

Dinámica económica y eficiencia del Puerto de Lázaro Cárdenas en el contexto del Tratado Integral y Progresista de la Asociación Transpacífica

Economic Dynamics and Efficiency of the Port of Lázaro Cárdenas in the Context of the Comprehensive and Progressive Agreement for Trans-Pacific Partnership

Zoe T. Infante Jiménez¹

Priscila Ortega Gómez²

Carlos Ortiz Paniagua³

DOI: 10.32870/mycp.v15i43.941

Resumen

Este trabajo tiene el propósito de analizar las potencialidades del Puerto de Lázaro Cárdenas, en su entorno internacional. Se contrastan las relaciones comerciales y el grado de integración con los principales puertos de los países miembros del CPTPP, mediante la metodología de Análisis Envolvente de Datos (DEA). Este estudio se enfoca en la evaluación estratégica del Puerto de Lázaro Cárdenas, comparándolo con otros puertos de los países miembros del CPTPP, mediante la metodología de Análisis Envolvente de Datos (DEA). A través de este enfoque cuantitativo se analizan la eficiencia y el rendimiento de los principales puertos de los países del CPTPP, identificando las ventajas competitivas y las áreas de mejora. Finalmente, se exponen las conclusiones orientadas a fortalecer aún más la dinámica económica regional, resaltando el rol central del Puerto de Lázaro Cárdenas en el contexto de los puertos del CPTPP, partiendo de los resultados del modelo DEA.

Abstract

This paper aims to analyze the potential of the Port of Lázaro Cárdenas in its international context. It contrasts trade relations and the degree of integration with the main ports of the member countries of the Comprehensive and Progressive Agreement for Trans-Pacific Partnership (CPTPP). The study focuses on the strategic evaluation of the Port of Lázaro Cárdenas, comparing it with other ports in the CPTPP member countries, using the Data Envelopment Analysis (DEA) methodology. Through this quantitative approach, the efficiency and performance of the major ports in CPTPP countries are analyzed, identifying competitive advantages and areas for improvement. Finally, conclusions are presented aimed at further strengthening the regional economic dynamics, highlighting the central role of the Port of Lázaro Cárdenas in the context of CPTPP ports, based on the results of the DEA model.

Palabras clave: Puerto Lázaro Cárdenas, Eficiencia, DEA, CPTPP

Keywords: Port Lázaro Cárdenas, Efficiency, DEA, CPTPP

Artículo recibido el 14 de octubre de 2024 y dictaminado el 09 de marzo de 2025.

1. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Avenida Gral. Francisco J. Múgica s/n, C. U., 58030, Morelia, Michoacán, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0223-2422>
Correo electrónico: zoe.infante@umich.mx
2. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Avenida Gral. Francisco J. Múgica s/n, C. U., 58030, Morelia, Michoacán, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3178-574X>
Correo electrónico: priscila.ortega@umich.mx
3. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Avenida Gral. Francisco J. Múgica s/n, C. U., 58030, Morelia, Michoacán, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3645-1527>
Correo electrónico: carlos.ortiz@umich.mx

Introducción

El Puerto de Lázaro Cárdenas, situado en la costa del Pacífico mexicano, se ha consolidado como un pilar fundamental en la infraestructura portuaria del país. Como resultado de un notable aumento en su capacidad de manejo de carga y a un conjunto de inversiones en infraestructura, este puerto se ha convertido en un nodo estratégico para el comercio internacional. Su relevancia ha ganado aún más importancia en el contexto del Acuerdo Integral y Progresista de Asociación Transpacífico (CPTPP), que agrupa a once países de la región Asia-Pacífico y América.

La eficiencia y competitividad de los puertos son fundamentales para facilitar el comercio global. En este marco analítico, el Análisis Envolvente de Datos (DEA) se presenta como una metodología eficaz para evaluar y comparar el rendimiento de los puertos. Este estudio tiene el propósito de realizar un análisis estratégico del Puerto de Lázaro Cárdenas en comparación con otros puertos clave de los países miembros del CPTPP.

A través de la metodología DEA, se busca:

- Evaluar la eficiencia operativa del Puerto de Lázaro Cárdenas en relación con otros puertos del CPTPP.
- Identificar las fortalezas y áreas de mejora del Puerto de Lázaro Cárdenas para optimizar su competitividad.
- Ofrecer recomendaciones estratégicas basadas en el análisis para fortalecer la posición del Puerto de Lázaro Cárdenas en el comercio internacional.

Se prevé que este enfoque ofrezca una comprensión más profunda del rol del puerto de Lázaro Cárdenas en la red de puertos del CPTPP y su contribución al desarrollo económico regional y nacional. Adicionalmente, el estudio no solo subraya la relevancia del puerto en el contexto actual, sino que también propone estrategias para su desarrollo futuro en un entorno comercial cada vez más globalizado y competitivo.

El puerto industrial de Lázaro Cárdenas es uno de los más importantes de México y el único en el país capaz de recibir barcos de hasta 165,000 toneladas. Su avanzada infraestructura incluye diversas terminales públicas y privadas.

Lázaro Cárdenas destaca por su excelente conectividad terrestre con las principales ciudades industriales de México, como Monterrey, Guadalajara, Querétaro y Veracruz. Un aspecto esencial para comprender esta dinámica es la conexión ferroviaria del puerto con el interior de México y con Estados

Unidos. Conviene precisar que actualmente la empresa responsable de esta red es Canadian Pacific Kansas City (CPKC), resultado de la fusión en 2023 entre Kansas City Southern de México (KCSM) y los ferrocarriles de Canadá. Esta integración dio lugar al primer ferrocarril transnacional que conecta de manera directa Canadá, Estados Unidos y México, sus rutas de transporte cubren distancias de 623 km a 1,303 km en 36 a 72 horas, facilitando el comercio nacional e internacional (Gobierno de México. (s. f.). Conectividad. Puerto Lázaro Cárdenas).

La eficiencia en la gestión portuaria constituye un pilar esencial para el desempeño de cualquier terminal marítima. Este concepto denota la capacidad de manejar cargas de forma efectiva, reduciendo costos y tiempos de espera, y maximizando el uso de los recursos disponibles (Pallis & de Langen, 2010). Su relevancia radica en el impacto directo que ejerce sobre los costos de transporte y la satisfacción de los usuarios, factores clave para mantener la competitividad en el sector.

Diversos autores han abordado el concepto desde distintas perspectivas. Por ejemplo, desde el enfoque de la productividad, Slack, Comtois y Sletmo (1996) lo definen como la capacidad de un puerto para manejar cargas y embarcaciones de manera rápida y eficaz, reduciendo al mínimo los tiempos de espera y los costos operativos (Slack, Comtois & Sletmo, 1996).

Tabla 1
Corredores multimodales

	<i>Tiempo de Recorrido</i>	<i>Kilómetros</i>	<i>Operador</i>	<i>Ventajas competitivas</i>
Lázaro Cárdenas - Altamira/ Tampico	58 a 70 horas	1,266 km	(CPKC)	Conexión con el puerto de mayor desarrollo del golfo de México. Posibilidad de desarrollar un corredor transoceánico Asia-Lázaro Cárdenas-Altamira-Europa.
Lázaro Cárdenas - Cuautitlán	36 a 48 horas	863 km	(CPKC)	Corredor más corto del Pacífico a la zona de mayor consumo del país. Conexión directa con terminal ferroviaria. Aduana interna.
Lázaro Cárdenas - Guadalajara	60 a 72 horas	896 km	(CPKC)	Fidelidad de los clientes a la línea naviera Maersk Sealand.
Lázaro Cárdenas - Monterrey	58 a 70 horas	1,292 km	(CPKC)	Conexión directa con la zona con mayor desarrollo industrial del país. Conexión con terminal intermodal. Cuenta con aduana interna.
Lázaro Cárdenas - Pantaco	36 a 48 horas	863 km	(CPKC)	Corredor más corto del Pacífico a la zona de mayor consumo del país. Conexión directa con terminal ferroviaria. Aduana interna.
Lázaro Cárdenas - Querétaro	36 a 48 horas	623 km	(CPKC)	Conexión a principal zona industrial del Bajío. Conexión directa a terminal intermodal.
Lázaro Cárdenas - San Luis Potosí	38 a 50 horas	792 km	(CPKC)	Conexión directa a terminal intermodal. Cuenta con aduana.
Lázaro Cárdenas - Toluca	42 a 55 horas	897 km	(CPKC)	Conexión a zona industrial del centro del país. Conexión con terminal ferroviaria
Lázaro Cárdenas - Veracruz	58 a 70 horas	1,303 km	(CPKC)	Conexión con el puerto que opera el mayor número de contenedores en el golfo de México. Posibilidad de desarrollar un corredor transoceánico Asia- Lázaro Cárdenas - Altamira – Europa. El operador portuario de ambas terminales es el HPH.

Fuente: Elaboración propia con información de la Administración Portuaria Integral de Lázaro Cárdenas (2024). *Puerto de Lázaro Cárdenas*.

Eficiencia portuaria

La eficiencia portuaria es un concepto fundamental en la gestión de puertos y denota la capacidad de un puerto para manejar cargas de manera efectiva y eficiente, minimizando costos y tiempos de espera mientras maximiza el uso de recursos disponibles (Pallis & de Langen, 2010). La eficiencia portuaria es crucial para la competitividad de los puertos, ya que influye directamente en los costos de transporte y en la satisfacción de los usuarios.

Algunos autores definen a la eficiencia portuaria con diversas perspectivas, desde la perspectiva de la productividad, según Slack, Comtois y Sletmo (1996), la eficiencia portuaria denota la capacidad de un puerto para manejar cargas y embarcaciones de manera rápida y efectiva, minimizando el tiempo de espera y los costos operativos (Slack, Comtois & Sletmo, 1996).

Desde la perspectiva de la competitividad, Lirn, Thanopoulou, Beynon y Beresford (2004) definen a la eficiencia portuaria como la habilidad de un puerto para ofrecer servicios de alta calidad que satisfacen las necesidades de sus usuarios y mejoran su posición competitiva en el mercado global (Lirn et al., 2004).

Definición desde la perspectiva de la gestión de calidad total (TQM), Talley (2007) explica que la eficiencia portuaria implica la implementación de sistemas de gestión de calidad total para mejorar continuamente todos los aspectos de las operaciones portuarias y aumentar la satisfacción del cliente (Talley, 2007).

Definición desde la perspectiva de la sostenibilidad, Acciaro et al. (2014) sugieren que la eficiencia portuaria no solo se mide en términos de productividad y costos, sino también en la capacidad del puerto para operar de manera sostenible y minimizar su impacto ambiental (Acciaro, Ghiara & Cusano, 2014). La sostenibilidad es un factor crucial, pues se busca proteger y mantener los recursos naturales y el bienestar de la humanidad.

Definición desde la perspectiva de la tecnología y automatización, Notteboom y Rodrigue (2005) destacan que la eficiencia portuaria se puede mejorar significativamente mediante la adopción de tecnologías avanzadas y la automatización de procesos, lo que reduce los tiempos de manipulación y mejora la precisión (Notteboom & Rodrigue, 2005).

Estas definiciones de la eficiencia portuaria nos ayudan a comprender diferentes enfoques y aspectos críticos de las operaciones portuarias, proporcionando una base para mejorar y optimizar la gestión de los puertos.

Metodología

Una de las metodologías más utilizadas para evaluar la eficiencia portuaria es el Análisis Envolvente de Datos (DEA). Esta técnica no paramétrica permite comparar la eficiencia relativa de diferentes unidades de decisión, como puertos, utilizando múltiples *inputs* y *outputs* (Cooper, Seiford, & Tone, 2007). El DEA es especialmente útil en el contexto portuario, ya que puede considerar diversas variables como el número de grúas, el personal, el espacio de almacenamiento y el volumen de carga manejado (Cullinane et al, 2006).

La figura 1 muestra la localización geográfica de los puertos evaluados, destacando la posición estratégica del Puerto de Lázaro Cárdenas en el comercio transpacífico.

Figura 1
Ubicación de los puertos analizados en el CPTPP



Fuente: Elaboración propia.

Conceptos clave de DEA

- Eficiencia: es la capacidad de una unidad de decisión para producir la mayor cantidad de *outputs* con el menor número de *inputs*.
- Unidades de decisión (DMU): las DMU son las entidades que se evalúan en términos de eficiencia. En el contexto portuario, cada puerto o terminal portuaria puede ser considerado una DMU. Frontera eficiente.

- *Inputs y outputs*
 - *Inputs*: Son los recursos utilizados por las DMU. En el contexto portuario, los ejemplos incluyen número de grúas, personal empleado, área de almacenamiento y costos operativos.
 - *Outputs*: Son los productos o servicios generados por las DMU. En los puertos, los ejemplos incluyen número de contenedores manejados (TEU), tonelaje de carga y tiempo de permanencia de los barcos. Análisis Envolvente de Datos (DEA).
- Eficiencia técnica: la eficiencia técnica mide la capacidad de una DMU para obtener el máximo *output* a partir de un conjunto dado de *inputs*. Una DMU es técnicamente eficiente si opera en la frontera eficiente determinada por el DEA.
- Frontera eficiente: la frontera eficiente es una curva o superficie formada por las DMU más eficientes en el conjunto de datos. Las DMU que se encuentran en esta frontera tienen una eficiencia relativa de 1 (o 100 %). Las DMU por debajo de esta frontera son ineficientes.
- Modelo CCR (Charnes, Cooper, y Rhodes): el modelo CCR asume rendimientos constantes a escala (CRS). Esto significa que un aumento proporcional en todos los *inputs* resulta en un aumento proporcional en todos los *outputs*.
- Modelo BCC (Banker, Charnes, y Cooper): el modelo BCC asume rendimientos variables a escala (VRS). Esto permite que las DMU operen bajo diferentes rendimientos a escala, esto es, un aumento proporcional en los *inputs* no necesariamente resulta en un aumento proporcional en los *outputs*.
- Rendimientos a escala
 - Constantes a escala (CRS): Asume que aumentar todos los *inputs* en una proporción dada resultará en un aumento de los *outputs* en la misma proporción.
 - Variables a escala (VRS): Permite la evaluación de DMU que operan bajo diferentes rendimientos a escala, reconociendo que las proporciones de aumento en los *inputs* y *outputs* pueden variar.
- Ponderaciones de *inputs* y *outputs*: los pesos (ponderaciones) en los modelos DEA representan la importancia relativa de cada *input* y *output*. Estos pesos son determinados dentro del modelo para maximizar la eficiencia de cada DMU individualmente.

- Eficiencia de escala: la eficiencia de escala evalúa si una DMU está operando en una escala óptima. Se calcula comparando la eficiencia técnica bajo CRS y VRS.
- *Slack*: los *slacks* son los excesos de *inputs* o déficits de *outputs* que una DMU puede ajustar para alcanzar la frontera eficiente. Identificar y corregir estos *slacks* puede mejorar la eficiencia de la DMU.
- Supereficiencia: la supereficiencia permite evaluar DMU que son más eficientes que otras en la frontera eficiente. Esto se hace excluyendo la DMU evaluada del análisis y midiendo su eficiencia respecto a la nueva frontera.

El Análisis Envolvente de Datos (DEA) es una técnica de investigación operativa utilizada para evaluar la eficiencia relativa de unidades de decisión (DMU) que convierten múltiples *inputs* en múltiples *outputs*. En el contexto de este estudio, las DMU son los puertos de los países miembros del CPTPP en la Cuenca del Pacífico.

El DEA permite comparar la eficiencia de estos puertos al considerar múltiples factores de desempeño, como la capacidad de manejo de carga, el volumen de comercio, la infraestructura disponible y la conectividad logística. Este enfoque proporciona una visión integral de cómo cada puerto utiliza sus recursos para generar resultados, identificando tanto a los más eficientes como a aquellos con potencial de mejora.

El estudio adoptó un enfoque cuantitativo, centrado en la medición y análisis de la eficiencia portuaria de los principales puertos del Pacífico en el contexto del Tratado Integral y Progresista de Asociación Transpacífico (CPTPP) donde once Estados son miembros. Este enfoque se eligió debido a la necesidad de obtener datos precisos y objetivos sobre la capacidad operativa y la dinámica económica de los puertos en estudio.

La población del estudio incluye todos los puertos del Pacífico. No obstante, se seleccionaron los principales puertos como muestra representativa debido a su importancia en el comercio internacional y su impacto en la economía regional. Los criterios de selección incluyeron el volumen de carga manejada, la conectividad internacional, y la disponibilidad de datos consistentes y comparables.

Análisis de datos

Los datos se analizarán utilizando métodos estadísticos y técnicas de análisis de eficiencia, como el Análisis Envolvente de Datos (DEA). Este método permite comparar la eficiencia relativa de cada puerto en función de múltiples *inputs* y *outputs*, proporcionando una medida clara de su desempeño operativo.

Análisis Envolvente de Datos

El Análisis Envolvente de Datos (DEA) es una metodología no paramétrica utilizada en investigación operativa y economía para evaluar la eficiencia relativa de unidades de toma de decisiones (DMU, por sus siglas en inglés), como pueden ser empresas, hospitales, bancos y, en este caso, puertos.

Charnes, Cooper y Rhodes fueron los pioneros en desarrollar la metodología DEA. Definieron el DEA como una técnica no paramétrica de programación matemática que evalúa la eficiencia de unidades de toma de decisiones (DMU) en la producción de múltiples *outputs* a partir de múltiples *inputs* (Charnes, Cooper & Rhodes, 1978).

Banker, Charnes y Cooper extendieron el modelo original de DEA para incluir retornos variables a escala. Esto permitió una evaluación más precisa de la eficiencia en situaciones donde los DMU operan en diferentes niveles de escala (Banker, Charnes & Cooper, 1984).

Antes del desarrollo formal del DEA, Farrell propuso un método para medir la eficiencia productiva. Su enfoque inspiró el desarrollo de técnicas no paramétricas como el DEA (Farrell, 1957).

Seiford y Thrall realizaron una revisión exhaustiva de los desarrollos y aplicaciones del DEA, proporcionando una base teórica sólida y recomendaciones para futuras investigaciones (Seiford & Thrall, 1990).

Cook y Zhu proporcionaron una introducción comprensiva y moderna al DEA, explorando tanto los fundamentos teóricos como las aplicaciones prácticas de la metodología (Cook & Zhu, 2008).

Estas definiciones y contribuciones de los autores mencionados son fundamentales para comprender la evolución y aplicación de la metodología del DEA en la evaluación de la eficiencia, incluyendo su uso en la evaluación de la eficiencia portuaria en los puertos del Pacífico.

Aplicaciones en puertos

El DEA se utiliza para evaluar la eficiencia portuaria comparando la capacidad de los puertos para manejar carga y generar ingresos con los recursos que utilizan. Esta metodología permite:

- Identificar puertos eficientes e ineficientes.
- Determinar las mejores prácticas y adoptar estrategias de mejora.
- Realizar *benchmarking* para mejorar el rendimiento operativo.
- Analizar el impacto de diferentes factores en la eficiencia portuaria.

Ventajas y limitaciones

Ventajas:

- No requiere especificar una forma funcional para la relación entre *inputs* y *outputs*.
- Puede manejar múltiples *inputs* y *outputs* simultáneamente.
- Identifica claramente las DMU más eficientes y proporciona recomendaciones específicas para mejorar la eficiencia de las DMU ineficientes.

Limitaciones:

- Sensible a la calidad y precisión de los datos utilizados.
- Los resultados pueden ser afectados por la presencia de *outliers* o DMU atípicas.
- No considera necesariamente la influencia de factores externos no controlados por las DMU.

Tabla 2
Variables clave en la medición del rendimiento portuario

<i>Variables</i>	<i>Inputs/outputs</i>	<i>Autores</i>
BL (longitud total de los muelles de las terminales)	Input	López, G. (2016), Martín y Ramírez (2017), Pérez y Álvarez (2009), González y Rodríguez (2015), Fernández (2014)
TA (área de la terminal)	Input	García, M. (2016), Soto y Méndez (2017), Navarro y Hernández (2009), Castro y López (2015), Ruiz (2014)
TGC (número total de grúas pórtico)	Input	Hernández, J. (2016), Ramírez y Ortiz (2017), Salinas y Pérez (2009), Rivas y González (2015), Peña (2014)
TEU manipulados	Output	García, P. (2016), Soto y Méndez (2017), Navarro y Hernández (2009), Castro y López (2015), Ruiz (2014)

Nota: Esta tabla ofrece una visión clara de los principales indicadores y variables usados para evaluar la eficiencia de los puertos, destacando los elementos que influyen en el rendimiento (*inputs*) y los resultados generados (*outputs*).

Fuente: Elaboración propia según la revisión literaria.

El DEA es una herramienta poderosa para medir la eficiencia relativa de los puertos del Pacífico en el contexto del CPTPP, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones y la mejora continua en la gestión portuaria.

Modelo CCR (Charnes, Cooper y Rhodes, 1978)

- Supuestos: Retornos constantes a escala.
- Aplicación: Es adecuado cuando todos los puertos operan en una escala similar, lo que permite comparaciones directas.
- Ventajas: Es un modelo sencillo y directo para comparar las DMU (unidades de toma de decisiones).
- Orientación a *inputs*: El modelo CCR orientado a *inputs* se enfoca en minimizar los *inputs* mientras se mantienen constantes los niveles de *outputs*. Este enfoque busca identificar oportunidades para mejorar la eficiencia operativa al reducir el uso de recursos.

Modelo BCC (Banker, Charnes y Cooper, 1984)

- Supuestos: Retornos variables a escala.
- Aplicación: Es ideal para situaciones donde los puertos operan a diferentes escalas, proporcionando una evaluación más precisa de la eficiencia relativa.
- Ventajas: Permite descomponer las ineficiencias en componentes técnicos y de escala, ofreciendo una visión más detallada de las áreas donde los puertos pueden mejorar.
- Aplicación: Se utiliza para medir la eficiencia productiva de los puertos, teniendo en cuenta las diferencias en su tamaño y escala operativa.

Tabla 3

Comparación de modelos de Análisis Envolvente de Datos (DEA)

<i>Modelo</i>	<i>Eficiencia</i>	<i>Restricciones</i>
CCR	Técnica	Retorno a escala constante (CRS)
BCC	Técnica y de escala	Retorno a escala variable (VRS)

Fuente: Elaboración propia.

Los modelos CCR (Charnes, Cooper y Rhodes) y BCC (Banker, Charnes y Cooper) son los modelos DEA más utilizados. El modelo CCR mide la eficiencia técnica, mientras que el modelo BCC también considera la eficiencia de escala.

Para la evaluación se seleccionó un conjunto de puertos de los países miembros del CPTPP, incluyendo puertos de países como Australia, Brunei Darussalam, Canadá, Chile, Malasia, México, Japón, Nueva Zelanda, Perú, Singapur y Vietnam. Estos puertos fueron elegidos por su importancia estratégica en el comercio regional y por la disponibilidad de datos relevantes para el análisis.

La selección de estos puertos permite una comparación objetiva del Puerto de Lázaro Cárdenas con los demás puertos, se busca evaluar y comparar la eficiencia operativa del Puerto de Lázaro Cárdenas con otros puertos del CPTPP en la Cuenca del Pacífico. La evaluación se basa en datos de fuentes oficiales como las autoridades portuarias, las estadísticas de comercio exterior y los estudios de mercado.

Los puertos seleccionados de los países integrantes del Tratado Integral y Progresista de Asociación Transpacífico (CPTPP) son Puerto de Manzanillo,

Puerto de Lázaro Cárdenas, Puerto de Osaka, Puerto de Tokio, Puerto de Yokohama, Puerto de Vancouver, Puerto de Singapur, Puerto de Melbourne, Puerto de Klang, Puerto de Auckland, Puerto de Callao, Puerto de San Antonio, Puerto de Bahía de Valparaíso, Puerto de Ciudad Ho Chi Minh (Saigón) y Puerto de Hai Phong.

Estos puertos son nodos esenciales en la red de comercio internacional, facilitando la conexión entre los países del CPTPP y otras regiones del mundo. Su infraestructura y ubicación estratégica permiten un flujo eficiente de mercancías, impulsando el comercio global.

Análisis de resultados

En este análisis se consideran quince puertos, con una estrecha relación de conectividad en términos de comercio, seis en América, siete en Asia, dos en Oceanía. Todos ellos se encuentran en países miembros del Tratado Integral y Progresista de Asociación Transpacífico (CPTPP, por sus siglas en inglés). El análisis se enfoca en evaluar la eficiencia de cada puerto en el año 2023. Para ello, se aplican ambos modelos, DEA-CCR y DEA-BCC, para medir la eficiencia de los puertos y terminales de contenedores en estudio.

Tabla 4
Estadísticas descriptivas de las variables de *input* y *output*

<i>Variables</i>	<i>TEU</i>	<i>TGP</i>	<i>TA</i>	<i>BL</i>
Total de datos	15	15	15	15
Mínimo	78,897	10	550,000	2,855
Máximo	39,012,954	228	12,000,000	26,000
Media	6456688.87	40.33333333	2804733.33	8535.46667
Desviación estándar	9744017.85	54.2555681	3095072.64	6825.8139

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos con el programa DEAOs.

Interpretación

- TEU: La capacidad de manejo de contenedores varía significativamente entre los puertos, con un rango de 78,897 TEU a 39,012,954 TEU. La media está 6456688.87 en TEU, pero la alta desviación estándar (9744017.85) sugiere que hay una gran dispersión en las capacidades entre los puertos.

- TGP: El número de grúas varía de 10 a 228, con una media de 40.3333333. La desviación estándar de 54.2555681 indica que algunos puertos están mucho más equipados que otros.
- TA: El área de almacenamiento oscila entre 550,000 m² y 12,000,000 m², con una media de 2,804,733.33 m². La desviación estándar alta sugiere una gran diferencia en la infraestructura disponible.
- BL: La longitud de muelle varía de 2,855 m a 26,000 m, con una media de 8535.46667 m. La desviación estándar de 6,825.8139 m refleja la variabilidad en la capacidad de atraque entre los puertos.

Diversidad y variabilidad

- La variabilidad en los datos, reflejada en la desviación estándar, es crucial porque el DEA evalúa la eficiencia comparativa. La diversidad en la capacidad y recursos de los puertos permite identificar qué puertos son más eficientes en relación con otros, considerando las diferentes escalas y tamaños.
- Esta variabilidad es también esencial para los modelos DEA-CCR y DEA-BCC, que analizan la eficiencia bajo suposiciones de retornos constantes y variables a escala, respectivamente.

Identificación de ineficiencias

- Los valores mínimos y máximos indican los extremos en el rendimiento de los puertos. Los puertos que se acercan a los valores máximos en *output* con *inputs* bajos son considerados eficientes, mientras que aquellos con altos *inputs* y bajos *outputs* pueden ser considerados ineficientes.

En esta investigación, el análisis empírico DEA utiliza una medida de resultados: TEU manejados (rendimiento de contenedores: el número de unidades equivalentes a contenedores de veinte pies manejados) y tres medidas de entrada: TGC (número total de grúas pórtico), TA (área terminal) y BL (longitud total de atraque de las terminales).

Los datos se obtuvieron de las autoridades portuarias de los puertos, el análisis de los resultados empíricos se proporcionó mediante el *software* DEAOS, el cual nos proporcionó los porcentajes de eficiencia.

Tabla 5
Evaluación de la eficiencia portuaria

<i>DMU PUERTOS</i>	<i>Continente</i>	<i>País</i>	<i>CCR Retorno a escala constante (CRS)</i>	<i>BCC Retorno a escala variable (VRS)</i>
Puerto de Manzanillo	Norteamérica	México	54.6 %	57.7 %
Puerto de Lázaro Cárdenas	Norteamérica	México	50 %	100 %
Puerto de Osaka	Asia	Japón	32.3 %	33.5 %
Puerto de Tokio	Asia	Japón	53.1 %	53.2 %
Puerto de Yokohama	Asia	Japón	78.7 %	100 %
Puerto de Vancouver	Norteamérica	Canadá	100 %	100 %
Puerto de Singapur	Sudeste Asiático	Singapur	80.4 %	100 %
Puerto de Melbourne	Oceanía	Australia	49.8 %	54.7 %
Puerto de Klang	Sudeste Asiático	Malasia	86.2 %	95.1 %
Puerto de Auckland	Oceanía	Nueva Zelanda	56.9 %	100 %
Puerto de Callao	Sudamérica	Perú	36.4 %	45.4 %
Puerto de San Antonio	Sudamérica	Chile	49.4 %	100 %
Puerto de Valparaíso	Sudamérica	Chile	3 %	100 %
Puerto de Ciudad Ho Chi Minh (Saigón)	Sudeste Asiático	Vietnam	100 %	100 %
Puerto de Hai Phong	Sudeste Asiático	Vietnam	15.5 %	15.90 %

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos con el programa DEEOS.

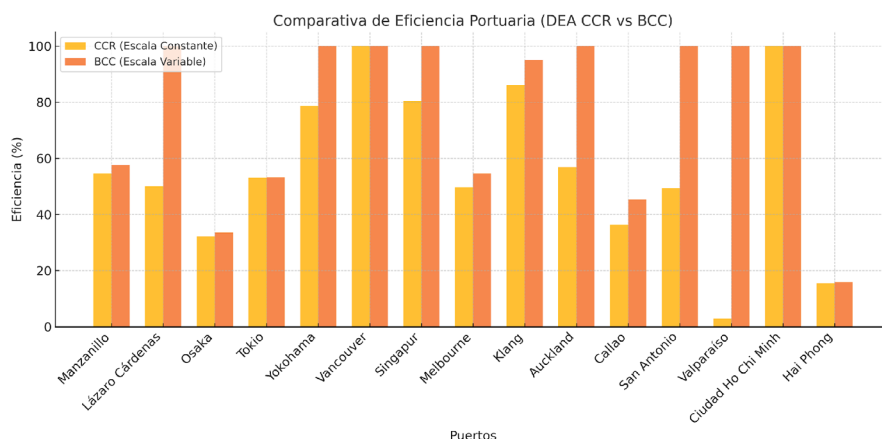
Benchmarking

- Estos datos permiten crear un modelo de *benchmarking*, donde se pueden identificar los puertos más eficientes que sirven como referencia para mejorar a los demás.

Eficiencia técnica pura (BCC)

El Puerto de Lázaro Cárdenas tiene un BCC del 100 %, lo cual evidencia que, bajo un modelo de rendimientos variables, el puerto está operando eficientemente dado el tamaño de sus recursos. Este puerto aprovecha al máximo sus capacidades actuales.

Figura 2
Comparativa de eficiencia portuaria (DEA CCR vs. BCC)



Fuente: Elaboración propia.

La figura siguiente compara los porcentajes de eficiencia de los puertos evaluados bajo los modelos DEA-CCR (escala constante) y DEA-BCC (escala variable). puede apreciarse que puertos como Vancouver, Singapur y Ciudad Ho Chi Minh alcanzan un 100 % en ambos modelos, mientras que otros, como Valparaíso o Hai Phong, presentan márgenes de mejora significativos. El Puerto de Lázaro Cárdenas destaca por su eficiencia técnica pura (100 % BCC), aunque su eficiencia global (50 % CCR) revela oportunidades de optimización en escala e infraestructura.

Eficiencia global (CCR)

El CCR del 50 % en el Puerto de Lázaro Cárdenas indica que, bajo un modelo de rendimientos constantes, el puerto está operando a la mitad de su potencial en comparación con los puertos más eficientes (CCR del 100 % como Vancouver, Ciudad Ho Chi Minh). Ello sugiere que el puerto podría beneficiarse de mejoras en la escala o en la tecnología.

El Puerto de Lázaro Cárdenas muestra eficiencia en términos de su capacidad actual (100 % BCC), pero tiene margen de mejora en la eficiencia global (50 % CCR). Siguiendo el modelo de puertos más eficientes como Vancouver, Singapur y Yokohama, el puerto podría mejorar significativamente su eficiencia mediante inversiones en infraestructura y optimización de procesos, acercándose más a los niveles de rendimiento óptimos. Para mejorar el CCR del Puerto de Lázaro Cárdenas del 50 %, resulta esencial invertir en infraestructura, optimizar la capacidad operativa, adoptar nuevas tecnologías y capacitar al personal. Con una estrategia bien definida y la implementación de estas recomendaciones, el puerto puede mejorar su eficiencia global y operar más cerca de su potencial óptimo.

Una de las ventajas del método DEA es que permite ordenar las unidades de mayor a menor eficiencia. No obstante, los resultados numéricos pueden variar ligeramente según el método utilizado, ya que representan una media aproximada, lo que puede hacer que la clasificación sea discutible.

Conclusiones

La evaluación estratégica del Puerto de Lázaro Cárdenas con la metodología de Análisis Envolvente de Datos (DEA) da un panorama claro de las oportunidades y desafíos de este puerto en el contexto del Tratado Integral y Progresista de Asociación Transpacífico (CPTPP). Los resultados del análisis muestran que, aunque el Puerto de Lázaro Cárdenas tiene una eficiencia técnica pura (BCC) del 100 %, lo cual evidencia que está utilizando sus recursos de manera óptima en términos relativos, su eficiencia global (CCR) es solo del 50 %. Ello sugiere que, aunque el puerto opera bien bajo rendimientos variables, tiene una importante área de mejora en términos de escala y optimización de infraestructura para aumentar su capacidad competitiva en comparación con otros puertos de la región del Pacífico. En materia de conectividad e infraestructura portuaria, resulta necesario destacar con mayor claridad el rol

de la intermodalidad. La integración entre transporte marítimo, ferroviario y carretero constituye un factor determinante para la eficiencia del puerto, ya que permite reducir tiempos y costos logísticos, además de potenciar su competitividad frente a otros puertos del Pacífico. En el escenario del CPTPP, donde países como Canadá, Japón, Singapur y Vietnam poseen puertos altamente eficientes, la competencia es feroz. Esto hace imprescindible que Lázaro Cárdenas fortalezca sus capacidades operativas si desea consolidarse como una alternativa viable frente a puertos más saturados o congestionados, como los de Singapur o Tokio. La implementación de estrategias de mejora basadas en modelos cuantitativos, como el DEA, no solo es útil para identificar áreas de mejora, sino que también es crítica para aprovechar al máximo el potencial del puerto. Inversiones en infraestructura, adopción de nuevas tecnologías y la optimización de procesos podrían llevar a un mejor posicionamiento del puerto en el orden internacional.

Respecto a las relaciones comerciales, conviene especificar con mayor detalle las rutas activas que conectan a Lázaro Cárdenas con Asia y Norteamérica, así como explicar de qué manera dichas rutas se articulan con los compromisos y beneficios derivados del TIPAT. Esta precisión facilitará entender cómo el puerto se convierte en una plataforma estratégica para la diversificación del comercio exterior de México.

El *benchmarking* contra los puertos más eficientes del CPTPP, como Vancouver, Ciudad Ho Chi Minh o Singapur, es una estrategia clave para identificar las mejores prácticas. Esto permitirá a Lázaro Cárdenas competir más eficazmente en un entorno globalizado, donde la eficiencia es un diferenciador crucial en el comercio internacional. Adicionalmente, los beneficios de mejorar la eficiencia operativa no únicamente se traducirían en un mayor flujo de mercancías, sino también en un impulso económico regional, con efectos positivos en la generación de empleo y el desarrollo industrial de Michoacán y sus alrededores.

En el ámbito de la integración regional y global, es pertinente ampliar la reflexión sobre la participación del puerto en acuerdos bilaterales y multilaterales, su grado de inserción en cadenas de valor agregado, y la construcción de alianzas estratégicas con otros puertos y operadores logísticos. Asimismo, se recomienda analizar su rol en organismos internacionales vinculados con la logística, el comercio y la seguridad marítima, lo cual permitiría situar al puerto dentro de una gobernanza global más amplia.

Finalmente, este estudio subraya la importancia de continuar evaluando la eficiencia portuaria a través de herramientas como el DEA. La identificación de las fortalezas y debilidades del Puerto de Lázaro Cárdenas es sólida para tomar decisiones estratégicas, que podrían mejorar la competitividad del puerto y posicionarlo como un nodo clave en la red de comercio internacional del Pacífico. A medida que el comercio global continúa evolucionando, los puertos que se adapten más rápidamente a las demandas de eficiencia serán los que dominen el mercado. Por ello, las recomendaciones derivadas de este análisis son fundamentales para asegurar el crecimiento y el éxito del Puerto de Lázaro Cárdenas a largo plazo.

Referencias

- Acciaro, M., Ghiara, H., & Cusano, M. I. (2014). *Energy management in sea-ports: A new role for port authorities*. *Energy Policy*, 71, 4–12. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.04.013>
- Administración Portuaria Integral de Lázaro Cárdenas. (2024). *Puerto de Lázaro Cárdenas*. <https://www.puertolazarocardenas.com.mx>
- Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). *Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis*. *Management Science*, 30(9), 1078–1092. <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078>
- Castro, A., & López, D. (2015). *Evaluación del rendimiento portuario mediante análisis envoltante de datos (DEA): Aplicación a terminales latinoamericanas* [Artículo científico]. Universidad del Pacífico.
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). *Measuring the efficiency of decision-making units*. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429–444. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- Cook, W. D., & Zhu, J. (2008). *Data envelopment analysis: Modeling operational processes and measuring productivity*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-74578-2>
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Tone, K. (2007). *Data envelopment analysis: A comprehensive text with models, applications, references and DEA-Solver Software* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-45283-3>
- 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: Policy and Practice*, 40(4), 354–374. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2005.07.003>

- Farrell, M. J. (1957). *The measurement of productive efficiency*. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)*, 120(3), 253–290. <https://doi.org/10.2307/2343100>
- Fernández, L. (2014). *Análisis de la eficiencia portuaria considerando la longitud total de muelles (BL) como variable de infraestructura* [Tesis de maestría]. Universidad de Valencia.
- García, M. (2016). *Indicadores de desempeño portuario y productividad en terminales marítimas de carga general* [Informe técnico]. Instituto Nacional de Transporte y Logística.
- García, P. (2016). *Evaluación de la eficiencia portuaria mediante modelos DEA orientados al output*. *Revista de Estudios Marítimos y Portuarios*.
- Gobierno de México. (s. f.). Conectividad. Puerto Lázaro Cárdenas. Recuperado de <https://www.puertolazarocardenas.com.mx/plc25/conectividad>
- González, C., & Rodríguez, J. (2015). *Longitud de muelles y productividad en terminales de contenedores: Evidencia empírica de puertos españoles*. *Revista Iberoamericana de Economía del Transporte*.
- Hernández, J. (2016). *Modelos de eficiencia portuaria basados en análisis envolvente de datos (DEA)*. Universidad Autónoma de Madrid.
- Lirn, T. C., Thanopoulou, H. A., Beynon, M. J., & Beresford, A. K. C. (2004). *An application of AHP on transshipment port selection: A global perspective*. *Maritime Economics & Logistics*, 6(1), 70–91. <https://doi.org/10.1057/palgrave.mel.9100093>
- López, G. (2016). *Medición del rendimiento portuario considerando la variable BL (longitud total de los muelles de las terminales)* [Artículo científico]. *Revista de Logística y Competitividad Portuaria*.
- Martín, P., & Ramírez, R. (2017). *Evaluación comparativa del rendimiento portuario mediante DEA con variables físicas de infraestructura*. *Revista de Ingeniería y Gestión Portuaria*.
- Navarro, T., & Hernández, R. (2009). *Análisis de productividad portuaria mediante indicadores de eficiencia técnica*. *Revista Transporte y Territorio*.
- Notteboom, T. E., & Rodrigue, J. P. (2005). *Port regionalization: Towards a new phase in port development*. *Maritime Policy & Management*, 32(3), 297–313. <https://doi.org/10.1080/03088830500139885>
- Pallis, A. A., & de Langen, P. W. (2010). *Seaports and the intermodal interface: Institutional aspects*. *Research in Transportation Economics*, 27(1), 49–54. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2009.12.006>

- Peña, S. (2014). *Determinantes de la eficiencia en puertos comerciales: Un enfoque DEA orientado a la infraestructura*. Estudios Marítimos y Portuarios.
- Pérez, D., & Álvarez, L. (2009). *Eficiencia técnica en terminales portuarias: Aplicación del DEA con variable BL*. Revista Latinoamericana de Economía del Transporte.
- Ramírez, F., & Ortiz, H. (2017). *Comparación de eficiencia portuaria en América Latina mediante DEA orientado al output*. Revista de Análisis Económico Regional.
- Rivas, M., & González, E. (2015). *Desempeño y eficiencia técnica en puertos: Aplicación empírica con DEA*. Revista de Economía Aplicada al Transporte.
- Ruiz, C. (2014). *Indicadores de rendimiento en puertos de contenedores: Un enfoque basado en infraestructura*. Revista de Logística y Competitividad Portuaria.
- Salinas, R., & Pérez, G. (2009). *Evaluación de la eficiencia portuaria mediante técnicas no paramétricas (DEA)*. Revista Marítima Latinoamericana.
- Seiford, L. M., & Thrall, R. M. (1990). *Recent developments in DEA: The mathematical programming approach to frontier analysis*. Journal of Econometrics, 46(1–2), 7–38. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(90\)90045-U](https://doi.org/10.1016/0304-4076(90)90045-U)
- Slack, B., Comtois, C., & Sletmo, G. (1996). *Shipping lines as agents of change in the port industry*. Maritime Policy & Management, 23(3), 289–300. <https://doi.org/10.1080/03088839600000042>
- Soto, A., & Méndez, B. (2017). *Modelos comparativos de eficiencia portuaria: Análisis DEA para terminales de contenedores*. Revista de Estudios Económicos del Transporte.
- Talley, W. K. (2007). *Port performance: An economics perspective*. Research in Transportation Economics, 17, 499–516. [https://doi.org/10.1016/S0739-8859\(06\)17022-8](https://doi.org/10.1016/S0739-8859(06)17022-8)