

¿Influyen las capacidades tecnológicas y productivas sobre la eficiencia de los puertos de América del Norte?

Oswaldo Urbano Becerril Torres¹

Gabriela Munguía Vázquez²

Sara Quiroz Cuenca³

Resumen

La pandemia generada por el SARS-CoV-2 ha puesto al descubierto fortalezas y debilidades a nivel mundial. Ha redimensionado el concepto de globalización como un suceso benéfico para todos. El frenado de la actividad económica global y, después su reactivación, ha dado visibilidad a la interdependencia de las cadenas de suministro, pero también su debilidad frente a fenómenos como el referido. De ello, un actor importante ha sido el sistema portuario mundial, a través del cual se desplazan gran cantidad de productos entre regiones y países. Por ello, la importancia de conocer el nivel de eficiencia con el que funciona en la región de América del Norte.

Así, en este contexto, el objetivo de esta investigación es analizar la eficiencia técnica de los puertos de esta región, e identificar el efecto que tienen las capacidades productivas y tecnológicas sobre esta, dada la relevancia que tienen en el contexto de la nueva globalización, tras la aparición del SARS-CoV-2.

Entre los principales hallazgos se encuentra que Canadá es el país que ha tenido mejores niveles de eficiencia técnica portuaria en Norte América, aunque en los tres países se ha venido reduciendo durante el periodo de estudio. Al considerar las capacidades productivas, se ha observado que la brecha en eficiencia se reduce entre ellos, no obstante, al considerar las capacidades tecnológicas, Canadá se separa favorablemente de Estados Unidos y México.

Conceptos clave: Desempeño portuario de contenedores, tiempo de permanencia en los puertos, índice de conectividad del transporte marítimo, índice de preparación tecnológica, índice de capacidades productivas.

Introducción

Frente a la globalización económica, una cantidad importante del movimiento de mercancías se realiza a través del mar. Ello ha generado una fuerte competencia entre las empresas navieras, incrementando cada vez más su capacidad de carga y el desplazamiento de contenedores a través de los puertos. Sumado a ello, es relevante la seguridad del transporte y sus bajos costos. De acuerdo a la Organización Marítima Internacional:

el transporte marítimo internacional representa aproximadamente el 80% del transporte mundial de mercancías entre los pueblos y comunidades de todo el mundo.

¹ Doctor. Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Economía. obecerrilt@uaemex.mx

² Doctora. Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Economía. gmunguiav@uaemex.mx

³ Doctora. Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Economía. squirozc@uaemex.mx

El transporte marítimo es el sistema de transporte internacional más eficiente y rentable para la mayoría de las mercancías; constituye un medio de transporte internacional de mercancías seguro y de bajo costo, que fomenta el comercio entre las naciones y los pueblos, al tiempo que contribuye a su prosperidad (Organización Marítima Internacional, 2022).

Ante este contexto, los puertos tienen un papel protagónico ya que a través de ellos se articulan las entradas y salidas de bienes comerciables en el contexto global.

Respecto a los puertos, estos son fundamentales para el crecimiento económico y desarrollo de los países que cuentan con acceso al mar, dado que abastecen las cadenas de suministro permitiendo los flujos comerciales, como lo argumentan Notteboom, Pallis y Rodrigue (2022d). Según ellos, los puertos aportan valor a su región dado que generan beneficios económicos y sociales. Así, en lo económico, reflejan las estrategias de competencia inter portuaria.

También pueden considerarse como favorecedores del desarrollo económico, dado que se convierten en catalizadores, fomentando el desarrollo en sectores económicos específicos y micro regiones cercanas a los puertos a lo largo de los corredores, a través del valor agregado, el empleo, los ingresos fiscales y el rendimiento de la inversión, además de que son importantes generadores de empleo.

Así, dada la importancia portuaria para los países, conocer sobre los niveles de eficiencia con la que funcionan, permite a los especialistas del sector, contar con elementos para la toma de decisiones, en cuanto a administración y gestión, entre otras cosas. Así mismo, la inversión física, el capital humano y el esfuerzo tecnológico, son elementos que se articulan a las capacidades tecnológicas, en tanto que las capacidades productivas se relacionan con los recursos productivos, las capacidades empresariales, mientras que los vínculos de producción, determinan la capacidad de un país para producir bienes y servicios y que les permite crecer y desarrollarse. Ambos tipos de capacidades pueden influir sobre los niveles de eficiencia de los puertos.

De ello, el objetivo de esta investigación es determinar cómo influyen las capacidades productivas y tecnológicas en sobre el nivel de eficiencia de los puertos de la región de América del Norte. Para ello, en el apartado dos se presenta una revisión de la literatura existente en torno al objeto de estudio, identificando que son escasos los estudios, dada la dificultad para definir las variables output e inputs que las relacionen. Además se ha podido constatar que son insuficientes para esta región, así como que es común el empleo de la metodología de Análisis Envolvente de datos (DEA por sus siglas en inglés, Data Envelopment Analysis) en este tipo de estudios.

En el apartado tres se presenta la metodología de Análisis de Fronteras Estocásticas (SFA por sus siglas en inglés, *Stochastic Frontier Analysis*), la cual ha sido poco empleada en el ámbito del objeto de estudio, versus el Análisis Envolvente de Datos, DEA. En el apartado cuatro se presenta información sobre las características de la variable output, e inputs, a emplear en el presente estudio, así como las fuentes de información de donde se obtuvieron los datos. En el apartado cinco se presentan los principales resultados obtenidos, así como las conclusiones que de ellos se derivan.

2. Estado del objeto de estudio

La literatura sobre el análisis de la eficiencia de los puertos es escasa, dada la complejidad que implica la definición de las variables input y output en la medición y modelización, como lo reconocen Infante y Gutiérrez (2010), quienes expresan que en ese momento eran escasos los estudios que aportaban información sobre la eficiencia portuaria por las dificultades para realizar comparaciones internacionales en ese rubro. Reconociendo también la carencia de análisis para América, versus, los existentes para Asia y Europa.

Es a partir de lo anterior que Infante y Gutiérrez enfocan su análisis en la región de América del Norte en relación a la eficiencia portuaria, entre los años 2003 y 2008, mediante la metodología de Análisis Evolvente de Datos.

Para su estudio, Infante y Gutiérrez, emplean como variables input la longitud del atraque, el área y el número total de grúas de las terminales de contenedores en los puertos, las cuales inciden sobre el rendimiento de contenedores, considerada este como variable output. Argumentando que el número de contenedores que se mueven en un puerto es un buen indicador del output de una terminal o un puerto.

Así mismo, Delfín-Ortega y Lucas (2022) emplean la misma metodología que Infante y Gutiérrez (2010) para analizar la eficiencia, y el índice de Malmquist para la productividad de la misma región, en el periodo 2010-2018, identificando los puertos de más alto crecimiento en productividad, entre ellos, el de Los Ángeles. Así también, reconocen que los puertos son esenciales para la economía de un país, dado que contribuyen a su competitividad y que, en la medida en que son ineficientes, ello, encarece los costos de exportación e importación.

Para Notteboom, Pallis y Rodrigue (2022a) la eficiencia en el ámbito portuario es un aspecto multidimensional que incluye operaciones marítimas, terminales y de interior. Así, la razón para medir la eficiencia es que los puertos miden el desempeño para monitorear sus actividades, y comparar el desempeño actual con el pasado y comparar el desempeño presente con el esperado. Así, el desempeño de la conectividad de un puerto se relaciona con su capacidad para integrarse en las cadenas de suministro marítimo y la función operativa de un puerto como nodo en las redes de transporte.

Si bien el transporte por carretera y ferrocarril es importante para el desplazamiento de mercancías en Europa y América del Norte, en el ámbito internacional el transporte marítimo es el que dinamiza al comercio, como lo reconocen Notteboom, Pallis y Rodrigue (2022b, p. 5), ya que, como argumentan, “el contenedor y los sistemas de transporte marítimo y terrestre asociados han demostrado ser fundamentales para las olas consecutivas de globalización y crecimiento del comercio mundial”. Así, para ellos, la globalización de la producción es un motor de la globalización del comercio, ya que están interrelacionados.

De acuerdo a Notteboom, Pallis y Rodrigue (2022c, p. 6), “el transporte de contenedores es una industria altamente intensiva en capital donde algunos activos son propios, otros se arriendan y donde existe una amplia variabilidad en las bases de costos”, por lo que, las líneas navieras de contenedores también se enfrentan a grandes inversiones en sus flotas, lo que ha llevado, al mismo tiempo, a una mayor demanda de transporte marítimo de contenedores.

En la época contemporánea, un elemento importante para la competitividad de los puertos es la eficiencia con la que estos funcionan. También es relevante el nivel de especialización en un mundo globalizado, en paralelo con la evolución de la industria naval y las operaciones marítimas. De manera específica, Pérez, González y Trujillo (2020) investigan cómo la especialización y el tamaño de los puertos influyen sobre la eficiencia portuaria en España. Encontrando una correlación positiva entre el tamaño del puerto y su nivel de especialización y la eficiencia. De ello, sugieren el desarrollo de una planificación estratégica que favorezca la coordinación entre puertos, el desarrollo conjunto de infraestructura y evitar la duplicidad de servicios.

En línea con el análisis de Pérez, González y Trujillo (2020), Zhu (2021) argumenta que tras la pandemia generada por el *Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2*, (SARS-CoV-2), en un contexto de la débil recuperación económica mundial –que ocasionó una doble caída del comercio interior y exterior–, el nivel de eficiencia portuaria determina el éxito o el fracaso del desarrollo portuario. Ante ello, Zhu mide y analiza la eficiencia portuaria, encontrando que el nivel de desarrollo de varios puertos es muy diferente, y el nivel de comercio exterior tiene un impacto significativo en la eficiencia portuaria.

La importancia de China en el comercio mundial se ve centrada en los estudios sobre la eficiencia de sus puertos y poco analizada de manera particular sobre sus terminales de contenedores en ellos. Ante esto, el estudio de Li, Seo y Ha (2021), tuvo como objetivo examinar la eficiencia operativa de las terminales de contenedores chinas para las 20 principales empresas de terminales de contenedores.

Para ello emplearon la metodología de Análisis Envoltante de Datos de supereficiencia, considerando el movimiento de contenedores como variable output, encontrando que la terminal que ocupó el primer puesto fue la de Shanghai Mingdong Container Terminal Co., Ltd., y en segundo y tercer lugar, la de Shanghai Shengdong International Container Terminal Co., Ltd., Shanghai International Port (Group) Co., Ltd, respectivamente.

Para el análisis logístico, uno de los retos es pronosticar el comportamiento de la eficiencia portuaria, por la propia naturaleza y complejidad que significa la identificación de las variables input y output. De ello, una de las investigaciones que trata de aportar en este sentido es la de Saosaovaphak, Chaiboonsri, y Wannapan (2020), quienes estudiaron el índice de eficiencia técnica en seis puertos importantes en Tailandia, Singapur, Malasia y Filipinas, considerando los flujos de contenedores, el número de llegadas de buques, los transbordos, los rangos de longitudes de los muelles y las unidades de las terminales funcionales, mediante el Análisis Envoltante de Datos de panel de arranque, y el modelo de pronóstico de series de tiempo estructural bayesiano, para aclarar y predecir la relación de eficiencia técnica corregida por sesgo de los puertos.

Así, derivado de lo anterior, se puede argumentar que existen pocos estudios de eficiencia portuaria en la región de América del Norte, y que, en la mayoría de los estudios, se ha empleado la metodología DEA, por lo que el presente estudio abona al entendimiento de la eficiencia portuaria en esta región, por lo que en el siguiente apartado se presenta la metodología a emplear, que es el Análisis de Fronteras Estocásticas.

3. Metodología

Entre los primeros trabajos empíricos que reconocen la existencia de ineficiencias técnicas en empresas vinculadas a la producción de un bien específico, se encuentran los de Pitt y Lee (1981) y Kalirajan (1981). Ello a partir de que en la función de producción de frontera estocástica se había postulado la existencia de ineficiencia técnica de producción. Autores como Kumbhakar, Ghosh y McGuckin (1991), Reifschneider y Stevenson (1991) y Huang y Liu (1994) son pioneros en proponer modelos donde se identifican los efectos de la ineficiencia técnica en las funciones de producción de frontera estocástica, en los cuales los parámetros de la frontera y del modelo de ineficiencia son estimados de manera simultánea.

En Battese y Coelli (1995) se propone un modelo de ineficiencia técnica de una función de producción de frontera estocástica, para datos en panel, el cual se caracteriza por condicionar los efectos de la ineficiencia a que sean estocásticos. Battese y Coelli proponen la estimación del cambio tecnológico en la frontera y las ineficiencias técnicas, de manera simultánea.

La función de producción de frontera estocástica propuesta por Battese y Coelli, presenta la siguiente estructura modelística:

$$Y_{it} = \exp(x_{it} + V_{it} - U_{it}) \quad (1)$$

donde el sub índice i hace referencia a i -ésima unidad tomadora de decisión, y t se corresponde con cada momento de tiempo. Y_{it} denota el output; $x_{i,t}$ son inputs de producción y otras variables explicativas relacionadas, expresadas como vectores; β es un vector de parámetros a estimar; los $V_{i,t}$ son errores aleatorios iid $N(0, \sigma)$; las $U_{i,t} \geq 0$ son variables aleatorias, asociadas a la ineficiencia técnica de la producción, las cuales se suponen independientes (Battese y Coelli (1995)).

La ecuación (1) expresa la función de producción de frontera estocástica en función de los valores originales de la producción. Así mismo, se propone que los efectos de ineficiencia técnica, los $U_{i,t}$, dependen de un grupo de variables explicativas, identificadas como las $z_{i,t}$, así como un vector δ de coeficientes, de tal forma que el efecto de ineficiencia técnica, $U_{i,t}$, en el modelo de frontera estocástica (1) podría especificarse en la ecuación (2) Battese y Coelli (1995),

$$U_{i,t} = z_{i,t} \delta + W_{i,t} \quad (2)$$

Así mismo, se define $z_{i,t}$ como un vector de variables explicativas relacionadas con la ineficiencia técnica de la producción; y δ son los parámetros a estimar en forma de vector.

La variable aleatoria, $W_{i,t}$, se define por el truncamiento de la distribución normal con media cero y varianza, σ^2 , tal que el punto de truncamiento es $-z_{i,t} \delta$, es decir, $W_{i,t} > -z_{i,t} \delta$. Estos supuestos son consistentes con $U_{i,t}$ siendo un truncamiento no negativo de la distribución $N(z_{i,t}, \sigma^2)$ (Battese y Coelli (1995)).

Battese y Coelli estiman los parámetros de la función de producción de frontera estocástica de manera simultánea con el modelo de los efectos de la ineficiencia mediante máxima verosimilitud. Se puede corroborar que la función de verosimilitud y sus derivadas parciales con respecto a los parámetros del modelo se encuentran en Battese y Coelli (1993).

De ello La función de verosimilitud se puede expresar en función de los parámetros de varianza, $\sigma^2_s = \sigma^2_v + \sigma^2$ así como $\gamma = \sigma / \sigma^2_s$. Battese y Coelli (1995).

La eficiencia técnica se define mediante la ecuación (3),

$$TE_{i,t} = \exp(-U_{i,t}) = \exp(-Z_{i,t} - W_{i,t}) \quad (3)$$

La predicción de las eficiencias técnicas tiene como base la expectativa condicional, considerando los supuestos subyacentes al modelo. Para ello, véase el Apéndice de Battese y Coelli (1993).

Las medidas de eficiencia técnica relativas a la frontera de producción (1) se obtienen a través de la expresión (4):

$$EF_i = E(Y_i/U_i, X_i) / E(Y^*_i/U_i=0, X_i) \quad (4)$$

donde Y_i^* representa la producción, que será igual a Y_i cuando la variable dependiente esté en unidades originales y será igual a $\exp(Y_i)$ cuando la variable dependiente esté en logaritmos. En el caso de una frontera de producción, EF_i tomará un valor entre cero y uno (Coelli (1996)).

En Battese y Coelli (1993) se expresa que el estadístico de prueba de razón de verosimilitud se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$\lambda = -2\{\log[\text{Verosimilitud}(H_0)] - \log[\text{Verosimilitud}(H_1)]\},$$

La cual tiene una distribución de chi-cuadrado aproximada, igual al número de parámetros que se supone son cero en la hipótesis nula, H_0 , siempre que H_0 no se rechace.

4. Datos y fuentes de información

En la estimación de la función de producción y ecuación de ineficiencia, presentadas en la metodología para el desarrollo de este manuscrito, se emplea como variable output al desempeño portuario de contenedores, con información anual.

Los datos hacen referencia número total estimado de contenedores manejados, por país, expresado en unidades equivalentes a veinte pies (TEU, por sus siglas en inglés, Twenty foot Equivalent Unit). Un TEU representa el volumen de un contenedor intermodal estándar de 20 pies de largo utilizado para carga, descarga, reposicionamiento y transbordo. Un contenedor intermodal de 40 pies se cuenta como dos TEU (UNCTAD 2023a).

Como variables input para la función de producción se consideran Estadísticas de escala y rendimiento del puerto: tiempo de permanencia en los puertos (anual) y el Índice de conectividad del transporte marítimo de línea (trimestral), cuyas características se presentan enseguida. Las estadísticas de escala y rendimiento del puerto: tiempo de permanencia en los puertos, forman parte de un conjunto de tablas sobre escalas portuarias y estadísticas de desempeño que brindan una visión general de las características de los buques y el tiempo que permanecieron en los puertos del país durante un período determinado, UNCTAD (2023b). Hace referencia al tiempo medio que los buques pasan dentro de los límites del puerto (en días).

El tiempo promedio global que los barcos pasaron en el puerto en 2018 fue de 41 horas, frente a 23,5 horas de tiempo medio. La tabla incluye información de todos los barcos, de Graneleros líquidos, Buques de transporte de Gas Licuado de Petróleo, Buques de Gas Natural Licuado, Graneleros secos, Break graneleros, Buque roll-on/roll-off: RO/RO y Buques portacontenedores: Buques que transportan contenedores marítimos estandarizados y Buques de pasaje UNCTAD (2023b). En este manuscrito se considera únicamente la variable de buques portacontenedores.

El Índice de conectividad del transporte marítimo de línea (trimestral) se refiere a al índice de conectividad del transporte marítimo de línea, el cual reporta el nivel de integración de un país en las redes globales de transporte marítimo. El indicador adquiere un valor de 100 cuando la conectividad es máxima (UNCTAD, 2023c).

Para la estimación de la ecuación de ineficiencia, se consideran una variable de tendencia lineal, y variables dicotómicas ficticias para modelar la heterogeneidad entre países. De manera adicional se consideran los índices de capacidades productivas y de preparación tecnológica, para identificar los efectos que estas tienen sobre la eficiencia en el movimiento de contenedores en los puertos de la región de América del Norte.

Respecto al Índice de preparación tecnológica de frontera (anual), este indicador presenta estadísticas sobre el índice de preparación tecnológica de frontera desarrollado por la UNCTAD (UNCTAD, 2023d). Incluye las capacidades tecnológicas relacionadas con el esfuerzo tecnológico, así como la inversión física y el capital humano, cubriendo las capacidades de los países para la utilización, adopción y adaptación de dichas tecnologías: El uso de tecnologías se requiere contar con capacidades básicas, así como habilidades pasivas y esfuerzo junto, con infraestructura y pocos conocimientos tecnológicos. La adopción tecnológica requiere un uso más activo, y niveles de capacidad más avanzados. La adaptación demanda la modificación de las tecnologías y requiere capacidades más avanzadas, como la adaptación de recomendaciones impulsadas por la inteligencia artificial o la localización de las características de un chatbot (UNCTAD, 2023d).

Cuando el índice adquiere un valor unitario o cercano a este, indica que un país puede usar o está capacitado para el uso y adopción de tecnologías de frontera. En el extremo contrario, si tiene un valor cercano a cero, implica que está menos preparado.

La UNCTAD toma en consideración cinco componentes esenciales en el índice para medir las capacidades de uso, adopción y adaptación de las tecnologías de vanguardia, las cuales son el despliegue de tecnologías de la información y comunicación, las habilidades, la actividad de investigación y desarrollo, y las actividades de la industria y acceso al financiamiento.

Por su parte, el Índice de capacidades productivas (anual), tiene como base los fundamentos conceptuales y analíticos de la UNCTAD (UNCTAD, 2023e) para medir los niveles de capacidades productivas a lo largo de tres pilares. Estos son los recursos de producción, las capacidades de los empresarios, y los vínculos de producción, que de manera conjunta definen la capacidad de un país para producir bienes y servicios, al tiempo que le permiten crecimiento y desarrollo. Esta tabla del indicador proporciona una medida cuantitativa de los tres pilares (recursos productivos, capacidades empresariales y vínculos de producción) de una economía determinada, que se desglosan en ocho categorías: capital

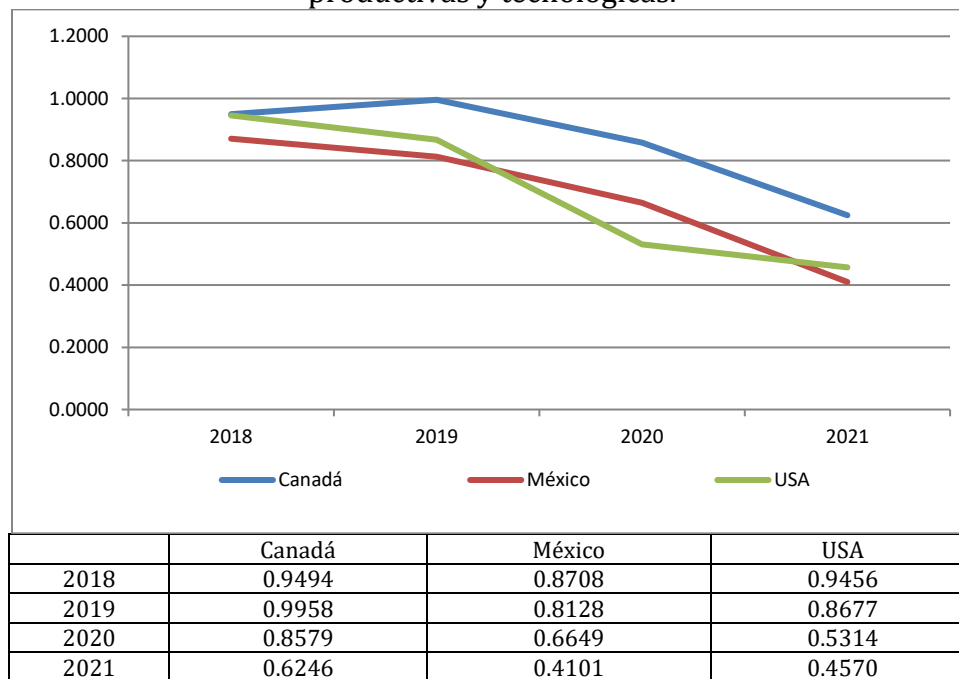
natural, capital humano, energía, instituciones, sector privado, cambio estructural, transporte y tecnologías de la información y la comunicación. El Índice de capacidades productivas general es un índice compuesto que resume los ocho componentes en un solo indicador (UNCTAD, 2023e). Se calcula como un promedio geométrico de los índices de las ocho categorías.

5. Resultados y conclusiones

Una vez realizados los contrastes estadísticos (véanse Anexo A-1, A-2 y A-3) para determinar la función de producción más adecuada (ecuación 1) y la posibilidad de incluir la ecuación de ineficiencia (ecuación 2), se han estimado, y se presentan en los anexos A-4, A-5 y A-6, con las cuales se ha obtenido la eficiencia técnica con fundamento en las ecuaciones 3) y 4), cuyos resultados se analizan enseguida:

El gráfico 1 muestra la evolución temporal de la eficiencia técnica de los puertos, sin considerar el efecto que tienen las capacidades productivas y tecnológicas sobre ellos. Como se aprecia, ésta ha venido descendiendo a través del periodo de estudio, de manera más notable en los dos últimos años, lo cual pudiera atribuirse al efecto pandemia por el virus SARS-CoV-2. Se debe mencionar que Canadá es el país que registra el nivel más alto en lo que respecta a la eficiencia, como se aprecia en el gráfico.

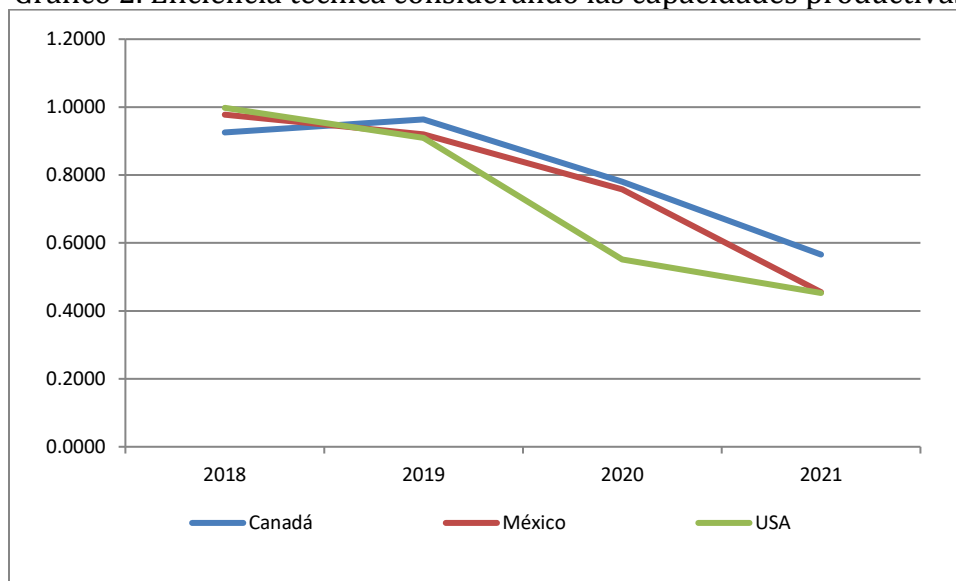
Gráfico 1. Evolución temporal de la Eficiencia técnica sin considerar las capacidades productivas y tecnológicas.



Fuente: Elaboración de los autores con datos de la UNCTAD (2022a, 2022b, 2022c).

El gráfico 2 muestra la evolución temporal de la eficiencia técnica de los puertos incluyendo una variable que recoge información de las capacidades productivas de cada una de las economías de la región de América del Norte. Se puede observar que México y Estados Unidos son los países que se han beneficiado, mejorando en su eficiencia.

Gráfico 2. Eficiencia técnica considerando las capacidades productivas

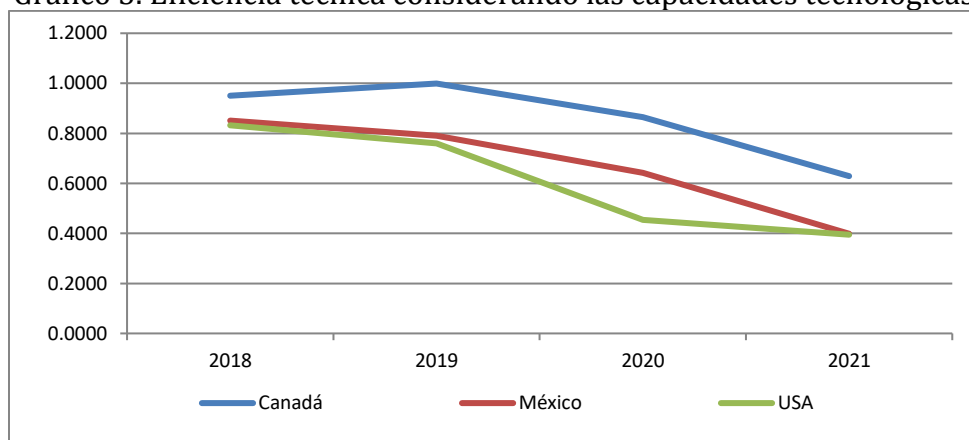


	Canadá	México	USA
2018	0.9257	0.9777	0.9980
2019	0.9638	0.9199	0.9093
2020	0.7803	0.7575	0.5518
2021	0.5658	0.4552	0.4528

Fuente: Elaboración de los autores con datos de la UNCTAD (2022a, 2022b, 2022c, 2022e).

El gráfico 3 muestra cómo ha evolucionado la eficiencia técnica de los puertos de la región de América del Norte. Se aprecia que Canadá es el país que ha logrado beneficios al considerar las capacidades tecnológicas del país, no obstante, las tres economías de esta región han perdido eficiencia durante el periodo de análisis.

Gráfico 3. Eficiencia técnica considerando las capacidades tecnológicas.

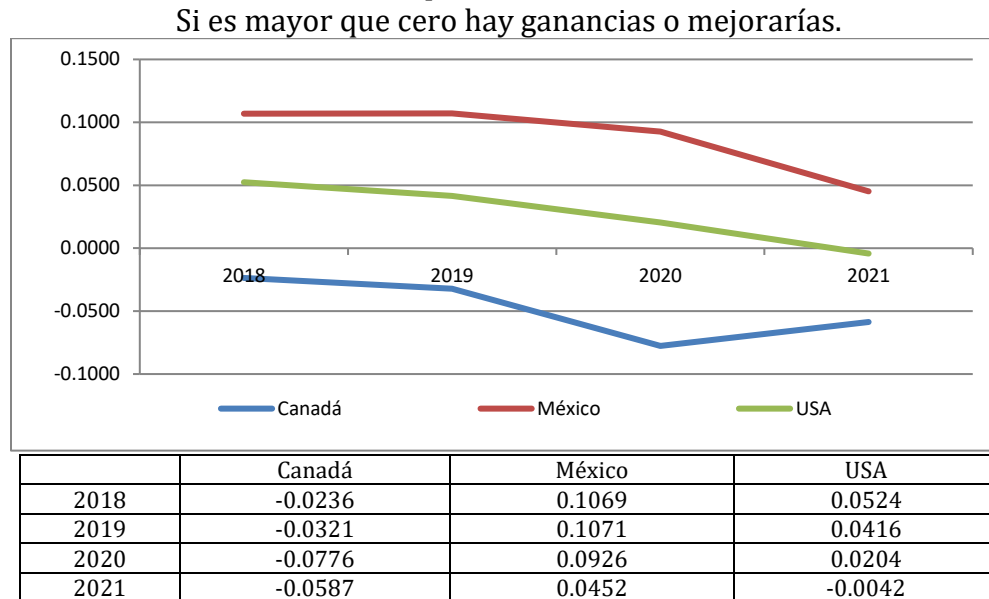


	Canadá	México	USA
2018	0.9501	0.8508	0.8320
2019	0.9991	0.7900	0.7598
2020	0.8652	0.6419	0.4534
2021	0.6288	0.3986	0.3947

Fuente: Elaboración de los autores con datos de la UNCTAD (2022a, 2022b, 2022c, 2022d).

Para identificar las pérdidas o ganancias en eficiencia de los puertos, se ha construido el gráfico 4, donde se observa la evolución temporal de estas, la cual se obtiene a partir de los niveles de eficiencia *ex ante* y *ex post*, a la inclusión de las capacidades productivas para obtener el indicador de eficiencia. Se puede observar que México es el país que obtiene más ganancias al momento de incluir una variable que recoge información sobre dichas capacidades. Es de mencionar que si los valores resultan positivos, ello es indicativo de que ha habido mejoría derivada del efecto “capacidades productivas”.

Gráfico 4. Pérdidas y ganancias en Eficiencia técnica considerando las capacidades productivas.



Fuente: Elaboración de los autores con datos de la UNCTAD (2022a, 2022b, 2022c, 2022e).

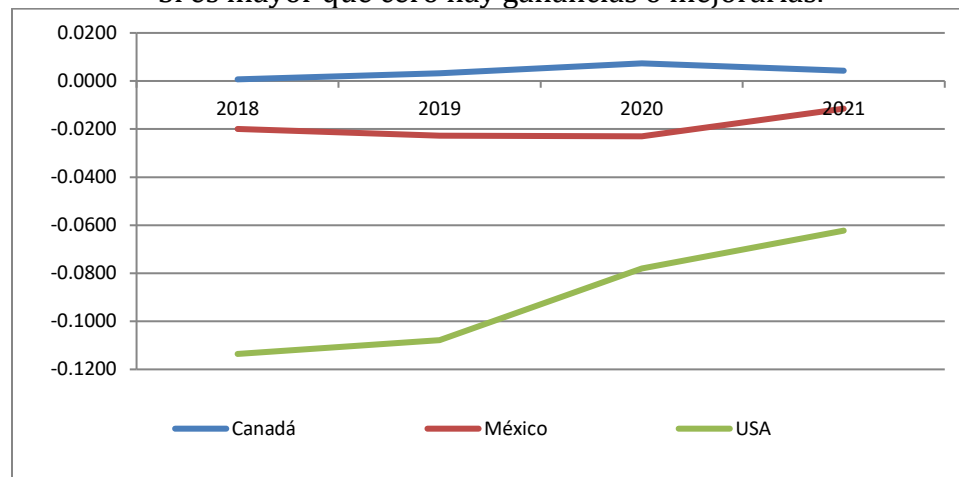
El gráfico 5 permite observar la brecha favorable sobre la eficiencia de los puertos, que se genera al incluir las capacidades tecnológicas, al momento de estimar la eficiencia técnica de los países de la región de América del Norte. Como se aprecia, la economía canadiense es la única que logra beneficios al incluir dichas capacidades en la estimación de su indicador de eficiencia, en tanto que tanto para México, como para Estados Unidos, es marginalmente desfavorable.

A la luz de los resultados obtenidos, se puede argumentar que esta investigación contribuye al entendimiento de la eficiencia de los puertos de América del Norte, al tiempo que la modelización econométrica respalda la relación y direccionalidad de las variables input sobre la output, en línea con Infante y Gutiérrez (2010) y Li, Seo y Ha (2021). La eficiencia técnica obtenida para los tres países de la región de América del Norte indica que Canadá es el que ha tenido mejores niveles, aunque en los tres se ha venido reduciendo durante el periodo de estudio. Al considerar las capacidades productivas, se ha observado que la brecha en eficiencia se reduce entre los países, no obstante, al considerar las capacidades tecnológicas, Canadá se separa favorablemente de Estados Unidos y México. De lo anterior, se ha podido identificar que cuando se incluyen las capacidades productivas, México es el país que logra mayores ganancias en eficiencia técnica, no obstante que, con las

tecnológicas, es Canadá quien obtiene ganancias marginales, en tanto que Estados Unidos y México obtienen pérdidas marginales.

Gráfico 5. Pedidas y ganancias en Eficiencia técnica considerando las capacidades tecnológicas.

Si es mayor que cero hay ganancias o mejoraría.



	Canadá	México	USA
2018	0.0007	-0.0200	-0.1136
2019	0.0033	-0.0228	-0.1079
2020	0.0073	-0.0230	-0.0781
2021	0.0042	-0.0115	-0.0623

Fuente: Elaboración de los autores con datos de la UNCTAD (2022a, 2022b, 2022c, 2022d).

Así, el estudio permite identificar que sí hay afectos de las capacidades productivas y tecnológicas sobre los niveles de eficiencia portuaria de la región de América del Norte, por lo que la inversión física, el capital humano, el esfuerzo tecnológico, los recursos productivos, las capacidades empresariales y los vínculos de producción, que hacen referencia a las capacidades productivas y tecnológicas, influyen sobre los niveles de eficiencia de los puertos. Ello lleva a que, los *policy makers* deben tener presentes estas variables para mantenerse vigentes frente a la competencia portuaria internacional.

Referencias

- Battese G. E, Coelli T.J.**, (1993) "A stochastic frontier production function incorporating a model for technical inefficiency effects" en: *Working Papers in Econometrics and Applied Statistics* No 69, Department of Econometrics. University of New England. Armidale.
- Battese, G. E. & Coelli, T. J.**, (1995). "A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data" en: *Empirical Economics*, 20, pp. 325-332.
- Coelli, T.**, (1996). A guide to frontier version 4.1: a computer program for stochastic frontier production and cost function estimation. Centre for Efficiency and Productivity Analysis (CEPA) Working Paper, University of New England, vol. 96, num. 07, pp. 1-33.

- Delfín-Ortega O. V. y Lucas Avilés J. A.** (2022). "Análisis de la Logística Marítima de Norteamérica 2010-2018. Un Estudio de Eficiencia y Productividad Medido a través del Índice Malmquist" en: *Análisis Económico*, vol. XXXVII, núm. 96, septiembre-diciembre, pp. 79-97.
- Huang CJ, Liu J-T.**, (1994) "Estimation of a non-neutral stochastic frontier production function" en *Journal of Productivity Analysis* 5, pp. 171-180.
- Infante Jiménez Z. y Gutiérrez Ortiz, A.** (2010). "Eficiencia portuaria en Norteamérica" en: *Revista Mexicana de Estudios Canadienses (nueva época)*, núm. 19, 2010, pp. 77-95. Asociación Mexicana de Estudios sobre Canadá, A.C. Culiacán, México.
- Kalirajan K.** (1981) "An econometric analysis of yield variability in paddy production" en *Canadian Journal of Agricultural Economics* 29, pp. 283-294.
- Kumbhakar S.C, Ghosh S, y McGuckin J.T.**, (1991) "A generalized production frontier approach for estimating determinants of inefficiency in US dairy farms" en *Journal of Business and Economic Statistics* 9, pp. 279-286.
- Li, L.-L., Seo, Y.-J. y Ha, M.-H.**, (2021), "The efficiency of major container terminals in China: super-efficiency data envelopment analysis approach" en *Maritime Business Review*, vol. 6, num. 2, pp. 173-187.
- Notteboom T., Pallis A., y Rodrigue Jean-Paul** (2022a) "Port efficiency" en *Port Economics, Management and Policy*. 1st Edition. Routledge. London
- Notteboom T., Pallis A., y Rodrigue Jean-Paul** (2022b). Maritime shipping and international trade, en *Port Economics, Management and Policy*. 1st Edition. Routledge. London.
- Notteboom T., Pallis A. y Rodrigue Jean-Paul** (2022c). Ports and container shipping trade, en *Port Economics, Management and Policy*. 1st Edition. Routledge. London.
- Notteboom T., Pallis A. y Rodrigue Jean-Paul** (2022d). Ports and economic development, en *Port Economics, Management and Policy*. 1st Edition. Routledge. London.
- Organización Marítima Internacional**, (2022) Introducción a la OMI. [En Línea] Consultado el 9 de febrero de 2022. En: <https://www.imo.org/es/About/strategy/Paginas/Default.aspx>
- Pérez I., González M. M. y Trujillo L.**, (2020). "Do specialisation and port size affect port efficiency? Evidence from cargo handling service in Spanish ports" en *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol 138, agosto, pp. 234-249.
- Pitt M.M. y Lee M-F**, (1981) "The measurement and sources of technical inefficiency in the Indonesian weaving industry" en *Journal of Development Economics* 9, pp. 3-64.
- Reifschneider D, y Stevenson R** (1991) "Systematic departures from the frontier: A framework for the analysis of firm inefficiency" en *International Economic Review* vol. 32, núm. 3, pp. 715-723.
- Saosaovaphak, A., Chaiboonsri, C., y Wannapan, S.** (2020). Evaluation and Forecasting of Functional Port Technical Efficiency in ASEAN-4, en Huynh, VN., Entani, T., Jeenanunta, C., Inuiguchi, M., Yenradee, P. (eds) *Integrated Uncertainty in Knowledge*

Modelling and Decision Making. IUKM 2020. Lecture Notes in Computer Science (), vol 12482. Springer, Cham.

UNCTAD, (2023a). Container port throughput. [En Línea] Consultado el 13 de marzo de 2023, en:

<https://unctadstat.unctad.org/wds/TableViewer/tableView.aspx?ReportId=13321>.

UNCTAD, (2023b). Port call and performance statistics: time spent in ports, vessel age and size. [En Línea] Consultado el 13 de marzo de 2023, en:

<https://unctadstat.unctad.org/wds/TableViewer/tableView.aspx?ReportId=170027>

UNCTAD, (2023c). Liner shipping connectivity index. [En Línea] Consultado el 9 de febrero de 2022. En:

<https://unctadstat.unctad.org/wds/TableViewer/tableView.aspx?ReportId=92>

UNCTAD, (2023d). Frontier technology readiness index. [En Línea] Consultado el 9 de febrero de 2022. En:

<https://unctadstat.unctad.org/wds/TableViewer/tableView.aspx?ReportId=227701>

UNCTAD, (2023e). Productive capacities index. [En Línea] Consultado el 9 de febrero de 2022. En:

<https://unctadstat.unctad.org/wds/TableViewer/tableView.aspx?ReportId=199270>

Zhu, B. (2021). Analysis of Port Efficiency and Influencing Factors Based on DEA-Tobit. In: Huang, C., Chan, YW., Yen, N. (eds) 2020 International Conference on Data Processing Techniques and Applications for Cyber-Physical Systems. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1379. Springer, Singapore.

Anexos

Anexo A-1. Contrastes de especificación de la función de producción y ecuación de ineficiencia.

Hipótesis nula	Log. F. Verosimilitud	Valor λ	Valor crítico	Decisión
				-95%
$H_0: \beta_{KL} = \beta_L^2 = \beta_K^2 = 0$	5.65	-1.81	7.81	No Rechazo
$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \dots = \alpha_n = 0$	1.05	9.21	9.48	No Rechazo
$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_n = 0$	1.00	9.30	7.81	Rechazo
$H_0: \alpha_2 = \dots = \alpha_n = 0$	4.02	3.26	5.99	No Rechazo

Fuente: Elaboración de los autores con datos de la UNCTAD (2022a, 2022b, 2022c, 2022d).

Anexo A-2. Contrastes de especificación de la función de producción y ecuación de ineficiencia considerando capacidades productivas.

Hipótesis nula	Log. F. Verosimilitud	Valor λ	Valor crítico	Decisión
				-95%
$H_0: \beta_{KL} = \beta_L^2 = \beta_K^2 = 0$	15.45	-12.79	7.81	No Rechazo
$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \dots = \alpha_n = 0$	1.05	28.81	11.07	Rechazo
$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_n = 0$	1.00	28.90	9.48	Rechazo
$H_0: \alpha_2 = \dots = \alpha_n = 0$	4.02	22.85	7.81	Rechazo

Fuente: Elaboración de los autores con datos de la UNCTAD (2022a, 2022b, 2022c, 2022d).

Anexo A-3. Contrastes de especificación de la función de producción y ecuación de ineficiencia considerando capacidades tecnológicas.

Hipótesis nula	Log. F. Verosimilitud	Valor λ	Valor crítico	Decisión
				-95%
$H_0: \beta_{KL} = \beta_L^2 = \beta_K^2 = 0$	6.03	5.99	7.81	No Rechazo
$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \dots = \alpha_n = 0$	1.05	9.95	9.48	Rechazo
$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_n = 0$	1.00	10.05	7.81	Rechazo
$H_0: \alpha_2 = \dots = \alpha_n = 0$	4.02	4.00	5.99	No Rechazo

Fuente: Elaboración de los autores con datos de la UNCTAD (2022a, 2022b, 2022c, 2022d).

Anexo A-4. Estimación de la función de producción y ecuación de ineficiencia. Variable dependiente: Desempeño portuario de contenedores.

	Coefficiente	Error estándar	Razón t
β_0	1.40E+01	9.25E-01	1.51E+01
β_1	-2.17E-01	5.26E-01	-4.14E-01
β_2	4.65E-02	8.02E-03	5.80E+00
σ^2	1.57E-01	8.45E-02	1.85E+00
γ	1.00E+00	9.40E-03	1.06E+02
Log. de la función de verosimilitud	0.10	4.90E+06	

Fuente: Elaboración de los autores con datos de la UNCTAD (2022a, 2022b, 2022c, 2022d).

Anexo A-5. Estimación de la función de producción y ecuación de ineficiencia considerando capacidades productivas. Variable dependiente: Desempeño portuario de contenedores.

	<i>Coficiente</i>	<i>Error estándar</i>	<i>Razón t</i>
β_0	1.37E+01	8.08E-02	1.69E+02
β_1	5.90E-03	1.30E-01	4.53E-02
β_2	4.72E-02	3.35E-04	1.41E+02
δ_0	-1.32E-01	6.40E-01	-2.07E-01
δ_1	4.00E-01	7.64E-01	5.23E-01
δ_2	-1.76E-01	1.61E-01	-1.09E+00
δ_3	-3.05E-01	5.45E-01	-5.59E-01
δ_4	-1.38E-02	2.36E-02	-5.83E-01
σ^2	0.28367239E-01	3.10E-02	9.15E-01
γ	1.00E+00	3.41E-04	2.93E+03
<i>Log. de la función de verosimilitud</i>	0.15	4.52E+07	

Fuente: Elaboración de los autores con datos de la UNCTAD (2022a, 2022b, 2022c, 2022d).

Anexo A-6. Estimación de la función de producción y ecuación de ineficiencia considerando capacidades tecnológicas. Variable dependiente: Desempeño portuario de contenedores.

	<i>Coficiente</i>	<i>Error estándar</i>	<i>Razón t</i>
β_0	1.39E+01	8.12E-01	1.72E+01
β_1	-2.57E-01	4.21E-01	-6.11E-01
β_2	4.90E-02	5.07E-03	9.68E+00
δ_0	-8.48E-02	9.22E-01	-9.19E-02
δ_1	4.25E-01	1.76E-01	2.42E+00
δ_2	-3.04E-01	2.85E-01	-1.07E+00
δ_3	-1.04E-01	5.68E-01	-1.84E-01
δ_4	-5.95E-03	1.13E-02	-5.28E-01
σ^2	0.67952327E-01	5.20E-02	1.31E+00
γ	1.00E+00	5.71E-02	1.75E+01
<i>Log. de la función de verosimilitud</i>	0.60	2.50E+06	

Fuente: Elaboración de los autores con datos de la UNCTAD (2022a, 2022b, 2022c, 2022d).

