, se consideraron cuatro puertos de referencia, lo que significa que alcanzaron el 100% como ecoeficiencia relativa. Además, determinamos cuánto debe mejorar cada terminal no ecoeficiente y qué debería hacer mejor para alcanzar la frontera de la ecoeficiencia (Guimaraes, Juniorb, & Garcia, 2014).

El trabajo de los autores Li, Luan, & Pian (2013) "*The efficiency Measurement of Coastal Container Terminals in China*" proponen un modelo DEA (Análisis de envolvente de datos) en tres etapas, se aplica sobre la base de los datos transversales de entrada y salida de 42 terminales de contenedores costeros en China. El modelo evalúa estadísticamente la eficiencia integral, la eficiencia puramente técnica y la eficiencia de escala de las terminales costeras de contenedores. La segunda etapa utiliza la Frontera Estocástica de la Productividad (SFA). El modelo de regresión SFA los autores utilizan las variables explicativas, largo de la terminal, equipo de maniobras y número de empleados como, variables explicadas y utiliza el PIB regional, el volumen de importación y exportación y la población regional como

variables explicativas. El resultado muestra que la eficiencia de los terminales de contenedores costeros es bastante baja en China, y la ineficiencia de escala es la razón principal. Hay una gran diferencia en la eficiencia de las terminales de los distintos grupos portuarios. La eficiencia de las terminales del delta del río Yangtsé y de la cuenca de Bohai es relativamente alta, pero la de la costa sudoriental y la delta del río Pearl es comparativamente baja. Además, hay un exceso de desperdicio en la entrada del desarrollo de terminales de contenedores en China.

“Physical infrastructure and shipment consolidation efficiency drivers in Brazilian ports: A two-stage networkDEA approach” en este trabajo, la eficiencia de los puertos brasileños se mide mediante un proceso de dos etapas. En la primera etapa, denominada eficiencia de la infraestructura física, los activos (número de atracaderos, área de almacenamiento y área de patio) se utilizan para lograr una determinada frecuencia de envíos por año. En la segunda etapa, denominada eficiencia de consolidación de envíos, estos movimientos permiten manipular cargas sólidas a granel y en contenedores. Aquí se adopta el modelo de eficiencia centralizada red-DEA para optimizar ambas etapas simultáneamente. Los resultados indican que una administración privada ejerce un impacto positivo en los niveles de eficiencia de la infraestructura física, mientras que el tamaño del hinterland y la operación de ambos tipos de carga tienen un impacto positivo en los niveles de eficiencia de consolidación de envíos. También se derivan implicaciones políticas para el nuevo marco regulador del sector portuario brasileño (Wanke, 2013).

“The evolution of container terminal productivity and efficiency under changing economic environments” este trabajo analiza la evolución de la productividad y la eficiencia de las terminales de contenedores de 20 terminales de 10 países de América Latina y el Caribe y España para el periodo 2005-2011. La inclusión de datos del periodo de crecimiento de la demanda, y la posterior reducción de la misma y recuperación, permite evaluar el impacto y la repercusión de la crisis financiera en la productividad y eficiencia de las terminales.

El objetivo de los autores Wilmsmeier, Tovar, & Sanchez, (2013) es un análisis empírico del trabajo doble: a) documentar el desajuste armónico en la evolución de la dotación de infraestructura y superestructura portuaria, la demanda de contenedores en las principales terminales de contenedores de América Latina y el Caribe y; b) cuantificar el efecto de la

crisis financiera y el posterior desarrollo económico cambiante en la productividad de los puertos de contenedores aplicando el Análisis Envolvente de Datos (DEA) no paramétrico. El análisis de datos de panel permite identificar específicamente el efecto de los entornos económicos dinámicos sobre la productividad y la eficiencia en las terminales individuales.

Bichou (2013) en *“An empirical study of the impacts of operating and market conditions on container-port efficiency and benchmarking”* formula una serie de hipótesis operativas para comprobar la sensibilidad de los resultados de la evaluación comparativa a las condiciones operativas y de mercado del puerto, a saber, la escala de producción, la combinación de cargas, el coeficiente de transbordo, las configuraciones operativas y los procedimientos de trabajo. Se utiliza una serie de modelos de análisis envolvente de datos (DEA) para medir la eficiencia operativa de 420 unidades de decisión de terminales de contenedores desde 2004 hasta 2010. Los resultados muestran que las variaciones en las condiciones operativas tienen un gran impacto en la eficiencia de las terminales y que los futuros trabajos sobre el rendimiento de los puertos de contenedores y la evaluación comparativa deberían tener en cuenta la estructura y los mecanismos que sustentan las operaciones de los puertos y las terminales de contenedores.

“The impact of public reforms on the productivity of Spanish ports: A parametric distance function approach” este trabajo analiza la evolución de la productividad total de los factores y su descomposición entre 1986 y 2005 en las autoridades portuarias españolas utilizando un enfoque de función de distancia paramétrica. Durante este periodo, las autoridades portuarias españolas experimentaron tres importantes cambios normativos. Los resultados muestran que el progreso técnico y las ganancias de eficiencia de escala mejoraron la productividad total de los factores, mientras que las pérdidas de eficiencia técnica redujeron la productividad total de los factores. El cambio en el modelo de gestión portuaria, que pasó de un modelo de puerto herramienta a un modelo de puerto propietario, la política económica española de principios de los noventa, la adopción de determinadas tecnologías y el exceso de capacidad de los puertos podrían explicar estos resultados (Núñez Sánchez & Coto Millán, 2012).

“Sea-Port Operational Efficiency: An Evaluation of Five Asian Ports Using Stochastic Frontier Production Function Model” El presente trabajo utiliza modelos de frontera estocástica e ineficiencia para analizar la eficiencia operativa de 5 puertos asiáticos

(Singapur, Hong-Kong, Shanghai, Shenzhen y Busan) y como *Inputs* (Longitud del muelle (km), Área de la terminal (hectáreas) y No. de grúas de muelle) y la técnica Delphi para buscar la opinión de los expertos encuestados sobre sus características. La investigación también utiliza el modelado de ecuaciones estructurales para construir un modelo de eficiencia operativa de los puertos marítimos como un paso más para examinar la importancia de las características. Los resultados de este estudio destacan la necesidad de mejorar la eficiencia operacional de los puertos marítimos e indican qué características deben recibir más atención. Los investigadores identificaron los instrumentos y estrategias de investigación que se emplearán y relacionaron su aplicación con objetivos de investigación específicos. El modelo de función de producción de frontera estocástica se utilizó para evaluar la eficiencia de los puertos marítimos seleccionados. Este método fue seleccionado por su capacidad de estimar la ineficiencia técnica y simultáneamente estimar los parámetros de un modelo de ineficiencia con los del modelo de producción fronteriza estocástica. Se empleó la técnica Delphi para recabar la opinión de los expertos sobre las características de la eficiencia operativa de los puertos marítimos (Otieno, Khin, Hualong, & Banomyong, 2011).

“A study on the selection of benchmarking paths in DEA” según Lim, Bae, & Lee (2011) una de las limitaciones de los métodos DEA existentes señaladas en la literatura reside en el proceso de evaluación comparativa de los objetivos de referencia para las DMUs ineficientes. Las dificultades que surgen en este proceso pueden resumirse en tres aspectos. En primer lugar, el objetivo de referencia puede ser una DMU hipotética que no existe en realidad (es difícil, y de hecho poco realista, aprender de una DMU de este tipo). En segundo lugar, el conjunto de referencia de una DMU ineficiente suele tener varias DMU eficientes, lo que dificulta la evaluación comparativa de varias DMU con mejores prácticas simultáneamente. En tercer lugar, es bastante imposible que una DMU ineficiente alcance la eficiencia de su objetivo en un solo paso, especialmente cuando la DMU ineficiente está lejos de la frontera eficiente. Para superar estas dificultades, proponemos, en lugar de la selección de DMUs de referencia en la frontera eficiente, un método de selección de trayectorias de referencia efectivas que dirijan una DMU ineficiente a su objetivo en la frontera eficiente de forma implementable y realista. El método propuesto se ha diseñado a partir de la idea de la DEA

dependiente del contexto propuesta por Seiford y Zhu (2003). Comienza por agrupar las DMU en varios estratos según sus puntuaciones de eficiencia y, a continuación, establece una ruta de referencia a través de la secuencia de estratos. Entre las DMU de la siguiente capa, se selecciona la más preferible como siguiente objetivo de referencia, basándose en tres criterios: atractivo, progreso e inviabilidad. Probamos el método propuesto aplicándolo a la evaluación de la eficiencia relativa de las operaciones de 26 terminales de contenedores situadas en Asia.

Los autores Hai-Bo & HeZhong (2009) en “*Application of centralized DEA approach to capital budgeting in Spanish ports*” proponen una serie de modelos DEA centralizados, no radiales y orientados a la producción, para determinar los niveles objetivo de producción individual y colectiva, las holguras y reasignaciones de insumos, así como las adquisiciones de insumos adicionales bajo una restricción presupuestaria de capital. Se presenta la aplicación del enfoque propuesto a la Agencia Portuaria Española. La cantidad global de ineficiencia encontrada actualmente en el sistema permite determinar aumentos potenciales de la producción total que van del 24% al 114% sin recursos adicionales. La consideración de la reasignación de insumos permitiría un aumento adicional de la producción del 20%. La adquisición de recursos adicionales de insumos haría factible ampliar aún más la producción, hasta niveles cuyos valores exactos dependen monótonamente del presupuesto de capital considerado.

CAPÍTULO 5: DESARROLLO METODOLÓGICO

En este capítulo, se describe el modelo utilizado para la obtención de la productividad total de los factores, de los principales puertos de América del Norte, durante el periodo de 2010-2018. En el presente trabajo, se utiliza el índice Malmquist, basado en el modelo de análisis envolvente de datos (DEA).

5.1 La eficiencia mediante un modelo no paramétrico

A la hora de medir la eficiencia de cualquier organización implica la selección de algún método que permita estimar y conocer su comportamiento. El desarrollo de numerosos trabajos empíricos a dado pie a lo que se conoce como “metodologías de frontera”. La función frontera es la referente para calcular y evaluar la eficiencia de las variables observadas (Seiford & Thrall, 1990).

Los métodos de análisis de eficiencia a través de la "función frontera" se consideran las alternativas más adecuadas para medir la eficiencia portuaria, ya que para este tipo de estudios se utilizan indicadores computables de entrada y salida para su aplicación (González & Trujillo, 2007). Las técnicas de estimación se agrupan esencialmente en dos grandes bloques: modelos que utilizan aproximaciones paramétricas y aquellos que utilizan aproximaciones no paramétricas. (Seiford & Thrall, 1990).

La productividad de los factores obtenida a mediante un enfoque de frontera tiene dos componentes: a) desplazamiento de la frontera resultante del progreso tecnológico, y b) mejora de la eficiencia técnica relacionada con los movimientos de las unidades hacia la frontera de producción (Thanassoulis, 2001). Los métodos no paramétricos definen, en general, una función de producción cuyos indicadores de productividad son el resultado de la aplicación de programación matemática a un problema de optimización. Estos enfoques manejan el proceso de agregación basado directamente en la cantidad de información sobre inputs y outputs, y un mínimo de supuestos sobre la forma general de la tecnología (es decir, el proceso de transformación) (Thanassoulis, 2001).

5.2 El modelo de análisis de la envolvente de datos (DEA)

La eficiencia diseccionada por la estrategia no paramétrica para el Análisis Envolvente de Datos (DEA) fue encabezada por Farrell (1957) y reformulada como un problema de programación numérica por Charnes, Cooper y Rhodes (1978). Con unas unidades de producción, que son Unidades de Toma de Decisiones (DMU), se desarrolla una frontera de eficiencia de la muestra de las unidades de producción. La estrategia permite determinar la eficiencia de los puertos y así inspeccionar su posición en relación a la circunstancia ideal.

El método DEA pertenece al grupo de los llamados métodos de frontera, en los que la producción se evalúa en relación con las funciones de producción, siendo la función de producción el nivel de producción máximo alcanzable con una determinada combinación de insumos o el nivel mínimo de insumos necesario para la producción de ciertos niveles de outputs (Coelli, Prasada Rao, & Battese, 1998).

El análisis envolvente de datos (DEA) es un método no paramétrico que trabaja con el desarrollo de una superficie envolvente o periferia efectiva a partir de la información accesible de la disposición de elementos investigados conocida como Unidad de Toma de Decisiones (DMU) (Charnes, Cooper, & Rhodes, 1978), donde cada una de estas DMU obtiene un peso o valor de los *inputs* y *outputs* que maximizan el resultado de eficiencia de su producción. De este modo, las unidades inútiles quedan fuera de la frontera, lo que permite evaluar la eficiencia relativa de cada unidad.

5.3 Eficiencia Técnica

Los escritos sobre la eficiencia técnica comenzaron a mediados de la década de 1950. El principal significado propio de la eficiencia técnica se debe a Koopmans (1951:460) "*es aquella en donde un incremento en cualquiera de los outputs exige una reducción en al menos de uno de los restantes o el incremento de alguno de los inputs*", y la primera medición de eficacia técnica es propuesta por Debreu (1951) y Shephard (1953), pero con una orientación diferente (Farrell, 1957) (*output* e *input*, respectivamente).

Los modelos de DEA pueden caracterizarse por:

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

El trabajo de Farrell se complementó con el trabajo de Charnes et al. (1978), partió de rendimientos constantes a escala (CRS), de tal manera que los cambios en los niveles de entrada conducen a cambios proporcionales en los niveles de producción, que requieren tantas optimizaciones como unidades de toma de decisiones (DMU). 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 formas: fracción, multiplicación y envolvente.

Se muestra el modelo de programación lineal con orientación *output* en su forma envolvente:

$$\text{Max } \theta$$

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

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

$$\lambda \geq 0$$

donde θ representa la distancia desde la salida hasta la envolvente de datos, que es una medida de eficiencia; X es la matriz de entrada de orden (mxn) ; Y es la matriz de salida de orden (sxn) ; λ es el vector $(nx1)$ s el vector de peso o intensidad, y xi , yr respectivamente, representa un vector de entrada y salida.

Posteriormente, Banker, Charnes y Cooper (1984) ampliaron el modelo original para incluir rendimientos variables a escala (VRS). Considerando diversas 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, la unidad evaluada se puede comparar con otras unidades mayores o menores.

Para distinguirlo del primero, se le llama modelo de rendimientos variables a escala (VRS). El modelo orientado a resultados es el siguiente:

$$\text{Max } \theta$$

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

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

$$N1'\lambda = 1$$

$$\lambda \geq 0$$

Esta modificación permite descomponer la eficiencia técnica global en pura eficiencia técnica y eficiencia de escala. Para hacer esto, se deben calcular dos modelos (CRS y VRS) utilizando los mismos datos. Si hay una diferencia entre las dos mediciones de una DMU, significa que la DMU tiene ineficiencia de escala y el valor de ineficiencia es la diferencia entre las mediciones de CRS y VRS. (Coll & Blasco, 2006).

5.4 El índice Malmquist

Malmquist (1953) introdujo el concepto relacionado con el nivel de utilidad del consumidor entre dos períodos de tiempo, y Moorsteen (1961) fue el primero en utilizarlo en la teoría de la producción. También considera la existencia de ineficiencia desde la perspectiva de la producción, e interpreta las diferencias de productividad (entre empresas o dentro de la misma empresa en diferentes momentos) como diferentes capacidades para aumentar la

producción sin consumir recursos adicionales, teniendo en cuenta algunas restricciones tecnológicas.

Caves, Christensen y Diewert (1982) aplicaron un método de cambio productivo mediante la elaboración del índice de Malmquist. 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, desarrollos posteriores de Färe, Grosskopf, Lindgren y Roos (1989) y Färe, Grosskopf, Norris y Zhang (1994) plantearon la posibilidad de desglosar las mejoras de productividad a través del índice de Malmquist relacionado con las medidas de eficiencia de Farrell et al.

Este índice de productividad se puede explicar por el cálculo de la función de distancia. Específicamente, mide la distancia de una unidad de producción en dos períodos determinados, asumiendo que cada período $t = 1, \dots, T$, la producción tecnológica S^t modela la transformación de *inputs* $x^t \in \mathbb{R}_+^N$ y en *outputs* $y^t \in \mathbb{R}_+^N$.

Basándose en la tecnología del periodo inicial t , el índice Malmquist de productividad lo muestra la siguiente expresión (Färe, Grosskopf, Norris, & Zhang, 1994):

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

Se asume que S^t satisface ciertos axiomas que bastan para definir funciones de distancia de salida significativas; la distancia de la función *output* es definida en t como:

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

Esta función se define como el recíproco de la máxima expansión proporcional del vector output y^t dados los inputs x^t . Esto caracteriza completamente a la tecnología. En particular se observa que $D_0^t(x^t, y^t) \leq 1$ 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) está en la frontera de la tecnología. De acuerdo con Farrell (1957), esto ocurre cuando la producción es técnicamente eficiente.

Para definir el índice Malmquist se necesita definir la distancia de las funciones con respecto a 2 diferentes periodos de tiempo, tales como:

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

La distancia de esta función mide el cambio proporcional máximo en la producción requerido para hacer (x^{t+1}, y^{t+1}) en relación con el técnicamente factible en t . En este sentido, es posible definir la distancia de una función que mide el máximo cambio proporcional en la salida requerido para x^t, y^t relacionado con la tecnología de $t + 1$, el cuál lo llaman $D_0^{t+1}(x^t, y^t)$.

Caves et al. (1982) definen el índice de productividad Malmquist con la siguiente expresión:

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

En esta fórmula, la tecnología en el período t es la referencia técnica. Alternativamente, el índice de productividad de Malmquist se puede obtener de acuerdo con la tecnología existente en el período posterior $t + 1$, como se muestra en la siguiente fórmula:

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

Para evitar elegir puntos de referencia arbitrarios, el índice de Malmquist basado en el cambio de productividad resultante se designa como la media geométrica de los dos índices de productividad de Malmquist de los tipos Caves, Christensen y Diewert:

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

El índice propuesto por Färe *et al.* Es más adecuado para la investigación a largo plazo y permite abordar los cambios tecnológicos. Por eso, a través de su propuesta, lograron hacer que la tecnología de referencia cambiara con el tiempo.

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

La relación fuera de los corchetes mide el cambio en la eficiencia relativa entre t año y t + 1 año. La media geométrica de las dos relaciones entre paréntesis refleja los dos períodos de evaluación x^t y x^{t+1} , como se muestra en la siguiente figura:

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

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

El primer elemento está relacionado con el cambio de posición relativa con respecto a la frontera tecnológica debido a la gestión del propio proceso productivo, especialmente la capacidad de incorporar el progreso tecnológico en su función productiva. Por su parte, la segunda fuente de productividad toma en cuenta la existencia de progreso tecnológico, que se refiere a una serie de innovaciones y cambios tecnológicos que cambian las fronteras de la producción, para obtener mejores resultados sin cambiar la cantidad de insumos utilizados o el mismo nivel de producción con el consumo de elementos más reducidos.

El cambio en la eficiencia técnica se mide por el cociente de las eficiencias entre los períodos considerados. Si el cociente 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.

En términos de cambio tecnológico, un valor de > 1 indica que hay progreso tecnológico, un valor de < 1 indica que hay regresión tecnológica y un valor de $= 1$ indica que la tecnología se mantiene. Este componente muestra cómo están cambiando los cambios tecnológicos, por lo que la terminal de contenedores está generando innovación.

Por tanto, la multiplicación entre estos dos cocientes produce el índice de Malmquist. Los resultados superiores a 1 indican que la productividad ha aumentado entre dos períodos (y t + 1) debido a mejoras en la eficiencia o mejoras tecnológicas. Por el contrario, un resultado menor que 1 significa que la productividad entre los dos períodos ha disminuido y un resultado = 1 significa que la productividad sigue siendo la misma.

Para calcular el índice de Malmquist, Färe (1994) utiliza rendimientos constantes a escala (CRS), pero también propone cambios en la eficiencia global técnica (ETG), que pueden descomponerse en cambios de eficiencia técnica pura (ETP), que corresponden a la gestión técnica de la empresa independientemente de su tamaño; y el cambio de la eficiencia de escala (EE), se origina en la escala de la unidad de producción en relación con la escala óptima. Esta distinción permite considerar la situación en la que la unidad de producción puede ser técnicamente eficaz pero no en la escala de producción óptima. Esta descomposición se obtiene combinando los supuesto de una tecnología con rendimientos de escala variables, es decir:

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

$$ETP_i^{t+1} * EE_i^{t+1} \tag{10}$$

En los períodos de tiempo t y t + 1, suponga que el puerto es la unidad de producción para producir productos y_t = contenedor.

Se debe elegir una orientación para estimar la métrica de distancia del índice de Malmquist.
a) Hacia los *Inputs* (reducir la cantidad de insumos manteniendo el mismo nivel de producción). b) Orientado a *Outputs* (aumentando el nivel de producción manteniendo el mismo nivel de insumo).

La estimación del índice de Malmquist requiere el cálculo de la función de distancia correspondiente, para lo cual existen varias formas de abordarlo (Färe, Grosskopf y Roos, 1998). Una forma de realizar este cálculo es a través de la programación matemática DEA, donde la función de distancia de los períodos k en el puerto t y $t + 1$ necesita resolver 4 problemas de programación lineal:

$D_0^t(y^t, x^t), D_0^{t+1}(y^t, x^t), D_0^t(y^{t+1}, x^{t+1})$ y $D_0^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1})$ Por esta razón, es necesario considerar que la función de distancia del output y la medida de eficiencia técnica orientada al *Output* de Farrell son recíprocas entre sí:

$$\left[D_0^t(x^{k,t}, y^{k,t}) \right]^{-1} = \max \theta^{k,t}$$

$$s. a \sum_{k=1}^k \lambda^{k,t} y_m^{k,t} \geq \theta^{k,t} y_m^{k,t} \quad m = 1 \dots M \quad (11)$$

$$\sum_{k=1}^k \lambda^{k,t} x_n^{k,t} \leq \theta^{k,t} x_n^{k,t} \quad n = 1 \dots N$$

$$\lambda^{k,t} \geq 0 \quad k = 1 \dots k$$

Donde x e y representan la entrada y salida del proceso de producción de la terminal de contenedores con k en cada puerto, respectivamente. k , en este caso se describe de la siguiente manera:

x = (inputs) número de terminales especializadas en contenedores más índice de conectividad del transporte marítimo de línea portuaria e índice laboral de carga,

y = (output) número de TEUS movidos anualmente en todos los puertos.

Por lo que, en la fórmula, k representa 1,2,.., k puertos, utilizando $n = 1, 2, \dots, N$ *inputs* (número de terminales especializadas en contenedores, índice de conectividad del transporte

marítimo de línea portuaria y índice laboral de carga) $x_n^{k,t}$, en cada periodo de tiempo $t = 1, 2, \dots, T$. Esos *inputs* se usan para producir $m = 1, \dots, M$ *outputs* (TEUS) $y_m^{k,t}$.

Para calcular la función de distancia relacionada con el período $t + 1$, se usa una expresión matemática similar, donde el superíndice t se reemplaza por $t + 1$ en la ecuación dada anteriormente. Para la función de distancia $D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1})$, reemplace el superíndice t con $t + 1$ para estimar. De manera similar, la estimación de la función $D_0^t(x^t, y^t)$ se especifica reemplazando el superíndice t con $t + 1$ de la siguiente manera:

$$\left[D_0^t(x^{k,t+1}, y^{k,t+1}) \right]^{-1} = \max \theta^{k'} \quad (12)$$

$$s. a \sum_{k=1}^k \lambda^{k,t} y_m^{k,t+1} \geq \theta^{k'} y_m^{k,t} \quad m = 1 \dots \dots M$$

$$\sum_{k=1}^k \lambda^{k,t} x_n^{k,t} \leq \theta^{k'} x_n^{k,t+1} \quad n = 1 \dots \dots N$$

$$\lambda^{k,t} \geq \theta^k = 1 \dots \dots k$$

Al imponer una restricción adicional de que la suma de los elementos del vector de intensidad debe ser igual a 1, se puede obtener la distancia asociada con la tecnología con rendimientos variables a escala (Banker *et al.*, 1984),

El índice de Malmquist basado en el método DEA tiene ventajas y desventajas: las principales ventajas que hemos encontrado incluyen (Schuschny, 2007): a) Se permite medir múltiples Inputs y Outputs en diferentes sistemas de unidades; b) A diferencia de los métodos econométricos que utilizan aproximaciones estocásticas de frontera de producción, la estimación del índice de Malmquist no obliga al uso de la forma funcional explícita de la tecnología; c) los puertos son comparados con el puerto ideal, construido a partir del desempeño de puertos «pares» reales, que son productivamente más eficientes, y d) el índice de Malmquist se puede desglosar en cambios técnicos y cambios de eficiencia, proporcionando así información sobre los siguientes aspectos de estos factores.

Entre las deficiencias o limitaciones destacan las siguientes (Schuschny, 2007): a) es muy sensible a los errores de medición. Al determinar el frente de referencia, los valores atípicos representados por los puertos de alto rendimiento pueden sesgar los resultados; por el contrario, es muy improductivo; b) la exclusión de variables relacionadas puede conducir a una identificación ineficiente (falso); c) la eficiencia o ineficiencia relativa pero no absoluta está bien estimada, y d) otra debilidad es que no distingue "Ruido" e ineficiencia técnica, como ocurre en la estimación de frontera estocástica, por lo que, en este caso, cualquier desviación de la frontera será considerada "ineficiente".

5.5 Selección de la Muestra

En un principio, se plantea estudiar 23 puertos de la región de América del Norte, pero, debido a la falta de datos, el estudio se redujo únicamente a 14 de los principales puertos de contenedores de los países que conforman este bloque económico. Como criterio de selección se tomaron en cuenta solo aquellos puertos que se encuentran en el reporte de La Asociación Americana de Autoridades Portuarias (AAPA) de 2017, llamado “Clasificación de puertos de contenedores del TLCAN 2017”.

Tabla 4. Tráfico de contenedores en la región del TLCAN según la clasificación de la AAPA . Clasificación portuaria 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 del reporte de AAPA, 2017.

Figura 4. Ubicación geográfica de los puertos de América del Norte.



Fuente: elaboración propia utilizando el software QGIS.

5.5.1 Definición de las Variables

Para la selección de variables primero se revisó la literatura que ha estudiado la eficiencia portuaria utilizando la metodología DEA, tal como lo muestra la tabla 5.

Tabla 5. Variables utilizadas en los modelos DEA en base a la revisión de la literatura.

Autor	Modelo	Muestra	Inputs	Outputs
(Kutin, Nguyen, & Vallée, 2017)	DEA	50 puerto de contenedores y terminales del ASEAN	Numero de grúas, sistemas de subvenciones de patio.	TEUs movilizados anualmente
(Almawshe & Shah, 2014)	DEA-CCR	19 terminales de contenedores en el Medio Oriente	Área de terminal, Longitud, Grúas, Equipo muelle, Calado Máximo	TEUs movilizados anualmente
(Bray, Caggiana, Dell'Orcoa, & Ottomanella, 2015)	DEA	16 puertos internacionales de contenedores	Número de grúas, Literas de contenedores, número de remolcadores, Área de la terminal, Tiempo de retaso, Número de empleados	TEUs movilizados anualmente, Número de contenedores movilizados por hora, Visitas de buques, Productividad de las grúas
(Guimaraes, Juniorb, & Garcia, 2014)	DEA-CCR DEA-BCC	15 terminales brasileñas de contenedores	Energía total, Energía no renovable, Emisión de aguas residuales, Suministros oficiales de consumo, Total de emisiones y	TEUs movilizados anualmente

			Consumo de agua por trabajador	
(Li, Luan, & Pian, 2013)	DEA SFA	42 puertos de China	Largo de la terminal, Equipo de maniobras, Numero de empleados	TEUs movilizados anualmente
(Wanke, 2013)	DEA	27 puertos brasileños	Numero de literas, Área de almacenamiento, Frecuencia de contenedores	TEUs movilizados anualmente
(Bichou, 2013)	DEA-CCR DEA-BCC Datos Panel	420 terminales de contenedores internacionales	Área de la terminal, Calado máximo, largo del muelle, Grúas	TEUs movilizados anualmente
(Lim, Bae, & Lee, 2011)	Additive non-oriented DEA RAM	26 terminales asiáticas de contenedores	Largo del muelle, Área total, Granos de pórtico	TEUs movilizados anualmente
(Lozano, Villa, & Canca, 2011)	Centralized DEA using a non-radial Russell measure of technical efficiency	50 puerto españoles de contenedores	Tierra y área de apilamiento, Largo del muelle, Numero de grúas, Numero de remolcadoras	Trafico total del puerto
(Sharma & Yu, 2010)	DT based context-dependent DEA	70 terminales internacionales de contenedores	Grúas del muelle, Grúas transferidas, Montacargas, Largo del muelle, Área de la terminal	TEUs movilizados anualmente

Fuente: Elaboración propia con base en la revisión de la literatura, 2021.

Una vez revisada la literatura, y en base a la disponibilidad de información se usaron las siguientes variables proxy para el modelo DEA:

- Inputs: número de terminales especializadas en contenedores (TRC), Índice de conectividad del transporte marítimo de línea portuaria (ICM) y el Índice laboral de carga (ILC).
- Output: TEU (número de contenedores movilizadas anualmente).

Para obtener datos para modelar la función de producción, 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 costes para el tráfico de contenedores en las operaciones de exportación.

Posteriormente se utilizó el análisis factorial a fin de identificar las variables con las que se trabaja en esta presente investigación. El análisis factorial es una técnica de reducción de datos que se utiliza para encontrar grupos homogéneos de variables a partir de una gran cantidad de variables. En esta técnica, la mayor varianza común de todas las variables se extrae y se coloca en la puntuación común. Hay muchos métodos disponibles, pero el análisis de componentes principales se utiliza con mayor frecuencia. Con este método, se extrae la varianza máxima y el componente se coloca en el primer factor. Después de eso, se elimina la varianza explicada por el primer factor y luego se extrae la varianza máxima del segundo factor. (Hair, Anderson, Tatham, & Black, 1999).

Se realiza la prueba KMO y el test de esfericidad de Barlett. Estos indicadores determinan el grado de correlación entre variables. Asimismo, indican si es factible aplicar esta prueba al modelo a desarrollar.

5.5.2 Prueba de KMO

La prueba de Kaiser, Meyer y Olkin (KMO) es un indicador con un valor entre 0 y 1, que se utiliza para comparar el coeficiente de correlación observado con el coeficiente de correlación parcial, de modo que independientemente de su valor, cuanto menor sea el valor, mayor el coeficiente de correlación parcial, y por lo tanto el análisis factorial no es el ideal. Kaise, Meyer y Olkin sugirieron que si $KMO \geq 0.50$, se puede utilizar el análisis factorial (Kline, 1994). La Tabla 3 muestra que el valor de KMO es igual a 0.584 y es aceptable continuar usando este método.

Tabla 6. Pruebas de KMO y prueba de Bartlett.

Prueba de KMO y Bartlett		
Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo		.584
Prueba de esfericidad de Bartlett	Aprox. Chi-cuadrado	51.882
	gl	3
	Sig.	.000

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados en SPSS.

5.5.3 Test de esfericidad de Barlett

Otro test que se aplica es el de esfericidad de Bartlett, el cual contrasta la hipótesis de normalidad multivariante, para determinar si la matriz de correlación de las variables observadas, R_p , conforma una matriz de identidad. Si una matriz de correlación es la identidad significa que las intercorrelaciones entre las variables son cero. Si se confirma la hipótesis nula ($H_0: |R| = 1$) significa que las variables no están intercorrelacionadas (Kim & Muller, 1978). En este caso, al aplicar la prueba (Tabla 6), el resultado estadístico es de 51.882 y el valor $p= 0.00$, Ambas pruebas en conjunto indican que para esta investigación sí es factible aplicar el análisis factorial de correspondencias.

5.4.4 Extracción de factores

Para obtener la solución factorial de este estudio, se utilizó el método de extracción mediante el análisis de los componentes principales. En este método, la extracción suele denominarse cargas factoriales y cuando son inferiores a 0.7 indica que dichas variables no son representativas en el modelo. En este estudio, las puntuaciones de todas las variables fueron superiores a 0.70 (véase Tabla 4).

Tabla 7. Comunalidades de la extracción de las variables.

Comunalidades de la extracción de las variables		
	Inicial	Extracción
TRC	1.000	.969
ICM	1.000	.968
ILC	1.000	.998

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados en SPSS.

5.5.5 Criterio del porcentaje de la varianza

El estándar de porcentaje de varianza incluye el número mínimo de factores necesarios para explicar el porcentaje acumulativo de varianza a un nivel satisfactorio de al menos 75% u 80% (Hair, Anderson, Tatham, & Black, 1999).

Tabla 8. Varianza total explicada.

Varianza total explicada									
Componente	Autovalores iniciales			Sumas de extracción de cargas al cuadrado			Sumas de rotación de cargas al cuadrado		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	1.918	63.918	63.918	1.918	63.918	63.918	1.908	63.598	63.598
2	1.017	33.907	97.825	1.017	33.907	97.825	1.027	34.227	97.825
3	.065	2.175	100.000						

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados en SPSS.

En vista de los resultados de la Tabla 5, se recomiendan dos factores porque son valores propios mayores que 1. Para confirmar esta representación, la última columna de la tabla muestra que estos dos componentes explican el 97.825% de la variabilidad contenida en los datos.

5.5.6 Solución factorial

Según Kline (1994), la etapa de interpretación juega un papel protagónico en las teorías existentes sobre el tema. A efectos prácticos, al interpretar factores, se recomienda seguir dos pasos: 1) Determinar la variable con el valor absoluto más alto de correlación con el factor, y 2) Intentar nombrar el factor. Otras dos estrategias que pueden ayudar a explicar estos factores son a) clasificarlos y b) eliminar la carga baja. El método de ordenación de la matriz de factores puede hacer que las variables de alta carga del mismo factor aparezcan juntas. Dado que se suprime la información redundante, la eliminación de la carga de factor bajo también ayuda a interpretar los resultados (Kline, 1994).

Tabla 9. Matriz de componentes.

Matriz de componente		
	Componente	
	1	2
TRC	.967	.185
ICM	.983	-.048
ILC	-.133	.990

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados en SPSS.

5.5.7 Rotación de factores

Como hemos visto en la sección anterior, la matriz de carga de factoriales juega un papel importante en la explicación del significado de los factores. Sin embargo, los métodos de extracción de factores rara vez proporcionan suficientes matrices de carga de factores para la

interpretación. Para solucionar este problema, existen algunos programas de rotación de factores que intentan obtener los factores de la matriz de carga a partir de la solución inicial para facilitar su interpretación. (Thurstone, 1947).

En este caso, para la rotación del factor se utiliza el método de normalización Varimax propuesto por Kaiser (1958), que reduce en un factor el número de variables de alta carga, mejorando así la capacidad de interpretación de los factores. La Tabla 10 muestra las variables ordenadas por saturación. Primero, encuentre las variables que están más saturadas en el primer factor (comenzando con la saturación más alta); luego, aquellas que están más saturadas en el segundo factor. Finalmente, la rotación converge en tres iteraciones. Recordemos que la rotación de factores es una opción cuya única función es facilitar la interpretación de la saturación.

Comparando la saturación relativa de cada variable en los dos factores, podemos ver que el primer factor está compuesto por las variables "número de terminales de contenedores profesionales" e "índice de conectividad de transporte marítimo de línea portuaria". El segundo factor agrega la variable "índice de carga de trabajo" con mayor saturación (véase Tabla 10).

Tabla 10. Matriz de componentes rotado.

	Matriz de componente rotado	
	Componente	
	1	2
TRC	.981	.084
ICM	.972	-.150
ILC	-.030	.999

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados en SPSS.

CAPÍTULO 6: ANÁLISIS Y RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de la eficiencia técnica, el cambio en la eficiencia y el cambio tecnológico en base a la metodología DEA con orientación *output*, de los principales puertos de América de Norte; asimismo, se exponen los resultados del cálculo del índice Malmquist para la determinación de la PTF. A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante el periodo de 2010-2018.

6.1 Eficiencia portuaria

Los resultados obtenidos de la metodología DEA con orientación *output*, muestran que, en general, se tiene una baja eficiencia técnica en el sector portuario de América del Norte durante el periodo objeto de estudio. 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, utilizando esta metodología sea mayor a 1, en este caso ninguno de los puertos americanos logro ese resultado. El puerto más eficiente de ese año fue el de Oakland, obteniendo un resultado de 0.948, mientras que el más ineficiente o el menos eficiente durante ese año fue, el puerto de Everglades con un resultado de 0.604 (véase Tabla 11).

Tabla 11. Eficiencia Técnica DEA-VRS de los principales puertos de América del Norte, 2010-2018

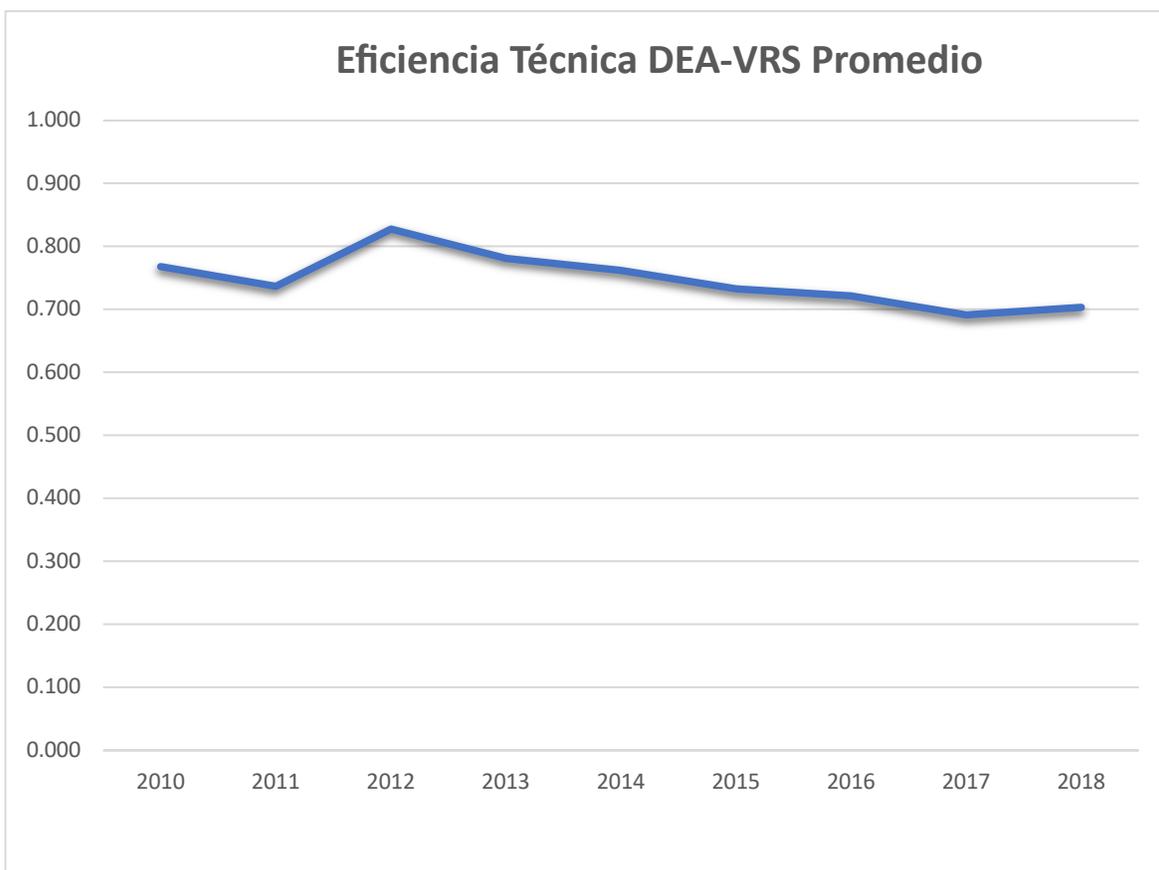
Eficiencia Técnica DEA-VRS de los principales puertos de América del Norte, 2010-2018										
Puerto	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Promedio Puerto
Altamira	0.801	0.787	0.863	0.817	0.789	0.741	0.724	0.723	0.719	0.774
Charleston	0.780	0.770	0.868	0.864	0.765	0.532	0.540	0.515	0.530	0.685
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 los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

No obstante, sobresale el caso del puerto de Oakland, ya que su eficiencia para el lapso 2010-2012, aumentó considerablemente, de 0.486 a 0.948, sin embargo, del año 2012 al 2018 este puerto, mantiene una tendencia a la baja, en su eficiencia portuaria, a excepción del periodo de 2014 a 2015. Por otra parte, el puerto de Everglades mantiene una tendencia al alta obteniendo en 2018 una eficiencia de 0.836, siendo así, el puerto con el mejor desempeño de ese año, a excepción del periodo de 2013 a 2015, siendo este su peor periodo en cuanto a eficiencia se refiere (véase Tabla 11).

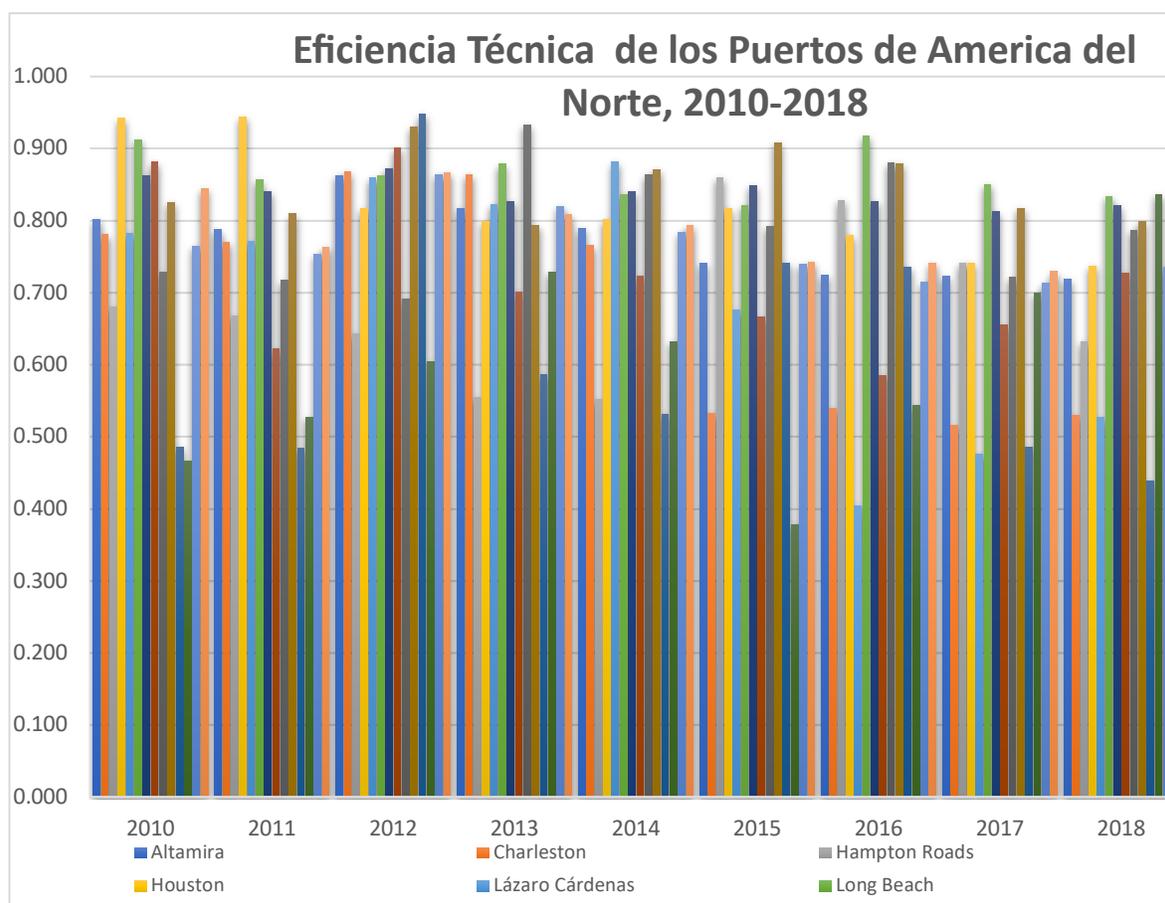
Gráfica 7. Eficiencia técnica DEA-VRS promedio de la actividad portuaria de América del Norte, 2010-2018.



Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

En general, se puede constatar que ninguna de las terminales de contenedores, de los puertos de América del Norte, sujetos a este estudio, fueron eficientes durante todo el periodo de 2010-2018. Se puede apreciar una clara tendencia a la baja a partir de año 2012 al 2018 (véase Gráfica 7).

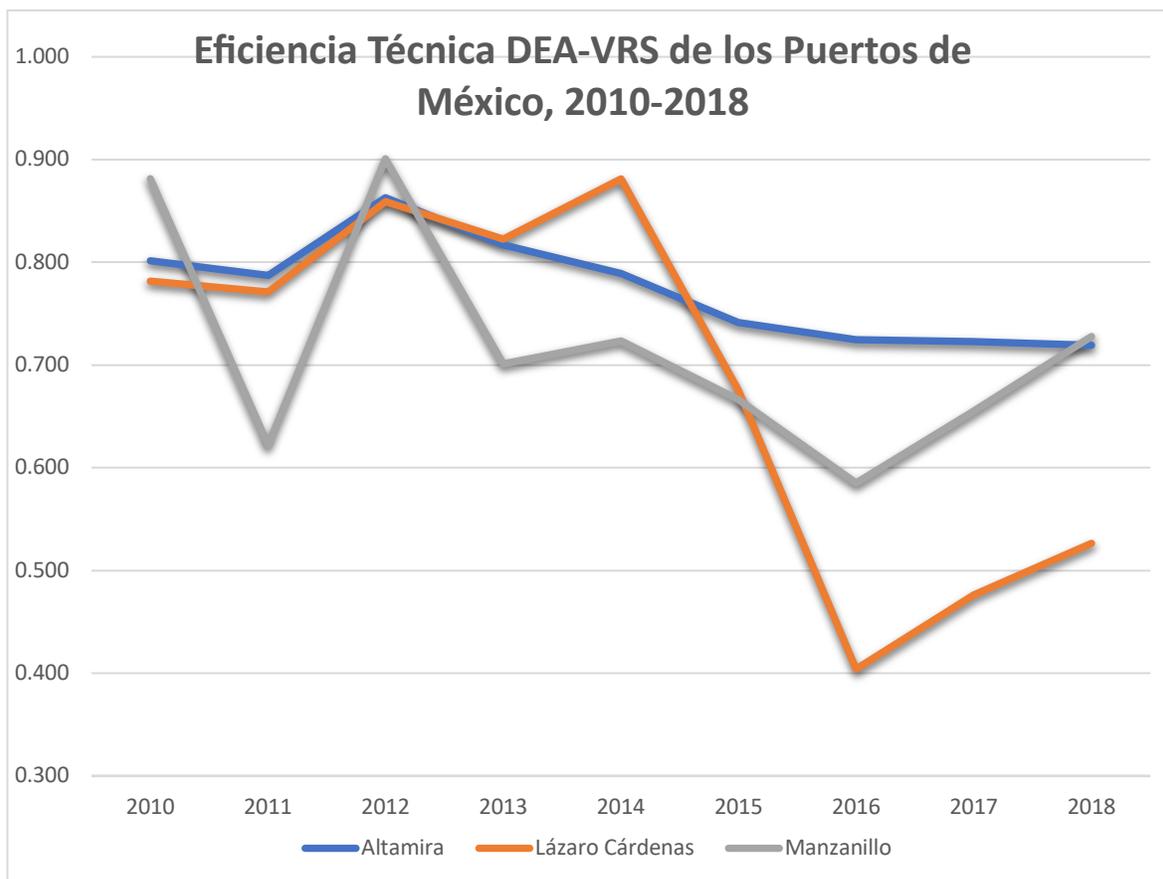
Gráfica 8. Eficiencia Técnica DEA-VSR de los Puertos de América del Norte, 2010-2018.



Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

En el caso particular de los puertos mexicanos, se puede observar que existe una tendencia así la baja, entre los tres puertos sujetos a estudio en esta investigación, aquí resalta el puerto de Altamira ubicado en las costas del Golfo de México, este puerto en promedio fue más eficiente que el puerto de Manzanillo y el puerto de Lázaro Cárdenas, ambos ubicado en el cuenca del pacífico, cabe resaltar que Altamira es de los tres el puerto con la menos cantidad de grúas pórtico y también el puerto con el menor número de terminales especializadas en contenedores. Lo anterior indica que Altamira a pesar de sus limitaciones, ha utilizado de una forma más eficiente sus recursos, para realizar su actividad económica. El puerto de Lázaro Cárdenas es el menos eficiente de los puertos mencionados, obteniendo una caída muy significativa durante el periodo de 2014 a 2016 (véase Gráfica 9).

Gráfica 9. Eficiencia Técnica DEA-VRS de los Puertos mexicanos, 2010-2018.



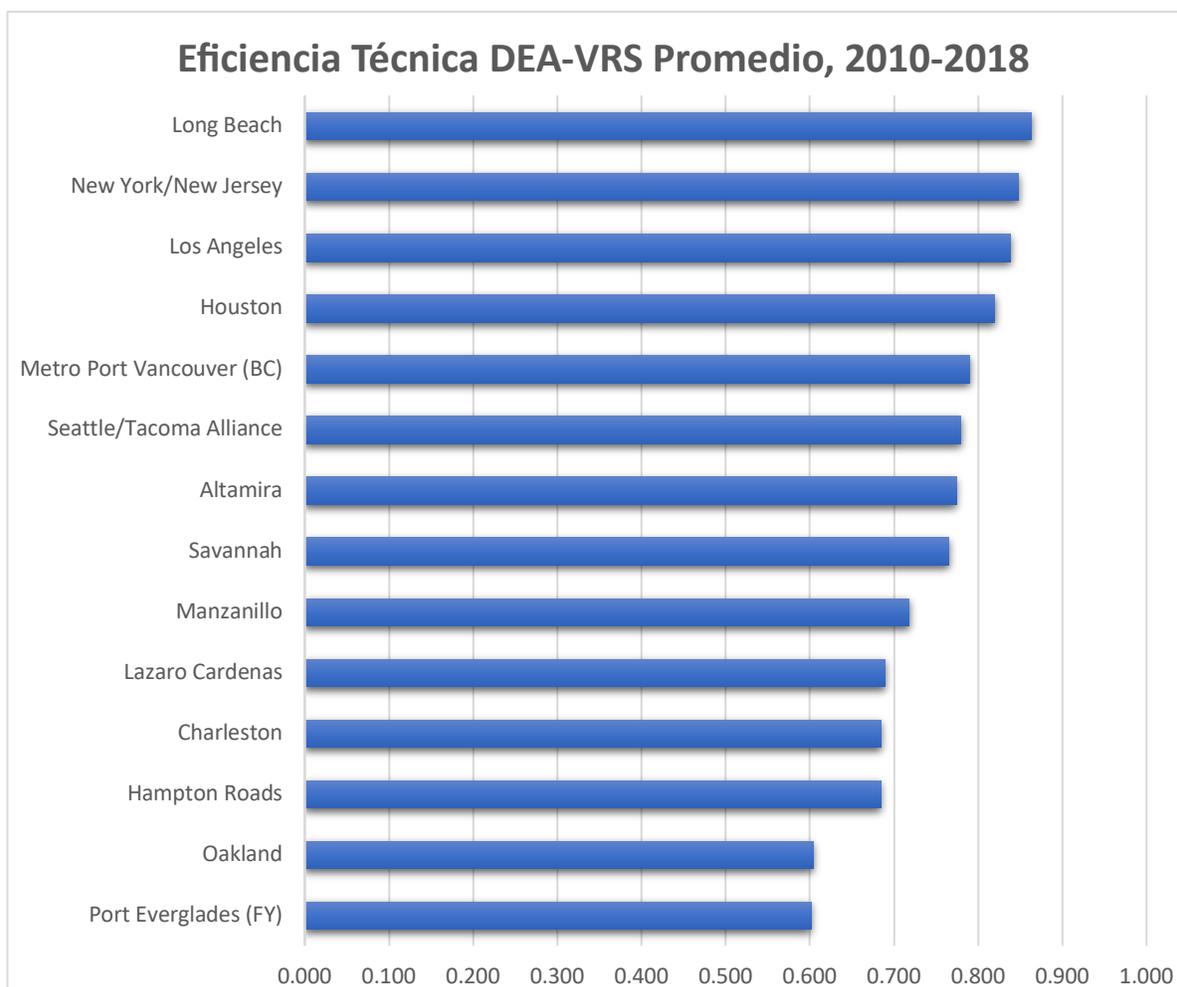
Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

Ninguno de los puertos de América del Norte fue eficiente durante el periodo de 2010 a 2018. El puerto con el mejor desempeño durante este periodo fue el puerto estadounidense de Long Beach, obteniendo un valor promedio de 0.863, seguido de los puertos de New York/New Jersey, Los Ángeles y Houston, estadounidense también, con valores de 0.848, 0.839 y 0.820 respectivamente. El único puerto canadiense sujeto a este estudio fue el puerto de Vancouver con un valor promedio de 0.790. El puerto con el peor valor en términos de eficiencia en este periodo fue, el puerto de Everglades (estadounidense) obteniendo 0.602.

Existen 4 puertos, dentro del intervalo de eficiencia que va de 0.8 al 0.9 siendo estos puertos los siguientes: El puerto de Long Beach, el puerto de New York/New Jersey, el puerto de Los Ángeles y el puerto de Houston; dentro del intervalo de eficiencia que va de 0.7 a 0.8 se ubican 5 puertos los cuales se mencionan a continuación: El puerto de Vancouver, el puerto

de Seattle/Tacoma, el puerto de Altamira, el puerto de Savannah y el puerto de Manzanillo. Por ultimo, el puerto de Lázaro Cárdenas, el puerto Charleston, el puerto de Hampton Roads, el puerto de Oakland y el puerto de Everglades se sitúan en el intervalo de 0.6 a 07. Cabe mencionar que ninguno de los puertos mexicanos se ubica dentro de los 5 primeros lugares de eficiencia portuaria (véase Gráfica 10).

Gráfica 10. Eficiencia Técnica DEA-VRS Promedio, 2010-2018.



Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

De todo el análisis anterior, se puede afirmar que ninguna de las terminales de contenedores de los puertos, de este estudio, fue eficiente, por lo tanto se cumple la hipótesis planteada en esta investigación, que las terminales de contenedores no fueron eficientes durante el periodo de 2010 a 2018.

6.2 El índice Malmquist

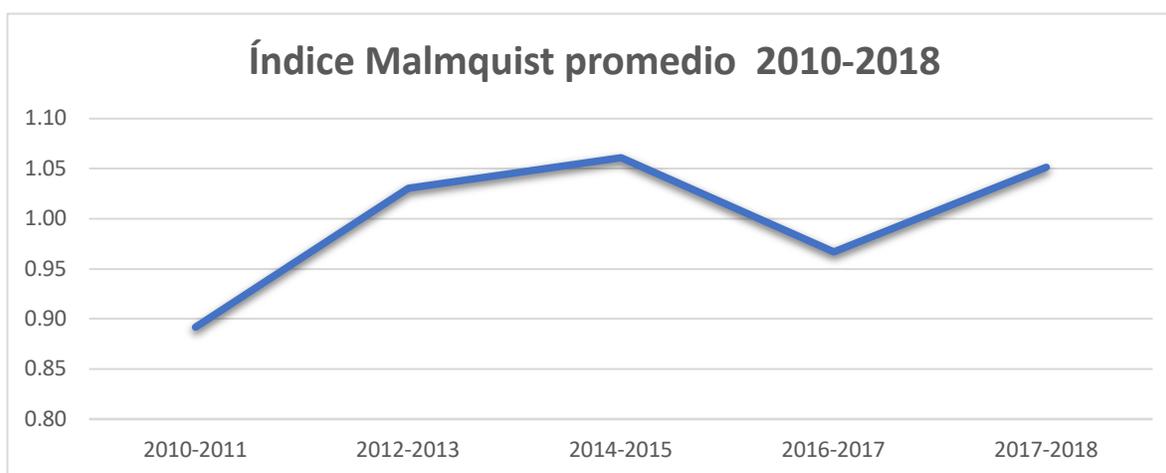
En relación con la PTF, se observa que durante el periodo estudiado existe una tendencia a la alta (tabla 5), los puertos de Los Ángeles, Hampton Roads, Houston, Long Beach, Oakland y Vancouver obtuvieron valores superiores a la unidad, lo que indica que se ha producido un incremento en la productividad durante este lapso de tiempo.

Los puertos de New York/New Jersey, Lázaro Cárdenas, Seattle/Tacoma Alliance, Port Everglades, Savannah, Charleston, Manzanillo y Altamira obtuvieron valores por de bajo de la unidad, lo que quiere decir que ninguno de estos puertos a 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 esta integrado por puertos estadounidenses, en otras palabras, 5 de los 6 puertos con una mejora en la productividad son de origen estadounidenses.

En su contra parte, el 57% de la muestra restante, que comprende de 8 puertos, no tuvieron una mejora en su productividad portuaria, 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.

Gráfica 11. Productividad Portuaria Promedio de los principales puertos de América del Norte, 2010-2018.



Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

La mejora en la productividad portuaria es el reflejó la recuperación de la economía mundial y el aumento de los intercambios comerciales. El lapso en Norteamérica con el mejor cambio en productividad portuaria en promedio fue el de 2014-2015, obteniendo un valor de 1.06, mientras que el peor desempeño fue de 2010-2011, cabe recordar que este periodo es posterior a la crisis global de 2008, iniciada es Estados Unidos. En promedio América del Norte no a tenido una mejora, ni tampoco un retroceso en su productividad.

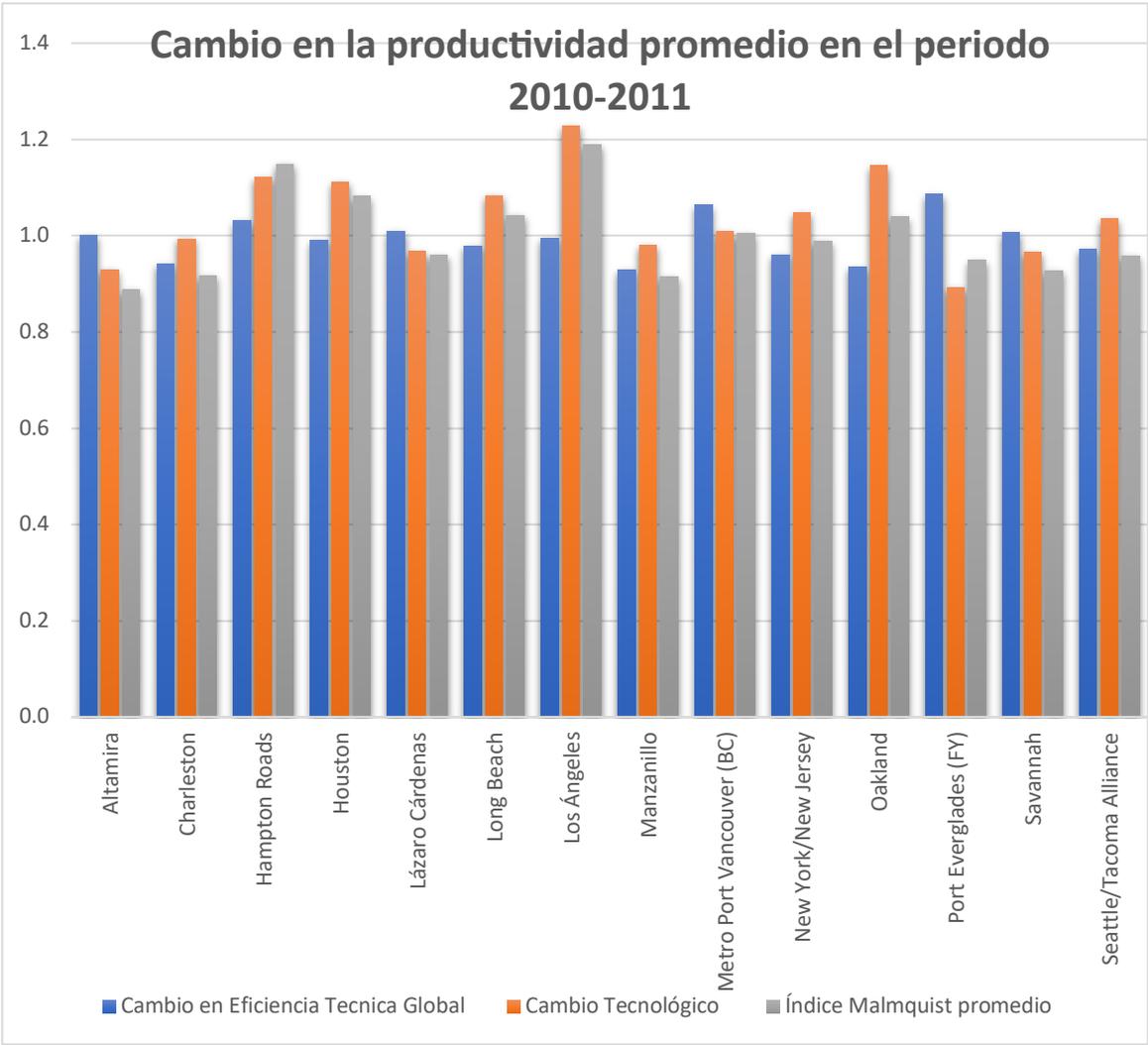
Tabla 12. Índice Malmquist de los principales puertos de América del Norte, 2010-2018.

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 los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

En la gráfica 12, se observa como el cambio tecnológico y el cambio en la eficiencia técnica VRS tuvieron un comportamiento opuesto a la productividad, ya que la eficiencia técnica tuvo una tendencia decreciente en casi todo el periodo, mientras que el 50% de los puertos presentaron progreso tecnológico, sobresaliendo Los Ángeles, Oakland, Hampton Roads, Houston, Long Beach, New York/New Jersey y Seattle/Tacoma Alliance. El puerto de Everglades fue el puerto que tuvo el mayor descenso tecnológico, debido a su mínima innovación, lo que se expresó en la tendencia negativa en la movilización de contenedores.

Gráfica 12. Cambio en la productividad promedio en el periodo 2010-2018.



Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

6.3 Productividad Total de los Factores por periodos

Debido a la necesidad de puertos más competitivos para responder a las crecientes y complejas demandas del mercado, la investigación sobre eficiencia y productividad portuaria se ha convertido en una prioridad para los sectores público y privado.

Si bien los resultados obtenidos en esta investigación dan cuenta de que América del Norte en promedio no ha tenido una mejora en la productividad portuaria en el periodo de estudio 2010-2018, el cambio en la productividad muestra diferentes comportamientos en cada uno de los periodos analizados. En el periodo 2010-2011, se dieron muy pocos incrementos en la productividad debido a una disminución del índice tecnológico en la mitad de los puertos, ya que la inversión pública fue prácticamente nula debido principalmente a la contracción económica que hubo en el año 2008, donde se vio afectado el dinamismo del comercio mundial de mercancías, 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. (véase tabla 13).

Tabla 13. Productividad portuaria 2010-2011.

Productividad portuaria 2010-2011			
DMU	Cambio en eficiencia	Cambio Tecnológico	Índice Malmquist
Altamira	0.999	0.461	0.455
Charleston	1.008	0.891	0.880
Hampton Roads	0.980	1.031	1.009
Houston	1.003	1.002	1.002
Lázaro Cárdenas	1.008	0.870	0.861
Long Beach	0.942	0.991	0.928
Los Ángeles	0.977	1.026	0.991
Manzanillo	0.716	0.900	0.640
Metro Port Vancouver (BC)	0.985	1.009	0.993

New York/New Jersey	0.991	1.014	0.989
Oakland	0.997	1.012	1.008
Port Everglades (FY)	1.131	0.617	0.696
Savannah	1.006	0.967	0.949
Seattle/Tacoma Alliance	0.890	1.260	1.082
Promedio	0.974	0.932	0.892

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

En el periodo 2012-2013, después del repunte económico de 2010-2011, se volvió a manifestar cierta incertidumbre y el temor a una nueva recesión mundial. Las elecciones en Estados Unidos y el nuevo gobierno entrante en México, fueron factores políticos que marcaron el rumbo económico de la región. Los puertos tuvieron en promedio una mejora en el cambio en la productividad, sobresaliendo Los Ángeles, Long Beach y Altamira, el primer puerto debido principalmente a su enorme progreso tecnológico durante el periodo, los otros dos de igual forma, pero en menor medida (véase tabla 14).

Tabla 14. Productividad portuaria 2012-2013.

Productividad portuaria 2012-2013			
DMU	Cambio en eficiencia	Cambio Tecnológico	Índice Malmquist
Altamira	0.962	1.276	1.185
Charleston	1.019	0.921	0.917
Hampton Roads	0.863	1.126	0.970
Houston	0.979	1.021	0.996
Lázaro Cárdenas	0.975	0.999	0.943
Long Beach	1.053	1.298	1.324
Los Ángeles	0.961	2.068	1.930
Manzanillo	0.779	0.939	0.730
Metro Port Vancouver (BC)	1.355	0.692	0.934

New York/New Jersey	0.857	1.180	1.003
Oakland	0.621	1.399	0.867
Port Everglades (FY)	1.208	0.838	1.008
Savannah	0.967	0.974	0.909
Seattle/Tacoma Alliance	0.948	0.779	0.714
Promedio	0.968	1.108	1.031

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

En el siguiente periodo 2014-2015, se mantiene con un aumento promedio en la productividad, donde destacan los puertos Hampton Roads, Oakland y Houston, el primero gracias a su mejora en la eficiencia, el segundo debido a su progreso tecnológico y mejora en su eficiencia, el tercero en gran medida al cambio tecnológico. Si bien el puerto de Los Ángeles tuvo una mejora en productividad no se dio al mismo nivel que en el periodo anterior, por el contrario, obtuvo un retroceso muy grande (véase tabla 15).

Tabla 15. Productividad portuaria 2014-2015.

Productividad portuaria 2014-2015			
DMU	Cambio en eficiencia	Cambio Tecnológico	Índice Malmquist
Altamira	0.964	1.080	0.963
Charleston	0.697	1.125	0.782
Hampton Roads	1.565	1.108	1.728
Houston	1.019	1.477	1.456
Lázaro Cárdenas	0.775	1.033	0.792
Long Beach	0.998	1.065	1.011
Los Ángeles	1.031	1.058	1.060
Manzanillo	0.922	1.050	0.966
Metro Port Vancouver (BC)	0.918	1.050	0.961

New York/New Jersey	1.057	0.924	0.963
Oakland	1.387	1.307	1.670
Port Everglades (FY)	0.600	1.055	0.631
Savannah	0.971	1.014	0.887
Seattle/Tacoma Alliance	0.957	1.123	0.981
Promedio	0.990	1.105	1.061

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

En el periodo 2016-2017 se observa también que el progreso tecnológico fue menor que en los periodos anteriores al igual que la productividad, la cual decreció con respecto al periodo anterior. En este periodo destacan los puertos de Everglades, Lázaro Cárdenas, Manzanillo, Savannah y Altamira, los 5 puertos mencionados obtuvieron este progreso debido al cambio en la eficiencia obtenido con respecto al periodo de 2014-2015.

Tabla 16. Productividad portuaria 2016-2017.

Productividad portuaria 2016-2017			
DMU	Cambio en eficiencia	Cambio Tecnológico	Índice Malmquist
Altamira	1.066	0.828	0.831
Charleston	0.955	1.044	0.995
Hampton Roads	0.898	1.161	1.034
Houston	0.972	0.939	0.874
Lázaro Cárdenas	1.184	0.904	1.066
Long Beach	0.927	1.051	0.965
Los Ángeles	0.999	0.985	0.963
Manzanillo	1.122	1.009	1.129
Metro Port Vancouver (BC)	0.818	1.295	0.978
New York/New Jersey	0.929	0.993	0.906
Oakland	0.763	0.861	0.619

Port Everglades (FY)	1.295	0.895	1.154
Savannah	1.073	1.003	1.020
Seattle/Tacoma Alliance	1.046	1.014	1.008
Promedio	1.003	0.999	0.967

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

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 (véase tabla 17.). 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. Este periodo es el único que no fue liderado por un puerto de origen estadounidense, también es importante mencionar que durante este lapso los puertos de Manzanillo y Lázaro Cárdenas mantienen la tendencia en cuanto a progreso productivo.

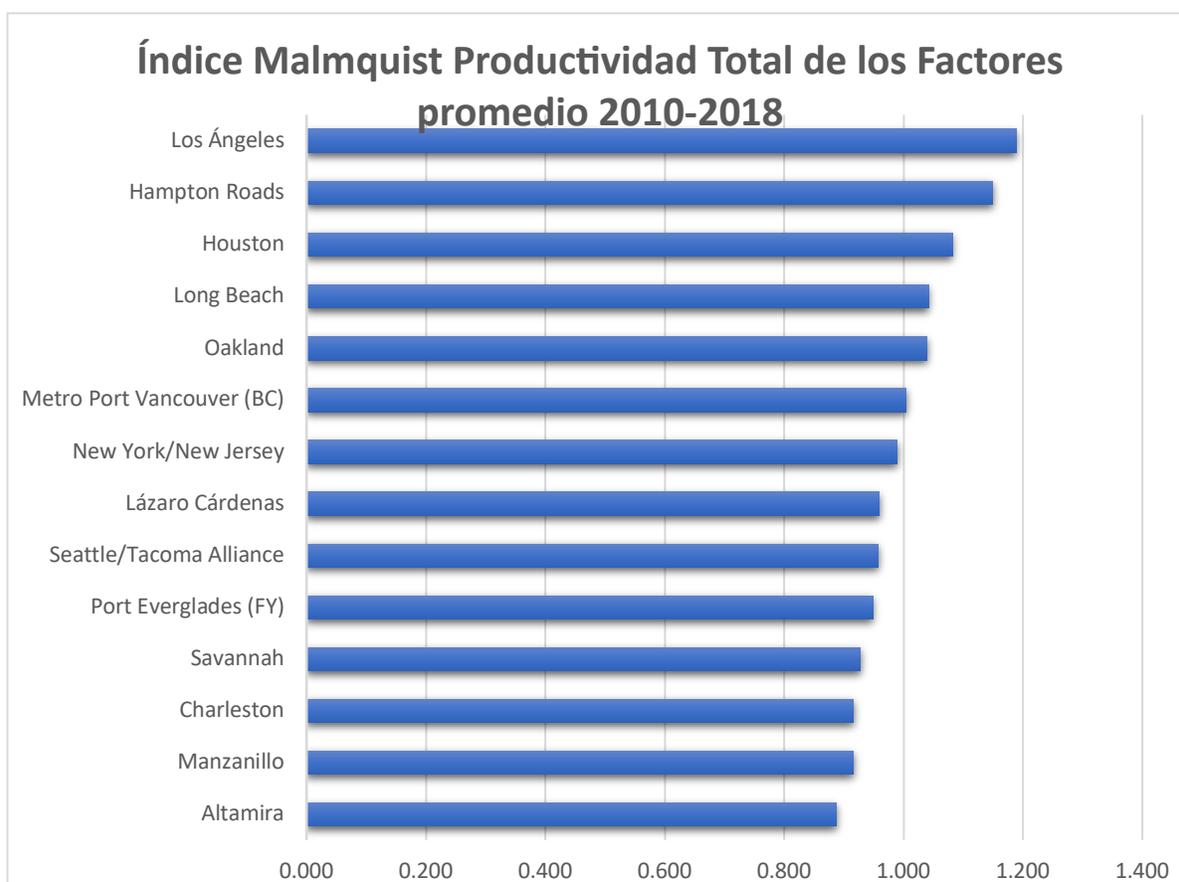
Tabla 17. Productividad portuaria 2017-2018.

Productividad portuaria 2017-2018			
DMU	Cambio en eficiencia	Cambio Tecnológico	Índice Malmquist
Altamira	1.010	1.005	1.001
Charleston	1.026	0.986	1.008
Hampton Roads	0.852	1.184	1.005
Houston	0.981	1.121	1.081
Lázaro Cárdenas	1.104	1.029	1.135
Long Beach	0.973	1.014	0.980
Los Ángeles	1.008	1.004	1.000

Manzanillo	1.108	1.003	1.111
Metro Port Vancouver (BC)	1.243	0.994	1.153
New York/New Jersey	0.967	1.133	1.084
Oakland	0.903	1.146	1.031
Port Everglades (FY)	1.196	1.052	1.254
Savannah	1.015	0.874	0.871
Seattle/Tacoma Alliance	1.015	1.002	1.005
Promedio	1.029	1.039	1.051

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

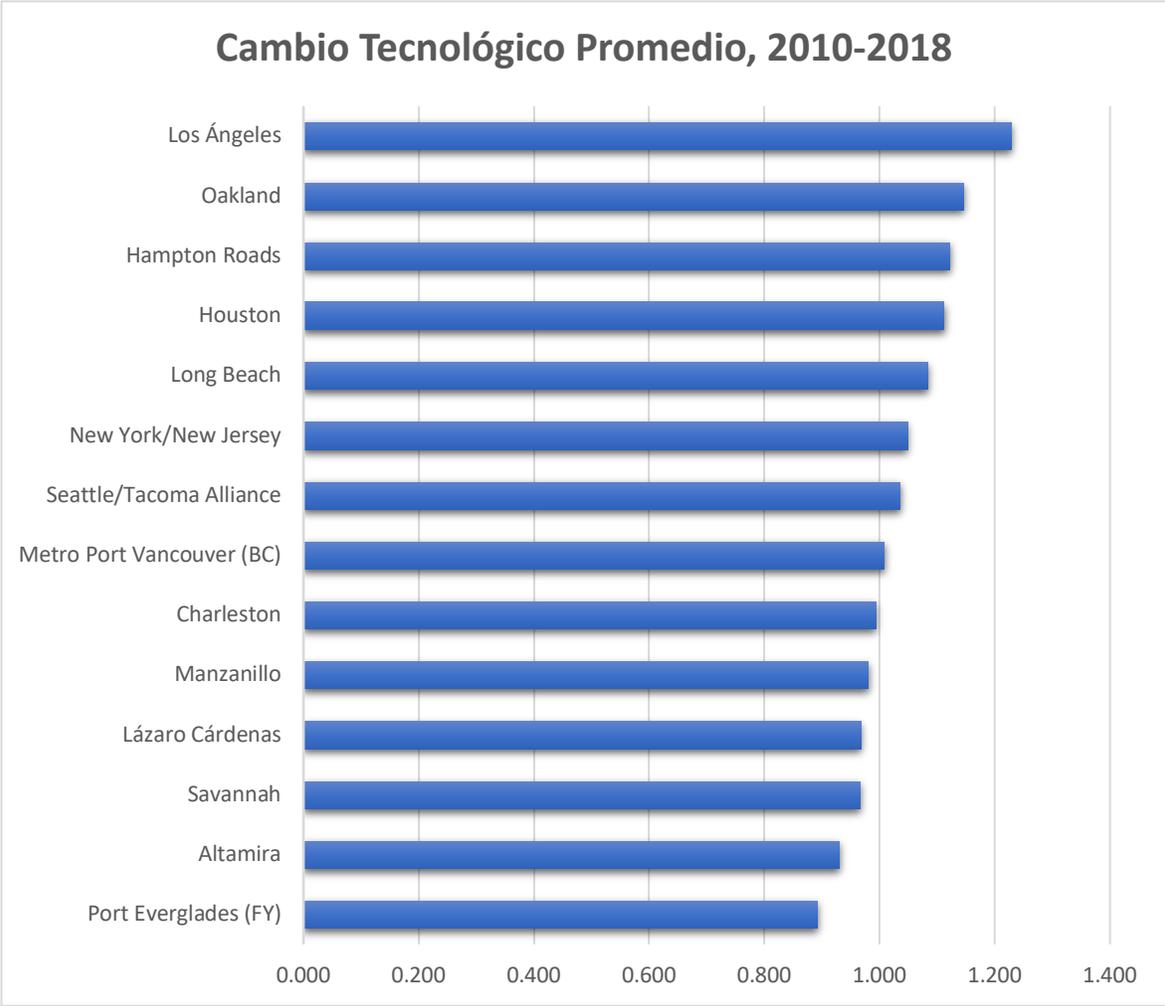
Gráfica 13. Productividad Total de los Factores promedio de los Puerto de América del Norte, 2010-2018.



Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

En general, durante el periodo de 2010-2018, se observa que no se obtuvo un aumento en la productividad, no obstante, tampoco se obtuvo un retroceso en esta, debió en gran medida a que ningún puerto de América del Norte, fue eficiente al utilizar de manera óptima sus insumos. Ahora bien, más de la mitad de los puertos obtuvieron progreso tecnológico, sobresaliendo el puerto de Los Ángeles, que fue el puerto con el mayor progreso tecnológico. Mientras que en el lado opuesto se encuentra el puerto Everglades, quien obtuvo una reducción en la productividad por su mínima innovación, lo que se vio reflejado en su baja movilización de contenedores.

Gráfica 14. Cambio Tecnológico Promedio, 2010-2018.



Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

Tabla 18. Cambio en la productividad promedio en el periodo 2010-2018.

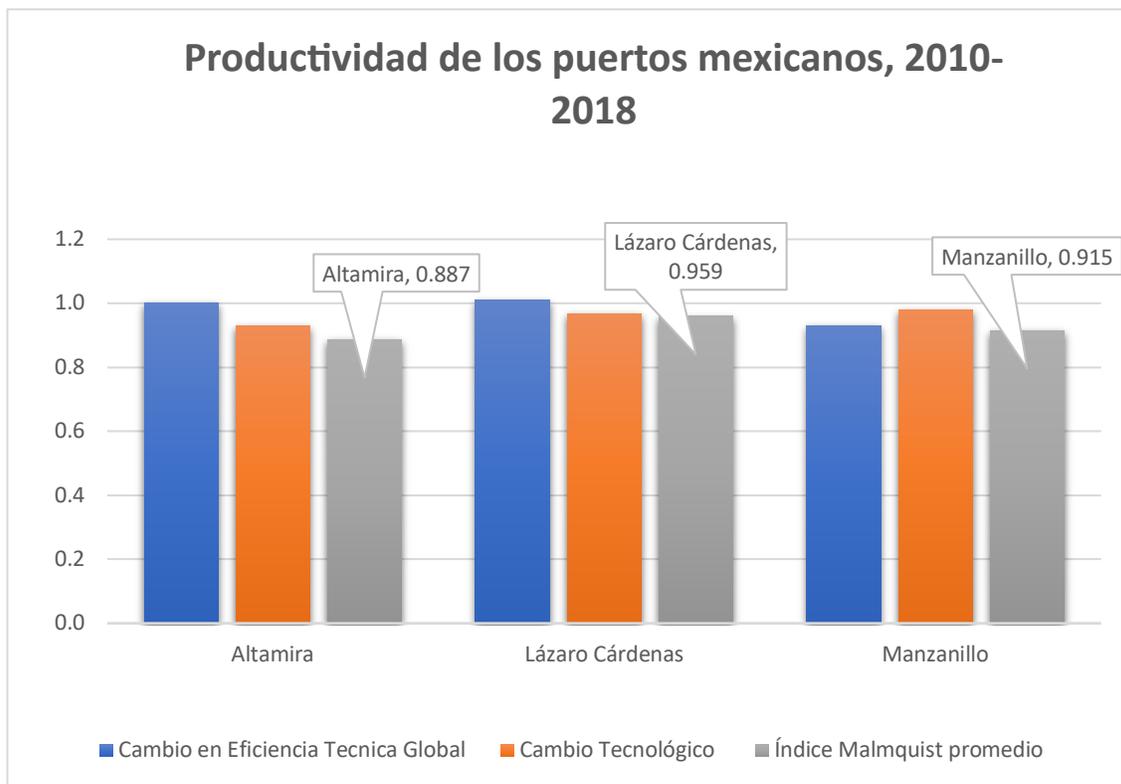
Cambio en la productividad promedio en el periodo 2010-2018			
DMU	Cambio en Eficiencia	Cambio Tecnológico	Índice Malmquist promedio
Altamira	1.000	0.930	0.887
Charleston	0.941	0.994	0.916
Hampton Roads	1.031	1.122	1.149
Houston	0.991	1.112	1.082
Lázaro Cárdenas	1.009	0.967	0.959
Long Beach	0.979	1.084	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 los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

Finalmente, se puede determinar que, en promedio, el cambio tecnológico fue quien determino 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.

En el caso específico de los puertos mexicanos, debemos recordar que ninguno de los 3 puertos fue productivo durante el periodo de estudio, pero, el puerto con el mejor desempeño productivo es el puerto de Lázaro Cárdenas, y el menos productivo es el puerto de Altamira. El puerto de Manzanillo, fue el puerto con la menor mejora en su eficiencia y el puerto de Lázaro Cárdenas fue el que mejor progreso en eficiencia obtuvo. El puerto con el mejor progreso tecnológico fue Manzanillo, y Altamira fue el más deficiente en este rubro.

Gráfica 15. Productividad de los puertos mexicanos, 2010-2018.



Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el trabajo se presentó la medición de la eficiencia técnica de DEA-VRS así como productividad total de los factores (PTF) de los principales puertos de América del Norte en el periodo 2010-2018, utilizando el índice de Malmquist, descompone los cambios en la productividad en dos factores: cambios en la eficiencia (efecto de recuperación) y cambios en la tecnología (cambio de frontera).

Para calcular la eficiencia, se desarrolló un modelo de rendimientos variables a escala orientados a *output*. Se hizo el cálculo del índice Malmquist con las terminales de contenedores de los puertos de Altamira, Charleston, Hampton Roads, Houston, Lázaro Cárdenas, Long Beach, Los Ángeles, Manzanillo, Vancouver, New York/New Jersey, Oakland, Everglades, Savannah y Seattle/Tacoma Alliance, utilizando como *inputs* el número de terminales especializadas en contenedores, el índice de conectividad del transporte marítimo de línea portuaria y el índice laboral de carga, y como *output* el número de contenedores movilizados anualmente.

En los resultados obtenidos sobre la eficiencia en el periodo 2010-2018 se observa que, al inicio del periodo, los puertos más eficientes fueron Houston y Long Beach, y el más ineficiente, Everglades. Al final del periodo los puertos más eficientes fueron Everglades, Long Beach y Los Ángeles, y el más ineficiente fue el puerto de Oakland.

En cuanto al índice Malmquist, 6 de los 14 puertos tuvieron un incremento en la PTF. El puerto con un mayor aumento en la PTF fue el de Los Ángeles, lo que se debió en gran medida a las inversiones que se hicieron en infraestructura y tecnología, que reflejan un mayor movimiento de contenedores anualmente. En el lado opuesto, el puerto que tuvo una reducción en su productividad y sus resultados se ubicaron por debajo de la unidad fue el puerto de Everglades, sin embargo, durante este periodo se observa una tendencia al alta en cuanto al movimiento de contenedores.

Durante el periodo estudiado no hubo ningún puerto que fuera eficiente, en otras palabras, todos los puertos de América del Norte son ineficientes. El año más eficiente fue el 2012, siendo Oakland el puerto más eficiente de ese año, mientras que el menos eficiente durante ese año fue, el puerto de Everglades. El año menos eficiente fue el año 2017, colocándose el puerto de Long Beach con el mejor desempeño, en contraste con el puerto de Lázaro Cárdenas, que durante ese año tuvo el peor resultado de eficiencia,

El periodo que tuvo los niveles más altos en el cambio en la eficiencia técnica fue de 2017-2018; en estos años, la mayoría de los puertos optimizaron mejor sus recursos. En contraste, el periodo donde hubo menor crecimiento fue de 2012-2013: marcado por el temor a una nueva recesión mundial en medio de las elecciones en Estados Unidos y el nuevo gobierno en México.

En el caso del cambio tecnológico, fue 2012-2013 el periodo donde la mitad de los puertos tuvieron un mejor desempeño tecnológico, a diferencia del periodo 2010-2011, donde no se registró la misma cantidad de puertos con una mejora en desarrollo tecnológico, pero a niveles inferiores a los del periodo posterior.

El índice Malmquist durante el periodo 2010-2018, fue en promedio de 1.000, no se obtuvo un valor superior a la unidad, lo que indica que no se registró un crecimiento promedio en la productividad. Asimismo, los resultados de este estudio muestran que los cambios tecnológicos explican los cambios en la PTF. En la mayoría de los puertos los valores del cambio tecnológico fueron superiores a 1, mientras que los valores en la eficiencia técnica se ubicaron por debajo de la unidad. En promedio el valor en el cambio en la eficiencia técnica fue de 0.993, en tanto que el cambio tecnológico se situó en 1.037. En este sentido, la hipótesis planteada en el trabajo se confirma, según la cual la PTF —expresada a través del índice Malmquist— en los puertos marítimos de América del Norte se encuentra determinada por el cambio tecnológico.

En resumen, el trabajo aquí presente cumple las hipótesis planteadas al inicio de esta investigación; El número de terminales especializadas en contenedores, el índice de conectividad de transporte marítimo de línea portuaria y el índice laboral de carga, fueron los

principales factores que determinaron la eficiencia en las terminales de contenedores de los principales puertos de América del Norte, en el periodo de estudio. El cambio tecnológico fue el que incidió en la Productividad Total de los Factores de los puertos estudiados durante el periodo de 2010 a 2018.

La política económica portuaria en América del Norte, debe ir dirigida a fortalecer el desarrollo portuario, mediante planes maestros de desarrollo, promoviendo las actividades que generen un valor agregado a las operaciones en las terminales especializadas en contenedores, con la participación de los gobiernos de cada uno de los países que integran este bloque comercial y de la inversión privada, para que de esta manera, se incremente la infraestructura portuaria, específicamente para optimizar la capacidad de manejo de contenedores, y se desarrollen puertos tecnológicamente adaptados para las necesidades cada vez más demandantes del comercio marítimo internacional.

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. Además, el nivel de descomposición que se puede lograr con el índice puede abordar deficiencias futuras específicas; en este caso particular, la productividad y sus componentes son una de las áreas básicas de cualquier economía, como el 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 estén comprometidos en implementar estrategias encaminadas a corregir la ineficiencia del sector portuario en la región, donde la inversión en infraestructura y el uso óptimo de grúas pórtico serán aspectos fundamentales a considerar, lo que hace que esta labor sea muy importante.

Recomendaciones

Como futuras líneas de investigación, es importante continuar con trabajos complementarios a este tema, ampliando el periodo de estudio y analizar de qué manera incide la pandemia global del COVID-19 en este sector de la economía. Es necesario investigar la Productividad Total de los Factores con un enfoque paramétrico, ya sea con la metodología del Análisis de

Frontera Estocástica o con un modelo meramente econométrico, para de esta forma obtener un panorama más amplio sobre el estudio de las terminales de contenedores de los puertos de esta región tan importante como lo es América del Norte.

BIBLIOGRAFÍA

- 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>
- Aigner, D., & Chu, S. (1968). On Estimating the Industry Production Function. *American Economic Review*, vol. 52, núm. 4, 762-782.
- Almawshe, E., & Shah, M. (2014). Technical Efficiency Analysis of Container Terminals in the Middle Eastern Region. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 477-486.
- Bain, D. (1982). *Productividad: Solución a Problemas de la Empresa*. México: Mc Graw-Hill.
- Banker, R., Charnes, A., & Cooper, W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*(30(9)), 1078–1092.
- Barros, C. P. (2005). Decomposing Growth in Portuguese Seaports: A Frontier Cost Approach. *Maritime Economics & Logistics*, 297-315.
- Battese, G., & Coelli, T. (1992). Frontier Production Functions, Technical Efficiency and Panel Data: With Application to Paddy Farmers in India”,. *Journal of Productivity Analysis*, 3, 153-169.
- Bichou, K. (2013). An empirical study of the impacts of operating and market conditions on container-port efficiency and benchmarking. *Research in Transport Economics*, 28-37.
- Bray, S., Caggiana, L., Dell’Orcoa, M., & Ottomanellia, M. (2015). Measuring transportation system efficiency un certainty by fuzzy sets theory based Data Envelopment Analysis. *Social an Behavioral Sciences*, 770-779.
- Bruin, J. (2018.). *UCLA: Statistical Consulting Group*. Obtenido de Newtest: Command to Compute New Test: [http:// www.ats.ucla.edu/stat/stata/ado/analysis/](http://www.ats.ucla.edu/stat/stata/ado/analysis/)

- 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.
- 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>
- Charnes, A., Cooper, W., & Rhodes, E. (1978). Measurement the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*(2), 429–444.
- Christensen, L., Jorgenson, D., & L., L. (1973). Transitional Logarithmic Production Frontiers. *Review of Economics and Statistics*, vol. 55, núm. 2, 18-22.
- Coelli, T. J., Prasada, D., O'Donnell, C., & Battese, G. E. (2005). *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis* (Vol. 2a edición). Estados Unidos: Springer.
- Coelli, T., Prasada Rao, D., & Battese, G. E. (1998). *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*. Boston: Kluwer Academic Publisher.
- Coelli, T., Prasada Rao, D., & Battese, G. E. (2005). *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis* (Vol. 2ª ed). New York, Estados Unidos: Springer.
- Coll, V., & Blasco, O. (2006). Frontier Analyst. Una herramienta para medir la eficiencia. Obtenido de: www.eumed.net/libros/2006c/206/.
- Coto-Millan, P., Banos-Pino, J., & Ana, R.-A. (2000). Economic efficiency in Spanish ports: some empirical evidence. *Maritime Policy & Management: The flagship journal of international shipping and port research*, 169-174.
- Cullinane, K., & Song, D.-W. (2003). A stochastic frontier model of the productive efficiency of Korean container terminals. *Applied Economics*, 251-267.
- Cullinane, K., & Song, D.-W. (2003). A stochastic frontier model of the productive efficiency of Korean container terminals . *Applied Economics*, 251-267.

- Cullinane, K., Song, D.-W., & Gray, R. (2002). A stochastic frontier model of the efficiency of major container terminals in Asia: assessing the influence of administrative and ownership structures. *Transportation Research Part A*, 743-762.
- Cullinane, K., Song, D.-W., Ji, P., & Wang, T.-F. (2 de Junio de 2004). An application of DEA Windows Analysis to Container Port Production Efficiency. *Review of Network Economics School of Marine Science & Technology*, 3.
- Cullinane, K., Wang, T.-F., Song, D.-W., & Ji, P. (2006). The technical efficiency of container ports: Comparing data envelopment analysis and stochastic frontier analysis. *Transportation Research Part A*, 354–374.
- Debreu, G. (1951). The coefficient of resource utilization. *Econometrica*, (19(3)), 273–292.
- Delfín Ortega, O. V., & 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. *UNAM Contaduría y Administración*, 663–685.
- Delfin Ortega, O. V., & Navarro Chávez, J. C. (2016). La eficiencia de los puertos en la región del APEC, 2005-2013: una medición a través del Análisis de la Frontera Estocástica (sfa). *México y la Cuenca del Pacífico*.
- Díaz Bautista, A. (2009). México y la política económica portuaria internacional. *Banco Nacional de Comercio Exterior*, 59(9).
- Doerr, O., & Sánchez, R. (2006). Indicadores de productividad para la industria portuaria. Aplicación en América Latina y el Caribe. *CEPAL-Recursos naturales e infraestructura*(112).
- 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>
- Estache, A., González, M., & Trujillo, L. (2002). Efficiency Gains from Port Reform and the Potential for Yardstick Competition: Lessons from Mexico. *World Development Vol. 30*, 545-560.

- 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.
- Farrell, M. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society, Serie A 120 Part III.*, 253–267.
- Georgia Ports Authority. (2019). *ABOUT: Georgia Ports Authority*. Obtenido de Georgia Ports Authority: <http://gaports.com/about>
- Gobierno de México. (2016). *CLAN2016 Prosperidad económica, comercio y competitividad: Gobierno de México*. Obtenido de Gobierno de México: <https://www.gob.mx/epn/documentos/clan2016-prosperidad-economica-comercio-y-competitividad>
- González, M., & Trujillo, L. (2007). Efficiency Measurement in the Port Industry: A Survey of the empirical evidence. *Working Papers 07/08*.
- Government of Canada. (2019). *Backgrounder on Canada's port system: Government of Canada*. Obtenido de Government of Canada: <https://www.tc.gc.ca/eng/backgrounder-canada-port-system.html>
- Greene, W. (2003). Simulated Likelihood Estimation of the NormalGamma Stochastic Frontier Function. *Journal of Productivity Analysis, vol. 19*, 179-190.
- Greene, W. (2003). Simulated Likelihood Estimation of the NormalGamma Stochastic Frontier Function. *Journal of Productivity Analysis, 19*, 179-190.
- Guimaraes, V., Juniorb, I., & Garcia, P. (2014). Environmental performance of Brazilian container terminals: a data envelopment analysis approach. *Social an behavioral Sciences*, 178-187.
- Gujarati, D., & Porter, D. (2010). *Econometria*. México: McGrawHill.

- Gutiérrez, H. (1997). *Calidad total y productividad*. México: McGraw-Hill.
- Hai-Bo, k., & He-Zhong, L. (2009). Research on X-efficiency Measurement of Chinese Ports. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 29, 1-9.
- Hair, J., Anderson, R., Tatham, R., & Black, W. (1999). *Análisis multivariante* (Vol. Quinta ed.). Madrid: Prentice Hall Iberia.
- Hernández Arce, J. (2007). *Enfoques alternativos para la estimación de eficiencias en la industria bancaria mexicana*. México: Edición electrónica. Texto completo en www.eumed.net/libros/2007a/241/.
- Hernández Laos, E. (1993). *Evolución de la PTF en la economía mexicana (1970-1989)*. México: Secretaria del Trabajo y Prevención Social.
- Hernández. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: McGraw-Hill.
- Huesca, C. (2012). *Comercio Internacional*. México: RED TERCER MILENIO S.C.
- Hulten, C. (2000). Total factor productivity: a short biography. *NBER Working paper series(7471)*, 1-74.
- Hulten, C. R. (2000). *Total Factor Productivity: A Short Biography*. Cambridge: National Bureau of Economic Research, Inc.
- Jondrow, J., Lovell, K., Materov, I., & Schmidt, P. (1982). On the Estimation of Technical Inefficiency in the Stochastic Frontier Production Function Model. *Journal of Econometrics*, 19, 233-238.
- Kaiser, H. (1958). The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika(23(3))*, 187-200.
- Kendrick, J. (1961). *Productivity trends in the United States*. Massachusetts: NBER.
- Kline, P. (1994). *An easy guide to factor analysis*. Estados Unidos: Routledge.
- Koontz, H., Weihrich, H., & Cannice, M. (2012). *Administración una perspectiva global y empresarial*. México: McGraw-Hill.

- Krugman, P., Obstfeld, M., & Melitz, M. (2012). *Economía internacional: teoría y política* (Vol. 9 ed). Madrid, España: Pearson.
- Kumbhakar, S., & Lovell, K. (2000). *Stochastic Frontier Analysis*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Kumbhakar, S., & Lovell, K. (2004). *Stochastic Frontier Analysis*. Cambridge University Press.
- Kutin, N., Nguyen, T. T., & Vallée, T. (2017). Relative Efficiencies of ASEAN Container Ports based on Data Envelopment Analysis. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 67-77.
- Li, D., Luan, W., & Pian, F. (2013). The efficiency Measurement of Coastal Container Terminals in China. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 10-15.
- Lim, S., Bae, H., & Lee, L. (2011). A study on the selection of benchmarking paths in DEA. *Expert System with Applications*, 7665-7673.
- López Enriquez, J. (1977). Algunas consideraciones sobre la Organización en el Sistema Portuario Nacional. *Centro Nacional de Enseñanza Técnica Industrial*, 2-4.
- Lozano, S., Villa, G., & Canca, D. (2011). Application of centralized DEA approach to capital budgeting in Spanish ports. *Computer and Industrial Engineering*, 455-465.
- Malmquist, S. (1953). Index numbers and indifference surfaces. *Trabajos de Estadística*(4), 209–242.
- Malpica, G. (2017). Expectativas del comercio marítimo y su aportación al desarrollo nacional. *Autoridad Marítima Nacional, una perspectiva global* (págs. 22-31). México: Instituto de Investigaciones Estratégicas de la Armada de México.
- Marx, K. (1980). *El Capital* (Vol. 2). México: Siglo XXI.
- Moorsteen, R. (1961). On measuring productive potential and relative efficiency. *The Quarterly Journal of Economics*(75(3)), 151–167.

- Navarro, J. C. (1998). Productividad del trabajo, del capital y total de los factores en un modelo cuasi largo plazo. *Ciencia Nicoláita*(18).
- Notteboom, T., Coeck, C., & Van Den Broeck, J. (2000). Measuring and Explaining the Relative Efficiency of Container Terminals by means of Bayesian Stochastic Frontier Models. *IJME*, 83-106.
- Núñez Sánchez, R., & Coto Millán, P. (2012). The impact of public reforma on the productivity of Spanish ports: A parametric distance function approach. *Transport Policy*, 99-110.
- Odeck, J., & Bråthen, S. (2012). A meta-analysis of DEA and SFA studies of the technical efficiency of seaports: A comparison of fixed and random-effects regression models. *Transportation Research Part A*, 1574–1585.
- OMI. (2015). *Sala de prensa: Organización Marítima Internacional*. Obtenido de Organización Marítima Internacional: <http://www.imo.org/es/MediaCentre/PressBriefings/Paginas/47-WMD-theme-2016.aspx>
- OMI. (2015). *Sala de Prensa: Organización Marítima Internacional*. Recuperado de Organización Marítima Internacional: <http://www.imo.org/es/MediaCentre/PressBriefings/Paginas/47-WMD-theme-2016.aspx>
- Organización Internacional del Trabajo . (1996). *Introducción al estudio del trabajo*. Ginebra: Oficina Internacional del Trabajo.
- Otieno, R. K., Khin, L., Hualong, Y., & Banomyong, R. (2011). Sea-Port Operational Efficiency: An Evaluation of Five Asian Ports Using Stochastic Frontier Production Function Model. *Journal of Service Science and Management*, 391-399.
- Port Authority of New York & New Jersey. (2019). *Overview of Facilities and Services: Port Authority of New York & New Jersey*. Recuperado el Octubre de 2019, de Port Authority of New York & New Jersey: <http://www.panynj.gov/about/facilities-services.html>

- Port Everglades. (2019). *Cargo: Port Everglades*. Obtenido de Port Everglades:
<https://www.porteverglades.net/cargo/>
- Port of Halifax. (2019). *About us: Port of Halifax*. Obtenido de Port of Halifax:
<https://www.portofhalifax.ca/about-us/>
- Port of Houston. (2019). *OVERVIEW: Port of Houston*. Obtenido de Port of Houston:
<https://porthouston.com/about-us/>
- Port of Long Beach. (2019). *About the Port: Port of Long Beach*. Obtenido de Port of Long Beach:
<http://www.polb.com/about/default.asp>
- Port of Los Angeles. (2019). *About: Port of Los Angeles*. Obtenido de Port of Los Angeles:
<https://www.portoflosangeles.org/about>
- Port of Montreal. (2015). *THE PORT AT THE HEART OF DAILY LIFE: Port of Montreal*. Obtenido de Port of Montreal.:
https://www.port-montreal.com/files/PDF/publications/2015-07-28_jaquette-corpo-en.pdf
- Port of Nanaimo. (2019). *General Information: Port of Nanaimo*. Obtenido de Port of Nanaimo:
<https://portauthority.npa.ca/en/info-source/>
- Port of Oakland. (2019). *Seaport: Port of Oakland*. Obtenido de Port of Oakland:
<https://www.oaklandseaport.com/>
- Port of Prince Rupert. (2019). *PORT SERVICES: Port of Prince Rupert*. Obtenido de Port of Prince Rupert:
<https://www.rupertport.com/port-services/#bulk>
- Port of Saint John. (2019). *Cargo: Port of Saint John*. Obtenido de Port of Saint John:
<https://www.sjport.com/cargo/>
- Port of Vancouver. (2019). *About Us: Port of Vancouver*. Obtenido de Port of Vancouver:
<https://www.portvancouver.com/about-us/>
- Port of Virginia. (2019). *About: Port of Virginia*. Obtenido de Port of Virginia:
<http://www.portofvirginia.com/about/>
- Portables Rodríguez, G. d. (2012). *Transportación Internacional*. México: Trillas, S.A. de C.V.

- Prokopenko. (1989). *La gestión de la productividad manual práctico*. Ginebra: Organización Internacional del Trabajo.
- Puerto de Altamira. (22 de Enero de 2016). *Acerca del Puerto: Puerto de Altamira*. Obtenido de Puerto de Altamira: <https://www.puertoaltamira.com.mx/esps/0002011/ubicaci%C3%B3n>
- Puerto de Ensenada. (2015). *Acerca del Puerto: Puerto de Ensenada*. Obtenido de Ensenada: <https://www.puertoensenada.com.mx/esps/0000140/ubicacion>
- Puerto de Lázaro Cárdenas. (2013). *Acerca del Puerto: Puerto de Lázaro Cárdenas*. Obtenido de Puerto de Lázaro Cárdenas: <https://www.puertolazarocardenas.com.mx/plc25/acerca>
- Puerto de Manzanillo. (2019). *Acerca del Puerto: Puerto de Manzanillo*. Obtenido de Puerto de Manzanillo: <https://www.puertomanzanillo.com.mx/esps/0020202/ubicacion-y-zona-de-influencia>
- Puerto de Mazatlán. (2018). *Acerca del Puerto: Puerto de Mazatlán*. Obtenido de Puerto de Mazatlán: <https://www.puertomazatlan.com.mx/acerca-del-puerto/>
- Puerto de Progreso. (2010). *Acerca del Puerto: Puerto de Progreso*. Obtenido de Puerto de Progreso: <https://www.puertosyucatan.com/ap/zona.htm>
- Puerto de Veracruz. (2019). *Historia: Puerto de Veracruz*. Obtenido de Puerto de Veracruz: <https://www.puertodeveracruz.com.mx/wordpress/quienes-somos/historia/>
- Quesnay, F. (1846). *Dialogues sur le commerce et les travaux des artisans, en Physicrates*. París.: Diare.
- Ricardo, D. (1985). *Principios de Economía Política y Tributación*. España: Grandes Pensadores.
- Schroeder, R. G., Meyer Goldstein, S., & Rungtusanatham, M. J. (2011). *Administración de Operaciones*. México: McGraw-Hill.
- 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.

SCT. (2017). *Puertos que impulsan nuestra economía: Secretaría de Comunicaciones y Transportes*. Obtenido de Secretaría de Comunicaciones y Transportes: <https://www.gob.mx/sct/articulos/puertos-que-impulsan-nuestra-economia?idiom=es>

SCT. (2017). *Sistema Portuario Nacional: Secretaría de Comunicaciones y Transportes*. Obtenido de Secretaría de Comunicaciones y Transportes: <http://www.sct.gob.mx/puertos-y-marina/puertos-de-mexico/>

Seiford, L., & Thrall, R. (1990). Recent developments in DEA: the mathematical programming approach to frontier analysis. *Econometrics*(4), 7-38.

Sharma, M., & Yu, S. (2010). Benchmark optimization and attribute identification for improvement of container terminals. *European Journal of Operational Research*, 568-580.

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

Smith, A. (1974). *Una investigación sobre la naturaleza y causas de la riqueza de las naciones*. España: Basch Casa editorial S.A.

Solow, R. (Agosto de 1957). Technical change and the aggregate production function. *he Review of Economics and Statistics*, 39(3), 312-320.

South Carolina Ports Authority. (2019). *MISSION AND LEADERSHIP: South Carolina Ports Authority*. Recuperado el Octubre de 2019, de South Carolina Ports Authority: <http://scspa.com/about/mission-and-leadership/>

Sumanth, D. (2003). *Administración para la Productividad Total*. México: CECSA.

Thanassoulis, E. (2001). *Introduction to the theory and application of Data Envelopment Analysis: A foundation text with integrated software*. Birmingham, England: Springer.

- The Northwest Seaport Alliance. (2019). *About Us: The Northwest Seaport Alliance*.
Obtenido de The Northwest Seaport Alliance:
<https://www.nwseaportalliance.com/about>
- Thurstone, L. (1947). *Multiple factor analysis*. Chicago: University of Chicago Press.
- Tongzon, J., & Heng, W. (2005). Port privatization, efficiency and competitiveness: Some empirical evidence from container ports (terminals). *Transportation Research Part A*, 405-424.
- UNCTAD. (2018). *INFORME SOBRE EL TRANSPORTE MARTÍTIMO 2018*. Estados Unidos de América: United Nations Publications.
- Waldman, D. (1982). A Stationary Point for Stochastic Frontier Likelihood. *Journal of Econometrics*(18), 275-279.
- Wanke, P. (2013). Physical infrastructure and shipment consolidation efficiency drivers in Brazilian ports: A two-stage network-DEA approach. *Transport Policy*, 145-153.
- Wilmsmeier, G., Tovar, B., & Sanchez, R. (2013). The evolution of container terminal productivity and efficiency under changing economic environments. *Research in Transportation Business & Management*, 50-66.

ANEXOS

Anexo 1. Abreviaturas para las pruebas Bootstrap.

ABREVIATURA	PUERTO
P01	Altamira
P02	Charleston
P03	Hampton Roads
P04	Houston
P05	Lázaro Cárdenas
P06	Long Beach
P07	Los Ángeles
P08	Manzanillo
P09	Metro Port Vancouver (BC)
P10	New York/New Jersey
P11	Oakland
P12	Port Everglades (FY)
P13	Savannah
P14	Seattle/Tacoma Alliance
ABREVIATURA	DEFINICIÓN
TEU	Contenedores de 20 pies
TRC	Número de terminales especializadas en contenedores
ICM	Índice de conectividad del transporte marítimo de línea portuaria
ILC	Índice laboral de carga=Horas trabajadas anualmente por grúa/Horas que debieron ser trabajadas anualmente por grúa

Fuente: elaboración propia.

Anexo 2. Resultados del límite inferior de Bootstrap periodo 2010-2011.

DMU	LowerBound_Efficiency (2010)	LowerBound_Efficiency (2011)	LowerBound_Efficiency (2011-1)	LowerBound_Efficiency (2010+1)	LowerBound_Efficiency Change (2010 TO 2011)	LowerBound_Technological Change (2010 TO 2011)	LowerBound_Malmquist Index (2010 TO 2011)
P01	0.609276125	0.581904604	0.178250064	1	0.803263455	0.342057368	0.392882186
P02	0.566544237	0.547383266	0.610752957	1	0.807152359	0.60676608	0.766807411
P03	0.656533607	0.63309131	0.659336114	0.61928235	0.930925999	0.936110923	0.987514316
P04	0.910999129	0.895742398	0.90303643	0.868915359	0.941447616	0.869664398	0.970025842
P05	0.569957234	0.549275007	0.588530162	1	0.802345837	0.606818094	0.748234155
P06	0.830798315	0.785884511	0.743559989	0.767186961	0.832176509	0.761324032	0.847644616
P07	0.731281496	0.68729546	0.741629286	0.721734396	0.876106579	0.712331909	0.982223751
P08	0.768238159	0.573897286	0.508344247	1	0.544811987	0.814967134	0.554537635
P09	0.702684733	0.681668339	0.691029324	0.688051197	0.93437514	0.929663295	0.985271349
P10	0.656957205	0.624738736	0.731289288	0.687912422	0.841331314	0.645456684	0.934328983
P11	0.46384884	0.460003097	0.465314458	0.453020158	0.944787717	0.931975385	0.980689748
P12	0.439471756	0.478995692	0.410011799	1	1.03655637	0.557718107	0.661732824
P13	0.535313409	0.514903137	0.557956015	0.608175302	0.79957024	0.543855195	0.911810629
P14	0.695657345	0.534328691	0.890329364	0.584196224	0.726072297	0.780247392	1.035407091

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

Anexo 3. Resultados del límite superior de Bootstrap periodo 2010-2011.

DMU	UpperBound_ Efficiency (2010)	UpperBound_ Efficiency (2011)	UpperBound_ Efficiency (2011-1)	UpperBound_ Efficiency (2010+1)	UpperBound_ Efficiency Change (2010 TO 2011)	UpperBound_ chnological Change (2010 TO 2011)	UpperBound_ Malmquist Index (2010 TO 2011)
P01	1.617734172	1.493096983	0.277054051	1	1.680257858	0.549122864	0.589629532
P02	1.591851642	1.490768157	1.490939758	1	1.725085808	1.346699698	1.188141867
P03	0.734774741	0.756859105	0.730862602	0.746101342	1.075508591	1.081121198	1.018337373
P04	0.99770989	1.102215034	0.990008056	1.101178935	1.139795323	1.071970588	1.017307569
P05	1.593352671	1.469225847	1.265752182	1	1.743011581	1.19923259	1.124536675
P06	1.297038553	1.21753525	1.189077602	1.290174418	1.230775049	1.078010787	0.989570013
P07	1.439914629	1.389683084	1.459120592	1.387787057	1.412851567	1.137891157	1.00721897
P08	1.30882332	0.759986373	0.708824066	1	0.85798915	1.067200652	0.739131452
P09	0.781088362	0.808896259	0.780675107	0.794782823	1.08156271	1.06533853	1.018771326
P10	1.396299005	1.230963869	1.324472086	1.344920704	1.581657428	1.150812928	1.017361467
P11	0.537052633	0.53798891	0.535305687	0.529323604	1.086119075	1.065659494	1.016297326
P12	0.550357902	0.681306427	0.468997823	1	1.371921426	0.659309839	0.774959738
P13	1.556913235	1.474372115	1.622767319	1.57557913	1.780313725	1.22365791	0.999627746
P14	1.310270542	1.474747602	1.505866111	1.389525156	1.431765577	1.48178522	1.126456796

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

Anexo 4. Resultados de la media de Bootstrap periodo 2010-2011.

DM U	Mean_Efficiency (2010)	Mean_Efficiency (2011)	Mean_Efficiency (2011-1)	Mean_Efficiency (2010+1)	Mean_Efficiency Change (2010 TO 2011)	Mean_Technological Change (2010 TO 2011)	Mean_Malmquist Index (2010 TO 2011)
P01	0.801395549	0.787396292	0.209746064	1	0.999074622	0.460859714	0.455096788
P02	0.780397058	0.770446834	0.79951981	1	1.008283585	0.890985657	0.880194974
P03	0.680705058	0.667160512	0.681911982	0.656502157	0.980148349	1.030926099	1.009126223
P04	0.941854681	0.944252822	0.931672661	0.930216313	1.002605657	1.002087605	1.002451854
P05	0.781902505	0.771210533	0.755960154	1	1.007935676	0.87035631	0.861144116
P06	0.912319632	0.856773017	0.82326517	0.90028084	0.941780424	0.990775446	0.92825483
P07	0.862778789	0.840414327	0.874846752	0.864422829	0.977133381	1.025792966	0.991418909
P08	0.88127716	0.622011473	0.575726875	1	0.71560283	0.899733864	0.640344721
P09	0.727841784	0.716850454	0.720548876	0.719780025	0.984993817	1.009152762	0.992780632
P10	0.825277976	0.809159007	0.871537594	0.883144127	0.991064053	1.014097762	0.98859329
P11	0.485510652	0.483935584	0.48643056	0.477171442	0.997222151	1.012039076	1.008060785
P12	0.465743189	0.526985002	0.429541577	1	1.130738597	0.617443066	0.69636169
P13	0.764622898	0.753831752	0.796964803	0.860510282	1.006165036	0.96650883	0.948982764
P14	0.844723879	0.763278851	1.032000447	0.792259307	0.890018454	1.260227719	1.081691274

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

Anexo 5. Resultados de la mediana de Bootstrap periodo 2010-2011.

DMU	Median_Efficiency (2010)	Median_Efficiency (2011)	Median_Efficiency (2011-1)	Median_Efficiency (2010+1)	Median_Efficiency Change (2010 TO 2011)	Median_Technological Change (2010 TO 2011)	Median_Malmquist Index (2010 TO 2011)
P01	0.660783037	0.642846628	0.19592183	1	0.962319323	0.453072468	0.437404019
P02	0.619873437	0.611174163	0.661524573	1	0.97310985	0.828877028	0.808124895
P03	0.676869316	0.658698553	0.678416776	0.647097659	0.972807045	1.039763134	1.012523406
P04	0.938087473	0.928438366	0.927414755	0.91000578	0.991615323	1.012487668	1.008248262
P05	0.621188615	0.61366779	0.671819593	1	0.970352944	0.832806688	0.824634922
P06	0.879785196	0.816705754	0.787638005	0.871281681	0.933512537	1.002896182	0.93421225
P07	0.780987756	0.748786988	0.792024848	0.780468738	0.945091075	1.045528869	0.985777793
P08	0.817804471	0.603097506	0.559823744	1	0.732296319	0.890641787	0.636208024
P09	0.723526768	0.706563923	0.715651706	0.712643151	0.977598894	1.012866012	0.988378155
P10	0.712028901	0.691132895	0.782691939	0.76255131	0.956107992	1.037436222	0.997304542
P11	0.480687329	0.47921275	0.481795928	0.472493525	0.992900584	1.01601176	1.011547009
P12	0.456496992	0.503093113	0.425338646	1	1.103371144	0.620219434	0.688469588
P13	0.588020765	0.577612166	0.61289278	0.688486038	0.967586582	0.978206001	0.944455089
P14	0.747766589	0.601143422	0.94918152	0.650206623	0.804375791	1.343954301	1.081597241

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

Anexo 6. Resultados de la desviación estándar de Bootstrap periodo 2010-2011.

DMU	SD_Efficiency (2010)	SD_Efficiency (2011)	SD_Efficiency (2011-1)	SD_Efficiency (2010+1)	SD_Efficiency Change (2010 TO 2011)	SD_Technological Change (2010 TO 2011)	SD_Malmquist Index (2010 TO 2011)
P01	0.297864635	0.266327467	0.032001853	0	0.178584834	0.045468235	0.05029619
P02	0.323944935	0.286679495	0.278045242	0	0.188075079	0.176177699	0.13144861
P03	0.021056438	0.032039504	0.019440561	0.033508899	0.036884673	0.037422783	0.009227481
P04	0.023652525	0.050329515	0.022873841	0.059489731	0.047872646	0.0489516	0.013527407
P05	0.318311168	0.279836145	0.195079821	0	0.192901539	0.138881082	0.107486017
P06	0.119968181	0.114070221	0.109455998	0.132474695	0.082718123	0.067808087	0.035679928
P07	0.177001805	0.183959053	0.179045404	0.174403785	0.120089065	0.092715495	0.009779725
P08	0.143824799	0.05171229	0.056081027	0	0.074731767	0.065193327	0.047873284
P09	0.021867934	0.033555712	0.024573	0.028092411	0.037745215	0.033973163	0.009753501
P10	0.221711618	0.206010091	0.177530247	0.212575425	0.15669665	0.108267408	0.023807043
P11	0.019697559	0.021596215	0.019348183	0.0209379	0.036180109	0.033610627	0.009193553
P12	0.029798677	0.057364312	0.015439905	0	0.087237492	0.023563428	0.02959919
P13	0.33234682	0.301613573	0.346404377	0.302150633	0.196338012	0.127352224	0.022563847
P14	0.18957535	0.28218466	0.173775522	0.245936606	0.197502544	0.207023263	0.019040858

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

Anexo 7. Resultados del límite inferior de Bootstrap periodo 2012-2013.

DMU	LowerBound_ Efficiency (2012)	LowerBound_ Efficiency (2013)	LowerBound_ Efficiency (2013-1)	LowerBound_ Efficiency (2012+1)	LowerBound_ Efficiency Change (2012 TO 2013)	LowerBound_T echnological Change (2012 TO 2013)	LowerBound_ Malmquist Index (2012 TO 2013)
P01	0.730158711	0.639621026	1	0.598845233	0.605689317	0.840731231	0.975828466
P02	0.739178805	0.733043136	0.758598347	1	0.692290006	0.74050313	0.825607487
P03	0.623542208	0.524317976	0.604965261	0.551767563	0.80309824	1.016726298	0.95081548
P04	0.78135691	0.748620178	0.77563297	0.748252391	0.860487847	0.880875198	0.982403087
P05	0.723064964	0.651845627	1	0.958596067	0.62210453	0.671716278	0.775094192
P06	0.728198211	0.810791728	1.216002241	0.7227632	0.651915007	0.92192113	1.197456161
P07	0.749911099	0.659326999	3.238051824	0.779804833	0.618323238	1.403407236	1.590875466
P08	0.864289547	0.669984986	0.663057434	0.996249895	0.70156678	0.846048874	0.661691817
P09	0.659275726	0.900946156	0.631646591	1.002119859	1.091991418	0.640195286	0.907773699
P10	0.86589578	0.749037841	0.887783858	0.759603392	0.638739544	0.97538359	0.990724548
P11	0.900128568	0.565258359	0.665553862	0.560758052	0.511193227	1.281932076	0.820445929
P12	0.578026703	0.68219315	0.566717963	0.665281835	1.046343432	0.685661013	0.996752731
P13	0.731468744	0.64715601	0.748187498	1	0.611057283	0.680665843	0.81360167
P14	0.738255315	0.622658328	1	1.652314352	0.590830957	0.548656422	0.576424146

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

Anexo 8. Resultados del límite superior de Bootstrap periodo 2012-2013.

DMU	UpperBound_ Efficiency (2012)	UpperBound_ Efficiency (2013)	UpperBound_ Efficiency (2013-1)	UpperBound_ Efficiency (2012+1)	UpperBound_ Efficiency Change (2012 TO 2013)	UpperBound_ T echnological Change (2012 TO 2013)	UpperBound_ Malmquist Index (2012 TO 2013)
P01	1.298807032	1.331994038	1	0.868495332	1.689573568	1.630300158	1.431463104
P02	1.320154705	1.171362941	1.097388249	1	1.423917064	1.22619851	1.07219099
P03	0.684878512	0.629089659	0.666467992	0.628069171	0.977499568	1.196486267	1.002824407
P04	0.932455387	0.92481339	0.916516785	0.930787333	1.134152671	1.155724616	1.011617363
P05	1.303290774	1.345095206	1	1.444726035	1.684107535	1.277019227	1.135929342
P06	1.304207168	1.181652215	1.80775732	1.092252821	1.451478724	1.876181796	1.383682315
P07	1.237472014	1.273693843	4.34188705	1.296895109	1.548171994	2.64802371	2.286745932
P08	1.008062725	0.764121606	0.892849738	1.205637853	0.847512525	1.054020993	0.813259879
P09	0.850095878	0.995024597	0.793750916	1.113685063	1.465120736	0.82711932	0.957868895
P10	1.258551763	0.962008889	1.277213054	0.972655104	1.027752384	1.566388765	1.015442352
P11	1.160943664	0.630055468	0.837795923	0.64005982	0.67531955	1.617603885	0.944715708
P12	0.747853802	0.8991148	0.739016953	0.874248974	1.470448279	0.966020993	1.024346224
P13	1.311235645	1.341642393	1.341205793	1	1.664413585	1.39883109	1.171455304
P14	1.307724962	1.336717362	1	2.25734483	1.666580478	0.989830234	0.925566601

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

Anexo 9. Resultados de la media de Bootstrap periodo 2012-2013.

DMU	Mean_Efficiency (2012)	Mean_Efficiency (2013)	Mean_Efficiency (2013-1)	Mean_Efficiency (2012+1)	Mean_Efficiency Change (2012 TO 2013)	Mean_Technological Change (2012 TO 2013)	Mean_Malmquist Index (2012 TO 2013)
P01	0.862833738	0.816660456	1	0.675905584	0.962033523	1.276279868	1.185050882
P02	0.86754403	0.863520387	0.841206948	1	1.018757778	0.921453908	0.917304413
P03	0.64231892	0.554252183	0.625180825	0.57340808	0.86316743	1.125547517	0.96970927
P04	0.816965454	0.798784804	0.81018363	0.798609073	0.979136576	1.021279049	0.996078417
P05	0.859259312	0.822651118	1	1.0838561	0.97486511	0.999426574	0.943338329
P06	0.861825667	0.878302845	1.35984521	0.802673196	1.052622107	1.297763319	1.323545248
P07	0.872521509	0.826338761	3.517307236	0.899779013	0.960777584	2.068411767	1.930047193
P08	0.900675156	0.70079994	0.730851444	1.066947212	0.779006437	0.938749294	0.730430361
P09	0.691041061	0.933135118	0.669514941	1.036379517	1.354546872	0.691910305	0.9342164
P10	0.93058181	0.793246383	0.946619594	0.802582227	0.857162102	1.179572592	1.002813657
P11	0.947613279	0.586776191	0.710818383	0.586494807	0.621121209	1.399444219	0.866750097
P12	0.603660894	0.728066387	0.597411485	0.709592051	1.208271708	0.838365094	1.00757191
P13	0.8634528	0.820194243	0.883188237	1	0.966609149	0.974342157	0.909282986
P14	0.866613876	0.807969693	1	1.83296306	0.947685923	0.779016177	0.713589228

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

Anexo 10. Resultados de la mediana de Bootstrap periodo 2012-2013.

DMU	Median_Efficiency (2012)	Median_Efficiency (2013)	Median_Efficiency (2013-1)	Median_Efficiency (2012+1)	Median_Efficiency Change (2012 TO 2013)	Median_Technological Change (2012 TO 2013)	Median_Malmquist Index (2012 TO 2013)
P01	0.772851546	0.702750261	1	0.640698333	0.89460426	1.332292157	1.191539273
P02	0.779439321	0.801438193	0.793589237	1	0.999261237	0.886453244	0.896243665
P03	0.638779752	0.545969388	0.62102022	0.568449391	0.854474702	1.131795298	0.966746346
P04	0.803178079	0.781954466	0.796577333	0.780278792	0.97151824	1.026595613	0.995670204
P05	0.763073793	0.715622649	1	1.027008116	0.92214182	1.035786398	0.954995734
P06	0.768245879	0.840462152	1.278350175	0.771369754	1.093544961	1.234384849	1.337468921
P07	0.792425736	0.734905897	3.377134452	0.857392573	0.900704278	2.113407723	1.923166765
P08	0.890627781	0.695494978	0.707960291	1.050224614	0.778707883	0.932026528	0.725880494
P09	0.678373629	0.929044705	0.660915619	1.029437641	1.365376709	0.684103946	0.933585127
P10	0.909359461	0.778769894	0.92222527	0.786382326	0.859096561	1.168229507	1.002618798
P11	0.931017306	0.582967787	0.697132856	0.580844173	0.626104923	1.386978453	0.862248281
P12	0.592982496	0.708927743	0.585424361	0.691205842	1.19321265	0.843822489	1.004005735
P13	0.772744183	0.71387475	0.790406346	1	0.907514682	0.933257976	0.854512357
P14	0.776639674	0.69301026	1	1.794219478	0.868214845	0.803058875	0.702306106

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

Anexo 11. Resultados de la desviación estándar de Bootstrap periodo 2012-2013.

DMU	SD_Efficiency (2012)	SD_Efficiency (2013)	SD_Efficiency (2013-1)	SD_Efficiency (2012+1)	SD_Efficiency Change (2012 TO 2013)	SD_Technological Change (2012 TO 2013)	SD_Malmquist Index (2012 TO 2013)
P01	0.179529793	0.217052431	0	0.080300139	0.244124877	0.185581388	0.104184538
P02	0.179640789	0.133872876	0.10365207	0	0.183500621	0.131075986	0.063199023
P03	0.016324736	0.027514671	0.016664091	0.018893849	0.042771149	0.044338037	0.013482134
P04	0.041864293	0.049425309	0.039520351	0.050725426	0.062783098	0.062929116	0.007555983
P05	0.185942775	0.209167416	0	0.132890309	0.233814168	0.141260781	0.082912119
P06	0.184643208	0.098142787	0.174304393	0.094881408	0.192943031	0.228450079	0.051888814
P07	0.154453096	0.180119058	0.317967613	0.129903698	0.211017775	0.304630415	0.175196962
P08	0.036649525	0.024439765	0.061303617	0.060079865	0.034516424	0.051820215	0.037770067
P09	0.043554753	0.024131692	0.038011607	0.028339532	0.07523204	0.041177109	0.012616354
P10	0.085620112	0.055145095	0.085107342	0.055451331	0.076403161	0.112357017	0.00783069
P11	0.059858739	0.0172821	0.045144261	0.021494854	0.034971239	0.081216426	0.026151599
P12	0.037208164	0.05527391	0.038794934	0.053091637	0.091766485	0.060466787	0.008161685
P13	0.182418459	0.211056353	0.186587891	0	0.237456022	0.177692834	0.110233712
P14	0.180436749	0.22164252	0	0.154802845	0.250119141	0.104664206	0.078417388

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

Anexo 12. Resultados del límite inferior de Bootstrap periodo 2014-2015.

DMU	LowerBound_Efficiency (2014)	LowerBound_Efficiency (2015)	LowerBound_Efficiency (2015-1)	LowerBound_Efficiency (2014+1)	LowerBound_Efficiency Change (2014 TO 2015)	LowerBound_Technological Change (2014 TO 2015)	LowerBound_Malmquist Index (2014 TO 2015)
P01	0.586091831	0.489671093	1	1	0.381172832	0.72753725	0.617391959
P02	0.716675065	0.501116168	0.552373059	0.587848806	0.595007866	0.979624053	0.697418292
P03	0.513323129	0.80080726	0.90288088	0.453862864	1.316976408	0.989530854	1.523941134
P04	0.760809377	0.640097781	1.20702965	0.526209874	0.755027798	1.057754195	1.259153354
P05	0.769900887	0.622915724	0.614033087	0.720576048	0.572268501	0.821912121	0.683159722
P06	0.679679016	0.649507484	0.759467287	0.687302089	0.556425759	0.697155406	0.955801262
P07	0.686036947	0.703366719	0.896124041	0.802518313	0.606399034	0.759696761	0.907848897
P08	0.69465177	0.637850924	0.662828377	0.651400998	0.839507648	0.946277837	0.942944061
P09	0.829925242	0.758012935	0.788285922	0.783042144	0.835583141	0.944727815	0.944460248
P10	0.747871077	0.824045068	0.868441893	0.98410069	0.77205709	0.741755094	0.868738849
P11	0.503082861	0.488594403	1	0.442414022	0.892570918	0.770438203	1.347451354
P12	0.588559153	0.357704366	0.364075772	0.53004474	0.496188652	0.929777628	0.554296223
P13	0.575601607	0.485384818	0.642928621	1	0.385183456	0.68377904	0.736314707
P14	0.594291569	0.492357284	0.842830614	1	0.383123906	0.789102748	0.774094258

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

Anexo 13. Resultados del límite superior de Bootstrap periodo 2014-2015.

DMU	UpperBound_ Efficiency (2014)	UpperBound_ Efficiency (2015)	UpperBound_ Efficiency (2015-1)	UpperBound_ Efficiency (2014+1)	UpperBound_ Efficiency Change (2014 TO 2015)	UpperBound_ Technological Change (2014 TO 2015)	UpperBound_ Malmquist Index (2014 TO 2015)
P01	1.35608197	1.93059344	1	1	1.889250441	1.619716595	1.374500069
P02	0.894495241	0.590908321	0.6215265	0.82466383	0.774966301	1.2572821	0.834562215
P03	0.647430946	1.011241324	1.061806163	0.584612829	1.847036626	1.229743362	1.933416413
P04	0.940772713	1.244766763	1.487348712	0.815002042	1.550413058	1.810685312	1.71154122
P05	1.158661546	0.831786702	0.793262812	1.184470787	0.940719916	1.315555463	0.868272123
P06	1.297337954	1.315050656	1.320988818	1.344104888	1.479278898	1.776451345	1.041984412
P07	1.252725274	1.139019413	1.318120076	1.245268819	1.476074258	1.511605426	1.195872648
P08	0.793896846	0.744716198	0.775166961	0.75464112	1.027665639	1.151552206	0.997212846
P09	0.950595322	0.885980106	0.92465336	0.907932825	1.023874683	1.153326183	0.986572853
P10	1.163414119	1.131949862	1.170327518	1.317800551	1.349223231	1.171316815	1.025561359
P11	0.59456274	1.928511377	1	0.543816939	3.560875578	1.54539526	2.759756764
P12	0.749001192	0.431050947	0.428117933	0.715067151	0.684955422	1.193069676	0.693715559
P13	1.36696649	1.930682872	1.526857935	1	1.891529005	1.960070188	1.46850643
P14	1.364492569	1.917952265	1.658851671	1	1.821749368	2.041843074	1.561451776

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

Anexo 14. Resultados de la media de Bootstrap periodo 2014-2015.

DMU	Mean_Efficiency (2014)	Mean_Efficiency (2015)	Mean_Efficiency (2015-1)	Mean_Efficiency (2014+1)	Mean_Efficiency Change (2014 TO 2015)	Mean_Technological Change (2014 TO 2015)	Mean_Malmquist Index (2014 TO 2015)
P01	0.789217018	0.741188227	1	1	0.96411452	1.080455226	0.963356615
P02	0.765436906	0.531899718	0.576069544	0.658810532	0.696887165	1.12540034	0.782080365
P03	0.551199032	0.859602718	0.958079305	0.502745152	1.564703257	1.107782619	1.728399144
P04	0.801092924	0.816347294	1.289687177	0.61175217	1.019269243	1.477297197	1.456377445
P05	0.8811631	0.675912436	0.674763009	0.83767468	0.774800522	1.032694905	0.791629395
P06	0.836245051	0.82114382	0.892961994	0.860448233	0.998324869	1.064608567	1.011482754
P07	0.839555666	0.84835083	1.021927084	0.926436336	1.03123637	1.058343995	1.059945075
P08	0.723152488	0.666144448	0.693737483	0.684256913	0.921971582	1.050353809	0.966359122
P09	0.863875744	0.792380695	0.825895356	0.81937519	0.918056846	1.049558869	0.961438608
P10	0.870447235	0.908346676	0.95180936	1.077439369	1.057278434	0.923678457	0.963245939
P11	0.531737379	0.74072481	1	0.4756989	1.387422836	1.307409423	1.670094049
P12	0.632332578	0.377984631	0.386160485	0.58344444	0.59996422	1.054839529	0.630973509
P13	0.783803238	0.739376998	0.875483198	1	0.970550139	1.014117569	0.886598385
P14	0.793443643	0.742189435	1.066466914	1	0.957480318	1.122949295	0.980954855

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

Anexo 15. Resultados de la mediana de Bootstrap periodo 2014-2015.

DMU	Median_Efficiency (2014)	Median_Efficiency (2015)	Median_Efficiency (2015-1)	Median_Efficiency (2014+1)	Median_Efficiency Change (2014 TO 2015)	Median_Technological Change (2014 TO 2015)	Median_Malmquist Index (2014 TO 2015)
P01	0.671325364	0.559475457	1	1	0.881770838	1.06493263	0.939026538
P02	0.751666627	0.52874786	0.572718719	0.64522667	0.69920684	1.1670026	0.789070214
P03	0.538868563	0.843287744	0.950034536	0.49573312	1.564111891	1.107710503	1.733138704
P04	0.78732104	0.712773406	1.269053324	0.597088639	0.903706508	1.542242709	1.427145822
P05	0.857510288	0.655568584	0.66544032	0.789296536	0.785365493	1.026685822	0.79766114
P06	0.762839343	0.717273729	0.835347081	0.758672799	0.980644297	1.046559941	1.020518729
P07	0.770039355	0.776288628	0.996855345	0.90150422	1.035586889	1.032690996	1.064931559
P08	0.716301095	0.658508708	0.685821028	0.67806933	0.919425662	1.050600894	0.965584855
P09	0.855650291	0.783016923	0.816180473	0.1112548	0.915161875	1.049212585	0.959533333
P10	0.829936678	0.888579416	0.936360884	1.049669384	1.072688456	0.906657867	0.96981344
P11	0.524921945	0.560372482	1	0.471403179	1.065731176	1.394214251	1.50664482
P12	0.617758209	0.372235319	0.383824809	0.571038133	0.603092208	1.052649952	0.634292486
P13	0.664213996	0.56000812	0.741905831	1	0.887152713	0.88932141	0.790892642
P14	0.674350835	0.561059553	0.95236516	1	0.867297346	1.021856992	0.882960002

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

Anexo 16. Resultados de la desviación estándar de Bootstrap periodo 2014-2015.

DMU	SD_Efficiency (2014)	SD_Efficiency (2015)	SD_Efficiency (2015-1)	SD_Efficiency (2014+1)	SD_Efficiency Change (2014 TO 2015)	SD_Technological Change (2014 TO 2015)	SD_Malmquist Index (2014 TO 2015)
P01	0.237891145	0.37998226	0	0	0.381237101	0.223796803	0.189938385
P02	0.047145479	0.023374756	0.017705243	0.061873733	0.043752558	0.068256223	0.035661139
P03	0.036279651	0.05558949	0.04320403	0.036062243	0.12658764	0.059031218	0.103151199
P04	0.045067429	0.198418817	0.075844042	0.075160319	0.240232622	0.218534509	0.120763449
P05	0.106959573	0.058176328	0.047023394	0.121689656	0.087150922	0.113399597	0.047922645
P06	0.165277168	0.201187877	0.142424163	0.198121809	0.219501488	0.24735989	0.02417378
P07	0.159071151	0.153250261	0.112253225	0.123144234	0.194371131	0.17503681	0.069314636
P08	0.026138757	0.028699654	0.02779685	0.02719562	0.044042437	0.048574601	0.012722942
P09	0.03153112	0.034333916	0.033849697	0.032441642	0.044180481	0.049582838	0.010342816
P10	0.118016243	0.086646321	0.076693726	0.093177065	0.137325165	0.1030228	0.038733176
P11	0.02465063	0.382488491	0	0.024969627	0.693694109	0.219062187	0.366484388
P12	0.043051928	0.019143468	0.016511347	0.049466042	0.043807339	0.062242535	0.03380202
P13	0.242060158	0.38099857	0.270373469	0	0.386213608	0.35352487	0.199558814
P14	0.235393923	0.37723874	0.241274905	0	0.373066233	0.337377404	0.209460705

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

Anexo 17. Resultados del límite inferior de Bootstrap periodo 2016-2017.

DMU	LowerBound_Efficiency (2016)	LowerBound_Efficiency (2017)	LowerBound_Efficiency (2017-1)	LowerBound_Efficiency (2016+1)	LowerBound_Efficiency Change (2016 TO 2017)	LowerBound_Technological Change (2016 TO 2017)	LowerBound_Malmquist Index (2016 TO 2017)
P01	0.455977179	0.45394885	0.561458583	1	0.671535719	0.463857637	0.722899829
P02	0.511244367	0.464543665	0.438817817	0.447801644	0.84847187	0.892142466	0.871708562
P03	0.764985908	0.689716649	0.7103261	0.514357757	0.740144717	0.849720098	0.827701741
P04	0.566558302	0.489726324	0.655583791	1	0.661557495	0.569053149	0.746486477
P05	0.374879382	0.452292472	0.396989798	0.417130784	0.96701074	0.799576422	1.036624233
P06	0.844174698	0.709517324	0.757689492	0.735993271	0.780763866	0.800768554	0.780872308
P07	0.659257429	0.63341093	0.83625184	0.923617348	0.7975688	0.681997832	0.892080518
P08	0.548849364	0.615757849	0.618481984	0.535937616	0.997992699	0.890001629	1.089102716
P09	0.840254225	0.451300805	0.950082351	0.781966702	0.51439603	0.853004425	0.753086743
P10	0.766383841	0.642196188	0.865876658	0.865432183	0.751249995	0.733087139	0.819255487
P11	0.478754814	0.443352149	0.477664104	1	0.28568289	0.698912307	0.383477019
P12	0.498623964	0.652075562	0.540074121	0.454478961	1.067099726	0.702654952	0.944094959
P13	0.437780014	0.434385315	1	1	0.671260807	0.60129693	0.819305072
P14	0.489042595	0.466586678	1	1	0.669590688	0.620579388	0.818285212

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

Anexo 18. Resultados del límite superior de Bootstrap periodo 2016-2017.

DMU	UpperBound_ Efficiency (2016)	UpperBound_ Efficiency (2017)	UpperBound_ Efficiency (2017-1)	UpperBound_ Efficiency (2016+1)	UpperBound_ Efficiency Change (2016 TO 2017)	UpperBound_ T echnological Change (2016 TO 2017)	UpperBound_ Malmquist Index (2016 TO 2017)
P01	1.702924065	1.444194124	0.999239187	1	2.709318797	1.141314156	1.26300049
P02	0.589075775	0.68180066	0.689406434	0.579318756	1.246454027	1.229966652	1.258661232
P03	1.01563813	0.912395721	0.921401166	1.052988993	1.055991984	1.493254065	1.155838463
P04	1.358736695	1.390702407	1.215179804	1	2.167466938	1.274891167	1.226220629
P05	0.51056754	0.550544125	0.5365026	0.510403026	1.33250203	1.107131665	1.075768341
P06	1.388510185	1.322437491	1.360413333	1.247773873	1.36420614	1.317889668	1.314648391
P07	1.303629547	1.36732021	1.441748061	1.477915615	1.563965773	1.205458266	1.085945633
P08	0.679903166	0.771050095	0.750156109	0.676786204	1.273168075	1.131520897	1.142657261
P09	0.958262221	1.437092282	1.224251159	0.995208123	1.628106737	1.617889098	1.43938481
P10	1.302795308	1.166779216	1.37231144	1.423926781	1.309774681	1.209058043	1.012022165
P11	1.736016489	0.62207809	0.616621976	1	1.044845626	1.348225975	0.767643548
P12	0.702364753	0.866912215	0.733932981	0.883182357	1.54710643	1.046056778	1.358305082
P13	1.701943723	1.423262743	1	1	2.765808161	1.220546588	1.663071888
P14	1.740008752	1.467435404	1	1	2.596601527	1.222067789	1.611397382

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

Anexo 19. Resultados de la media de Bootstrap periodo 2016-2017.

DMU	Mean_Efficiency (2016)	Mean_Efficiency (2017)	Mean_Efficiency (2017-1)	Mean_Efficiency (2016+1)	Mean_Efficiency Change (2016 TO 2017)	Mean_Technological Change (2016 TO 2017)	Mean_Malmquist Index (2016 TO 2017)
P01	0.72435112	0.722760405	0.680640269	1	1.066466849	0.827801868	0.831347004
P02	0.539643603	0.515476108	0.515423549	0.495975521	0.9551957	1.044412264	0.994898892
P03	0.828348539	0.740759357	0.769064179	0.668924846	0.89767331	1.161357978	1.03353274
P04	0.779188503	0.740876893	0.81618167	1	0.971603831	0.939043677	0.874201764
P05	0.404011699	0.476406757	0.427116727	0.443744026	1.184332916	0.904205185	1.065506722
P06	0.917938658	0.85042426	0.907157657	0.906944573	0.927054427	1.051471714	0.964970326
P07	0.826021619	0.812571076	0.987348052	1.045666201	0.999213206	0.984830264	0.963048261
P08	0.5851259	0.655304474	0.655688823	0.57678153	1.121570962	1.009288891	1.128613263
P09	0.879733485	0.721534038	1.031135409	0.846250192	0.81806747	1.295221459	0.978289053
P10	0.879482659	0.816918909	0.94331047	1.063194878	0.929096493	0.992592208	0.906019852
P11	0.735667424	0.484919184	0.515698689	1	0.76272611	0.861488623	0.618539576
P12	0.542943003	0.700031207	0.596562367	0.591069589	1.295130178	0.894933459	1.154259775
P13	0.715108122	0.713196407	1	1	1.072640574	1.002585876	1.01995918
P14	0.740810347	0.729134729	1	1	1.045813202	1.013574887	1.00792536

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

Anexo 20. Resultados de la mediana de Bootstrap periodo 2016-2017.

DMU	Median_Efficiency (2016)	Median_Efficiency (2017)	Median_Efficiency (2017-1)	Median_Efficiency (2016+1)	Median_Efficiency Change (2016 TO 2017)	Median_Technological Change (2016 TO 2017)	Median_Malmquist Index (2016 TO 2017)
P01	0.526032716	0.532434148	0.610508685	1	0.977958678	0.789811272	0.786010275
P02	0.535106894	0.492088709	0.477974931	0.489021684	0.921343223	1.034869947	0.952212324
P03	0.805995572	0.723697227	0.754413961	0.57191635	0.896973245	1.19850128	1.078912238
P04	0.632915383	0.573132473	0.738132934	1	0.881768267	0.916486851	0.816141486
P05	0.392899486	0.467866756	0.415500797	0.436257807	1.194112044	0.893067832	1.068549682
P06	0.888932924	0.798681236	0.829194281	0.845126519	0.887196803	1.046861567	0.944454873
P07	0.727402805	0.720123887	0.92070918	1.001468115	0.953368721	0.984727839	0.950259255
P08	0.575223708	0.643850469	0.645276788	0.567718113	1.117298173	1.009789446	1.134396189
P09	0.872826996	0.532930832	1.011173264	0.830052594	0.608041822	1.386206668	0.877659789
P10	0.834362595	0.729349353	0.920012131	1.04378361	0.88060381	1.008008278	0.905535473
P11	0.548640877	0.469154167	0.507071939	1	0.855145741	0.777780138	0.658458371
P12	0.525294663	0.67907089	0.575157859	0.558293041	1.296313748	0.905197015	1.160144701
P13	0.511150582	0.522234722	1	1	0.972287716	1.014150953	0.986046506
P14	0.555838363	0.549162336	1	1	0.943842082	1.029319817	0.971515352

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

Anexo 21. Resultados de la desviación estándar de Bootstrap periodo 2016-2017.

DMU	SD_Efficiency (2016)	SD_Efficiency (2017)	SD_Efficiency (2017-1)	SD_Efficiency (2016+1)	SD_Efficiency Change (2016 TO 2017)	SD_Technological Change (2016 TO 2017)	SD_Malmquist Index (2016 TO 2017)
P01	0.365794863	0.321059276	0.136055265	0	0.43199255	0.157240396	0.12659888
P02	0.022908243	0.059601805	0.078277645	0.034980679	0.101301685	0.079995212	0.105153412
P03	0.069918664	0.057287916	0.055359919	0.172305215	0.073160425	0.16680099	0.103099201
P04	0.265921228	0.29188842	0.17084389	0	0.328146946	0.156948266	0.134427194
P05	0.034745351	0.026064007	0.03634147	0.025165713	0.080715779	0.068074159	0.010024167
P06	0.113446847	0.162619624	0.173482225	0.15431335	0.144481024	0.133416331	0.128157
P07	0.205616454	0.191741669	0.172685309	0.138712806	0.192409645	0.121285907	0.047742005
P08	0.034314235	0.039892467	0.035126026	0.035230666	0.063497217	0.055329015	0.015383321
P09	0.031500195	0.322958311	0.077850169	0.058899058	0.361028819	0.237559388	0.209270869
P10	0.131318116	0.168012372	0.105547494	0.147203775	0.145725625	0.123655723	0.047139246
P11	0.360441488	0.045172638	0.038487155	0	0.225340923	0.179086907	0.105012588
P12	0.052609008	0.056806236	0.056176381	0.119205909	0.107099206	0.085599419	0.101983444
P13	0.373974416	0.325935224	0	0	0.454850629	0.129409901	0.179833296
P14	0.355201966	0.318764979	0	0	0.427475371	0.128077458	0.172958456

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

Anexo 22. Resultados del límite inferior de Bootstrap periodo 2017-2018.

DMU	LowerBound_Efficiency (2017)	LowerBound_Efficiency (2018)	LowerBound_Efficiency (2018-1)	LowerBound_Efficiency (2017+1)	LowerBound_Efficiency Change (2017 TO 2018)	LowerBound_Technological Change (2017 TO 2018)	LowerBound_Malmquist Index (2017 TO 2018)
P01	0.450332392	0.447186898	1	1	0.694431313	0.85345495	0.833325448
P02	0.470669541	0.48369747	0.465225498	0.493294531	0.866348802	0.878390363	0.958725297
P03	0.695444203	0.594766586	0.697225195	0.586835598	0.731151791	1.06024129	0.986139428
P04	0.505498203	0.482044958	1	0.723902743	0.676078166	0.847290427	0.909644444
P05	0.453176801	0.494628059	0.508161412	0.427207525	1.021526545	0.944434803	1.090083978
P06	0.719565487	0.676395545	0.7566634	0.771603251	0.767377179	0.835549492	0.902086046
P07	0.645396716	0.650164845	0.653895577	0.663967387	0.762503688	0.790396497	0.992045127
P08	0.619587071	0.688649754	0.68618184	0.619356285	1.01244999	0.939152351	1.092189617
P09	0.462056179	0.729170005	0.765328502	0.612425598	0.54897352	0.67437701	0.783468421
P10	0.656731901	0.607020005	0.839765757	0.710012645	0.71132591	0.924265265	0.993534162
P11	0.448636683	0.411288364	0.452694558	0.364035996	0.735735915	0.991007305	0.932551511
P12	0.650376027	0.761442605	0.749315767	0.599052898	1.073550743	0.938653822	1.186098137
P13	0.472195181	0.478928911	0.507877507	1	0.704130361	0.629127746	0.717718666
P14	0.455940203	0.460819704	1	1	0.700645351	0.857075978	0.837045604

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

Anexo 23. Resultados del límite superior de Bootstrap periodo 2017-2018.

DMU	UpperBound_Efficiency (2017)	UpperBound_Efficiency (2018)	UpperBound_Efficiency (2018-1)	UpperBound_Efficiency (2017+1)	UpperBound_Efficiency Change (2017 TO 2018)	UpperBound_Technological Change (2017 TO 2018)	UpperBound_Malmquist Index (2017 TO 2018)
P01	1.45948549	1.549817443	1	1	1.37289966	1.200011374	1.17170801
P02	0.68079127	0.685389802	0.691452916	0.662166294	1.17394256	1.129472195	1.082426558
P03	0.897631683	0.719114864	0.888276751	0.716364172	0.949013165	1.373706105	1.012785382
P04	1.399234212	1.568453306	1	1.139419059	1.316146713	1.384758811	1.219312072
P05	0.540938118	0.606944612	0.607287096	0.529639393	1.208976487	1.117465848	1.149019472
P06	1.326991742	1.388045096	1.387852032	1.340347439	1.203925945	1.259871745	1.047318355
P07	1.30353783	1.336223641	1.314923098	1.323058228	1.268045447	1.307507237	1.01138624
P08	0.763023684	0.814157867	0.844234422	0.727716639	1.186836012	1.095308824	1.11790801
P09	1.446359756	0.91897207	0.980511459	1.187469211	1.693416274	1.556838041	1.413876877
P10	1.166073876	1.23767022	1.396188258	1.123827912	1.216501238	1.458634656	1.195030841
P11	0.621296914	0.509768241	0.557147238	0.516573804	1.017232108	1.314561775	1.095919543
P12	0.868272129	1.135304317	1.184112251	0.800570223	1.391943581	1.188293313	1.407197313
P13	1.44289238	1.564673646	1.551927284	1	1.364906054	1.317327001	1.297270663
P14	1.444314946	1.565289075	1	1	1.361323539	1.194678049	1.166757704

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

Anexo 24. Resultados de la media de Bootstrap periodo 2017-2018.

DMU	Mean_Efficiency (2017)	Mean_Efficiency (2018)	Mean_Efficiency (2018-1)	Mean_Efficiency (2017+1)	Mean_Efficiency Change (2017 TO 2018)	Mean_Technological Change (2017 TO 2018)	Mean_Malmquist Index (2017 TO 2018)
P01	0.721385622	0.719225218	1	1	1.009509819	1.005141328	1.001448442
P02	0.518614173	0.530297657	0.530388372	0.533665945	1.025663204	0.985789327	1.0076626
P03	0.743898397	0.631909564	0.742637512	0.625074034	0.851552332	1.183681611	1.00478108
P04	0.748877876	0.737023873	1	0.841737109	0.981328287	1.12089574	1.081225764
P05	0.476932977	0.526474798	0.53451727	0.458234709	1.104430765	1.029043409	1.134922936
P06	0.856062055	0.833622536	0.897361626	0.90528698	0.973380812	1.01390676	0.97951171
P07	0.818677305	0.820633067	0.829060998	0.829458723	1.008133294	1.004054505	1.000089855
P08	0.657361225	0.727606631	0.727075882	0.652464317	1.108300432	1.003474801	1.110585548
P09	0.726891861	0.786862612	0.83815909	0.77760698	1.242847107	0.994078807	1.153135174
P10	0.824314333	0.799475081	1.02902002	0.840263259	0.967287476	1.132950494	1.083513505
P11	0.487590186	0.438542349	0.483514946	0.412017775	0.903207754	1.14577257	1.031053425
P12	0.698988627	0.836410145	0.863412736	0.652192055	1.195621961	1.051766235	1.254459828
P13	0.731895585	0.735261863	0.787202665	1	1.014949385	0.873877099	0.871389776
P14	0.723996933	0.726225365	1	1	1.015482218	1.001537498	1.004647274

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

DMU	Median_Efficiency (2017)	Median_Efficiency (2018)	Median_Efficiency (2018-1)	Median_Efficiency (2017+1)	Median_Efficiency Change (2017 TO 2018)	Median_Technological Change (2017 TO 2018)	Median_Malmquist Index (2017 TO 2018)
P01	0.535421533	0.54699045	1	1	0.988289616	1.005907124	0.994127565
P02	0.497288397	0.513105237	0.51127846	0.518141477	1.025197971	0.976672407	1.001759278
P03	0.728955563	0.621662007	0.728475525	0.615125079	0.852802481	1.178972081	1.006788452
P04	0.587457337	0.565238528	1	0.790428813	0.956272451	1.156499307	1.107542638
P05	0.468976048	0.518179313	0.525689762	0.451193934	1.099378888	1.030107217	1.141565665
P06	0.803848276	0.763567371	0.841561538	0.858385585	0.954560206	1.00995682	0.971778427
P07	0.728683839	0.739357098	0.738212794	0.752149751	1.004992457	0.992684456	0.998496327
P08	0.648218446	0.721325506	0.717037151	0.646788773	1.109571798	1.00026604	1.113606264
P09	0.538013468	0.769953164	0.82324457	0.692255931	1.442211379	0.906934014	1.167175378
P10	0.73763872	0.692956155	0.956640251	0.806039534	0.939991453	1.124154586	1.067739333
P11	0.473398627	0.432162797	0.476837083	0.401459969	0.912082099	1.147051744	1.038348147
P12	0.677032145	0.800178757	0.807802853	0.635974969	1.181678287	1.040334672	1.229813537
P13	0.555157278	0.56418054	0.597108793	1	1.004720962	0.766015355	0.778982599
P14	0.535201898	0.546805363	1	1	1.003922443	0.998044529	1.001959302

Anexo 25. Resultados de la mediana de Bootstrap periodo 2017-2018.

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

Anexo 26. Resultados de la desviación estándar de Bootstrap periodo 2017-2018.

DMU	SD_Efficiency (2017)	SD_Efficiency (2018)	SD_Efficiency (2018-1)	SD_Efficiency (2017+1)	SD_Efficiency Change (2017 TO 2018)	SD_Technological Change (2017 TO 2018)	SD_Malmquist Index (2017 TO 2018)
P01	0.323153798	0.327572762	0	0	0.164835018	0.081776051	0.081327384
P02	0.056054504	0.05124191	0.060574491	0.044288508	0.065057374	0.061299463	0.032025924
P03	0.052145611	0.033790372	0.049059191	0.034192538	0.047342387	0.06827244	0.007274921
P04	0.28712987	0.326934199	0	0.120269124	0.159819385	0.133240278	0.086622617
P05	0.024376501	0.029788272	0.027228332	0.02655795	0.043803007	0.039262486	0.017057174
P06	0.161001364	0.184206051	0.164551742	0.145270271	0.097235308	0.089925281	0.048106308
P07	0.182813589	0.186241532	0.184618329	0.179920839	0.110089887	0.112508008	0.00542281
P08	0.037449143	0.031793449	0.040901807	0.026861635	0.041496178	0.038497133	0.006895574
P09	0.321944553	0.052822639	0.059743517	0.173931076	0.37620985	0.239433956	0.193865112
P10	0.164377191	0.201578068	0.167658946	0.114024657	0.119088759	0.116640297	0.056096068
P11	0.042573933	0.026260275	0.026909623	0.041974202	0.061064421	0.077161752	0.045296327
P12	0.057102501	0.095477747	0.122214683	0.052127028	0.072961344	0.062212002	0.058753162
P13	0.31087601	0.322731127	0.334367946	0	0.15651812	0.20032025	0.177535743
P14	0.321191243	0.327865671	0	0	0.158640483	0.079450898	0.07854398

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

Anexo 27. Resultados del límite inferior de Bootstrap periodo 2010-2018.

DMU	LowerBound _Efficiency (2010)	LowerBound _Efficiency (2018)	LowerBound _Efficiency (2018-1)	LowerBound _Efficiency (2010+1)	LowerBound _Efficiency Change (2010 TO 2018)	LowerBound_ Technological Change (2010 TO 2018)	LowerBound _Malmquist Index (2010 TO 2018)
P01	0.568340734	0.468501314	0.422846396	1	0.35030736	0.459605953	0.39574017
P02	0.576963018	0.482240174	0.889018287	1	0.327837654	0.935327284	0.550950208
P03	0.655149884	0.592003817	0.994400202	0.483961059	0.847915829	1.296668071	1.246265064
P04	0.907178005	0.47517139	1.416903044	0.674842578	0.504401307	0.994538353	1.014896518
P05	0.561444148	0.495105702	0.423932989	1	0.332705443	0.67213105	0.386155639
P06	0.821375273	0.672533495	1.03004391	1.3921975	0.677842579	0.615117109	0.662981158
P07	0.735885802	0.637581518	1.198068317	1.101476768	0.631876185	0.711671189	0.792902498
P08	0.75959521	0.688273641	0.74291519	1	0.564244899	0.876245908	0.667903
P09	0.702257445	0.726545215	1.182720887	0.723113956	0.978326841	1.045614543	1.171708881
P10	0.669656199	0.583695053	1.88714428	0.492497763	0.516901693	1.35082304	1.457216958
P11	0.465121665	0.407068366	0.579489317	0.410632059	0.813877053	1.067708313	0.967858308
P12	0.438496111	0.773866831	0.438142755	1	1.509611818	0.439169334	0.843712728
P13	0.603698656	0.476875307	1.285834505	1	0.353094148	0.817595995	0.998319711
P14	0.681877468	0.45093264	1	1	0.415028913	0.753428283	0.644227275

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

Anexo 27. Resultados del límite superior de Bootstrap periodo 2010-2018.

DMU	UpperBound_Efficiency (2010)	UpperBound_Efficiency (2018)	UpperBound_Efficiency (2018-1)	UpperBound_Efficiency (2010+1)	UpperBound_Efficiency Change (2010 TO 2018)	UpperBound_Technological Change (2010 TO 2018)	UpperBound_Malmquist Index (2010 TO 2018)
P01	1.601251233	1.567378394	0.534962851	1	2.126699534	1.133300728	0.980455224
P02	1.597819974	0.683867396	1.028581674	1	1.066170562	1.684967422	0.996688349
P03	0.734451029	0.720435452	1.155041542	0.620746587	1.061073753	1.609298178	1.444560015
P04	1.001120999	1.556574773	2.041534222	1.01458792	1.65614297	2.290698539	1.704299425
P05	1.583329642	0.605342284	0.530868992	1	0.99092221	1.179939615	0.686589325
P06	1.325984481	1.382906838	1.690376819	2.404092639	1.539232967	1.159585831	1.036839086
P07	1.41841846	1.310535719	2.271544077	1.901431787	1.62539896	1.498686804	1.399100814
P08	1.320960604	0.814455432	0.846903954	1	1.003844626	1.187435941	0.893833487
P09	0.775984666	0.91601652	1.34898488	0.966452769	1.264232072	1.317896362	1.428857587
P10	1.383566236	1.227285821	3.641512459	0.865987582	1.681018346	3.211818525	2.491821769
P11	0.537102898	0.51625232	0.923511069	0.589252565	1.066761281	1.525583541	1.37111297
P12	0.547242792	1.10402658	0.520688455	1	2.375259955	0.568177195	1.054526513
P13	1.622772444	1.555994888	3.034194374	1	2.001254165	2.890535995	1.716166995
P14	1.334773883	1.54766374	1	1	1.761635965	1.55224772	1.327266347

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

DMU	Mean_Efficiency (2010)	Mean_Efficiency (2018)	Mean_Efficiency (2018-1)	Mean_Efficiency (2010+1)	Mean_Efficiency Change (2010 TO 2018)	Mean_Technological Change (2010 TO 2018)	Mean_Malmquist Index (2010 TO 2018)
P01	0.781121923	0.730154163	0.453824401	1	0.996647189	0.716714539	0.658630661
P02	0.785613779	0.529813371	0.933336906	1	0.744366202	1.158431169	0.825275363
P03	0.679654301	0.630480665	1.040393568	0.528964879	0.928323291	1.459925652	1.351826225
P04	0.940069226	0.733269522	1.574409906	0.778728862	0.779338392	1.720901031	1.221846545
P05	0.777655932	0.526589642	0.453518141	1	0.754440536	0.804526088	0.578356152
P06	0.907659656	0.831677536	1.203474576	1.683262132	0.922093924	0.899506534	0.809755442
P07	0.864923063	0.814456508	1.451497788	1.318766103	0.959094789	1.095236862	1.020825997
P08	0.876932547	0.727144343	0.777469892	1	0.846958727	0.965506146	0.809319542
P09	0.727652819	0.785908427	1.232438435	0.785329756	1.080619096	1.209608118	1.303484299
P10	0.831876281	0.787586342	2.297574424	0.585232662	0.980626372	2.081068785	1.93818305
P11	0.48612083	0.436487284	0.656903742	0.45173437	0.898760551	1.275383448	1.143728628
P12	0.465313197	0.84234574	0.465003028	1	1.814873908	0.508047064	0.917140464
P13	0.798804084	0.733937786	1.648043519	1	0.968360771	1.384757974	1.214771239
P14	0.837705267	0.721381452	1	1	0.873176558	1.130429011	0.916443582

Anexo 28. Resultados de la media de Bootstrap periodo 2010-2018.

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

DMU	Median_Efficiency (2010)	Median_Efficiency (2018)	Median_Efficiency (2018-1)	Median_Efficiency (2010+1)	Median_Efficiency Change (2010 TO 2018)	Median_Technological Change (2010 TO 2018)	Median_Malmquist Index (2010 TO 2018)
P01	0.623935711	0.56073041	0.444455239	1	0.864805292	0.718628152	0.628392685
P02	0.629451715	0.511484152	0.92528138	1	0.803036324	1.078202302	0.863272657
P03	0.675142585	0.620611626	1.029031549	0.520950366	0.918427948	1.46451942	1.355341586
P04	0.935820889	0.561635758	1.486935321	0.749629492	0.596875118	1.852861318	1.143063741
P05	0.617788192	0.519044327	0.442112514	1	0.836968785	0.736940935	0.608521737
P06	0.873922967	0.765500861	1.117154043	1.606710678	0.863525585	0.899465584	0.792039464
P07	0.787414123	0.731388006	1.294028965	1.25883972	0.888540122	1.091085866	0.983441326
P08	0.810394703	0.720138911	0.772014525	1	0.88160417	0.939827848	0.825048056
P09	0.723135504	0.769125121	1.221444372	0.766658666	1.061801196	1.218763455	1.302074649
P10	0.723204493	0.679837597	2.106437998	0.555576506	0.896951767	2.044082806	1.887707013
P11	0.48117838	0.429029666	0.619748781	0.4362432	0.887149641	1.269083923	1.126286605
P12	0.456020145	0.810657719	0.460787486	1	1.777966651	0.509116341	0.906166721
P13	0.655314017	0.566573901	1.417481384	1	0.837785469	1.316933753	1.094498486
P14	0.735136105	0.54769693	1	1	0.709496367	1.187202806	0.842316071

Anexo 29. Resultados de la mediana de Bootstrap periodo 2010-2018.

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.

Anexo 30. Resultados de la desviación estándar de Bootstrap periodo 2010-2018.

DMU	SD_Efficiency (2010)	SD_Efficiency (2018)	SD_Efficiency (2018-1)	SD_Efficiency (2010+1)	SD_Efficiency Change (2010 TO 2018)	SD_Technological Change (2010 TO 2018)	SD_Malmquist Index (2010 TO 2018)
P01	0.318812973	0.324576646	0.029499156	0	0.426054748	0.148915156	0.136005919
P02	0.316262819	0.052179566	0.035742003	0	0.1898198	0.202440052	0.117155794
P03	0.022609698	0.0348798	0.045790237	0.03559065	0.054368042	0.080634436	0.047623447
P04	0.024641893	0.325240947	0.188077249	0.092983018	0.342866241	0.373121046	0.199306137
P05	0.318666366	0.02868079	0.030035703	0	0.197183968	0.150601953	0.085634188
P06	0.125279303	0.183543381	0.196919388	0.270612535	0.194090227	0.137160173	0.097249371
P07	0.17518541	0.187654032	0.321008547	0.207099449	0.227334048	0.186735151	0.155555849
P08	0.14909474	0.032297571	0.028590519	0	0.112097779	0.078555606	0.057248294
P09	0.02167127	0.053081256	0.048890487	0.061027387	0.07411834	0.067171694	0.059835304
P10	0.21710734	0.207896309	0.458313897	0.097892515	0.285193609	0.457532643	0.268453819
P11	0.019769566	0.028320163	0.089542557	0.045792876	0.060559406	0.105551977	0.094245455
P12	0.029582937	0.08566569	0.020830868	0	0.193909422	0.028176602	0.05042831
P13	0.301345234	0.315088429	0.504603053	0	0.400051958	0.443556202	0.232372547
P14	0.197146812	0.32948593	0	0	0.367418329	0.202051713	0.182549668

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA, 2021.