

# Efecto de las capacidades tecnológicas sobre la eficiencia técnica de la región USMCA

Oswaldo Urbano Becerril Torres<sup>1</sup>

Gabriela Munguía Vázquez<sup>2</sup>

Sara Quiroz Cuenca<sup>3</sup>

## Resumen

La eficiencia técnica permite conocer la capacidad que tiene una unidad tomadora de decisiones de realizar un uso óptimo de sus factores de producción o bien, si es posible que esta mejore. Así mismo, intuitivamente se puede pensar que la incorporación de tecnología en los procesos productivos mejora el nivel de eficiencia. Este análisis se puede llevar a cabo a nivel microeconómico, macroeconómico o en el contexto regional. Las implicaciones del análisis son variadas, ya una vez que se conoce el nivel de eficiencia, se pueden considerar acciones que incidan en su mejora o bien, permiten la implementación de estrategias que conllevan a mayores niveles de competencia, mejora productiva, o de las políticas públicas, entre otras, en un contexto inter e intra regional, o entre países. Ante este contexto, el objetivo de esta investigación es obtener un indicador de eficiencia técnica de la región de Norte América, e identificar el efecto que tienen las capacidades tecnológicas de los países miembros, en su eficiencia técnica. Para ello se emplea la metodología de Análisis de Fronteras Estocásticas, la cual permite estimar su función de producción y su ecuación de ineficiencia de manera simultánea, para un panel de datos. Entre los principales resultados se encuentra que, en el caso de México, la consideración de sus capacidades tecnológicas mejora significativamente el uso de los factores productivos, en tanto que en el caso de Estados Unidos lo hace marginalmente y, en el caso de Canadá lo hace de manera moderada.

**Conceptos clave:** Eficiencia técnica, Norte América, Análisis de Fronteras Estocásticas, USMCA, capacidades tecnológicas.

## Introducción

Las economías del mundo, frente a los avances tecnológicos vertiginosos del siglo XXI, se enfrentan a tres escenarios tecnológicos fundamentales: usar la tecnología existente en el ámbito global, adoptar estas tecnologías, o bien, adaptarlas a sus entornos particulares (UNCTAD 2022b). Considerar uno u otro escenario puede estar en función del nivel de desarrollo tecnológico con el que cuentan en su economía, tanto a nivel microeconómico, como a nivel agregado. Es así, que en el mundo existen diversos estudios sobre cómo los países insertan las capacidades tecnológicas a sus entornos locales, al objeto de incorporarse a ese tren tecnológico, que no es otra cosa que beneficiarse tanto de los desarrollos tecnológicos locales como globales.

---

<sup>1</sup> Dr. Universidad Autónoma del Estado de México. obecerrilt@uaemex.mx

<sup>2</sup> Dra. Universidad Autónoma del Estado de México. gmunguiav@uaemex.mx

<sup>3</sup> Dra. Universidad Autónoma del Estado de México. squirozc@uaemex.mx

Existen diversos estudios que analizan las capacidades tecnológicas frente a diferentes escenarios (Nemba (2008), Razavi, Ghasemi, Abdullahi y Kashani (2011), Vares, Parvandi, Ghasemi y Abdullahi (2011), Webster y Gardner (2019), García, García y Salmerón (2019), Alvarez, Huamaní y Coronado (2020), Alexander, Gilligan-Lee, Visnjic, Ganju, Newman, Güne,s, Ganguly, Lange, Sharma, Zheng, Xing, Gibson, Parr, Mattmann y Gal (2021), Dalaf, Alathari y Dheyaa (2022) y Nam, Nam, Oh y Choi (2022)), como el de la asimilación tecnológica promovida por la innovación a nivel empresarial en diferentes países, o en el sector agropecuario, así como en el tema de la competitividad global. También se ha abordado el planteamiento de que estas pueden ser potenciadoras de la eficiencia, incidiendo en la competitividad nacional. Otro aspecto que ha sido estudiado, es el del efecto que tienen sobre la preparación institucional, y la forma en que armoniza con los aspectos tecnológicos. Un tema de interés contemporáneo es el medioambiental. En este, se analiza la eficiencia medioambiental y su interacción con la disposición tecnológica, en el caso particular de la Unión Europea.

Pero no solo en el contexto macroeconómico se ha realizado análisis del efecto de las capacidades tecnológicas, sino también a nivel microeconómico ((Zhu, Kraemer, y Xu (2006), Pham, Williamson, Lane, Limbu, Hoan Nguyen y Coomer (2020)). Tal como en las relaciones entre la preparación tecnológica del cliente y su nivel de satisfacción, o bien su efecto sobre el comercio electrónico, o sobre la eficiencia empresarial. A nivel de desarrolladores informáticos, también se ha abordado el tema de la preparación tecnológica para sistemas de aprendizaje automático. La educación no está ajena a estos procesos de asimilación tecnológica, tal es el caso de estudios como el relacionado con la adaptación del aprendizaje electrónico de la computación en la nube, entre el personal académico y los estudiantes.

Ante un contexto como el descrito, no se han identificado estudios que permitan entender el efecto que tienen las capacidades tecnológicas sobre la eficiencia técnica de los países y, de manera particular, sobre los de la región de Estados Unidos, México y Canadá, es decir, la región comercial de América del Norte, conocida por sus siglas en inglés como USMCA. Ante ello, esta investigación tiene como objetivo estimar un indicador de eficiencia técnica para los países de esta región, e incorporar una variable de capacidades tecnológicas, que permita identifica el efecto que esta tiene sobre el uso de los factores de la producción. Para ello, se emplea el concepto de eficiencia de Farrell (1957) y la propuesta metodológica de Battesse y Coelli (1995) de Análisis de Fronteras Estocásticas. Entre los principales hallazgos se encuentra que las capacidades tecnológicas influyen de manera importante, en función del nivel de desarrollo económico de las naciones.

Así, en el apartado dos se presenta el marco teórico que baliza el concepto de eficiencia técnica; en el tres se presenta el estado del objeto de estudio donde se hace una indagatoria sobre los estudios realizados respecto a las capacidades tecnológicas y su influencia en diversos ámbitos de la actividad económica de los países de la región de América del Norte, identificando la carencia de estudios que los vinculen. En la cuarta sección se presenta la metodología de Análisis de Fronteras Estocásticas, que es la empleada para la estimación de la eficiencia técnica de los países de la región, cuyos datos se presentan en la sección cinco, para finalmente, en la sección seis presentar los resultados y, por último, las conclusiones derivadas del estudio.

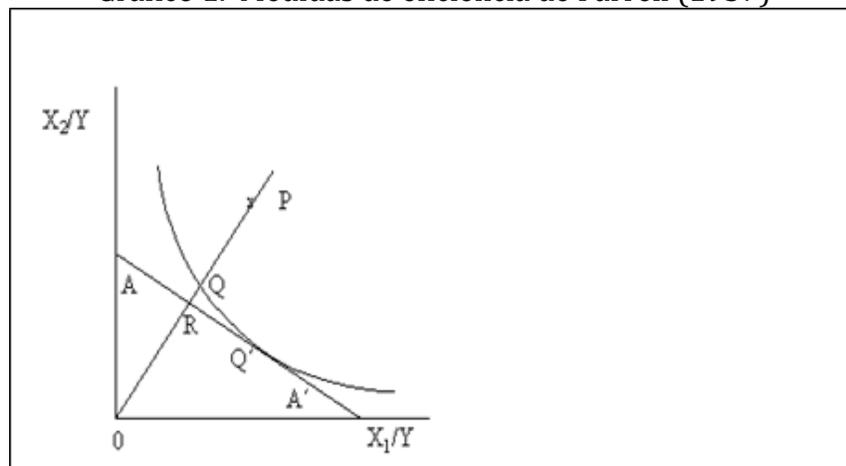
### Marco teórico

La eficiencia consiste en hacer uso óptimo de los factores de la producción. Sin embargo, se reconoce que en los sectores productivos no siempre se hace un empleo óptimo de estos, como lo demuestra la evidencia empírica.

Entre los precursores en el análisis de la eficiencia técnica se encuentra Farrell (1957), quien argumenta que la eficiencia de la empresa se constituye por dos elementos: la eficiencia técnica y la eficiencia en precios. La primera refleja su habilidad para obtener la máxima producción dado un conjunto de insumos y, la segunda refleja su habilidad para emplear los inputs en proporciones óptimas, dados sus respectivos precios. Al combinar estas se obtiene la eficiencia económica total.

Farrell (1957) desarrollo un método para el cálculo empírico de un indicador de eficiencia a través de un índice, así como la separación en sus componentes: las eficiencias técnica y en precios. El análisis lo hace a partir de una isocuanta unitaria, que representa combinaciones eficientes de insumos que permiten producir una unidad de producto. Para ello parte del supuesto de rendimientos constantes a escala, lo que le permite representar la tecnología de producción como una isocuanta. El gráfico 1 muestra la forma de determinar las medidas de eficiencia de Farrell.

Gráfico 1. Medidas de eficiencia de Farrell (1957)



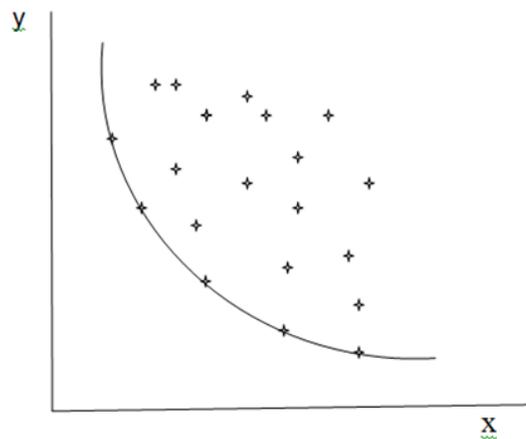
Fuente: Farrell (1957).

La explicación del gráfico 1 es la siguiente, siguiendo a Farrell (1957): Considérese que una firma emplea dos factores de producción y un único bien bajo condiciones de rendimientos constantes, y suponga que la función de producción es conocida. El punto P representa los insumos de los factores por unidad de producto que la firma utiliza. La isocuanta representa combinaciones de los dos factores que la firma perfectamente eficiente usa por unidad de producto. El punto Q representa una firma eficiente usando dos factores en el mismo cociente, como P. Esto parece distinguir que ésta produce el mismo producto que P usando únicamente una fracción de  $OQ/OP$  como mucho de cada factor. Esto parece natural para definir  $OQ/OP$  como eficiencia técnica de la firma P. Por la pendiente negativa, un incremento en el insumo por unidad de producto de un factor -*certeris paribus*- implica una baja en la eficiencia técnica.

Sin embargo, siguiendo con la propuesta de Farrell (1957), es necesaria una medida para la cual una firma usa varios factores de producción en la misma proporción, dados los precios. Entonces, en el gráfico 1, si  $AA'$  tiene una pendiente igual al cociente de precios de los factores  $Q'$  y no  $Q$ , que es el método óptimo de producción; aunque ambos puntos representan el 100% de eficiencia técnica, los costos de producción en  $Q'$  serán únicamente una fracción de  $OP/OQ$  de aquel en  $Q$ . Esto es natural para definir el cociente como la eficiencia en precios de  $Q$ .

Sobre los supuestos anteriores, cada firma puede ser representada por un punto sobre un diagrama de isocuanta, tal que las firmas son representadas en el gráfico 2. La función de producción eficiente será representada por una isocuanta, y el problema es estimarla tal que represente una isocuanta eficiente del diagrama de dispersión. La curva será tomada como la isocuanta eficiente.

Gráfico 2. Frontera eficiente de referencia



Fuente: Farrell (1957).

Este es un método de medir la eficiencia técnica de una firma, y consiste en comparar con una hipotética firma la cual usa los factores en la misma proporción. Esta firma hipotética es construida con el valor promedio de dos firmas observadas, en la sospecha de que cada insumo y producto es algún valor promedio de esas firmas. Los valores son elegidos tal que dan las proporciones deseadas de cada factor para conformar el contorno de la isocuanta que sirve como frontera de referencia eficiente.

La eficiencia técnica entonces es definida en relación a un conjunto de firmas respecto a un conjunto de medidas de factores en un sentido específico, y algún cambio en sus especificaciones afectará a la medida. Esta es una manera satisfactoria de medir la eficiencia.

### Estado del objeto de estudio

El vertiginoso avance de la tecnología en el siglo XXI hace importante para los países estar preparados para posicionarse en la frontera tecnológica, que les permita interactuar o competir con sus vecinos o socios comerciales. La capacidad que tiene una economía para utilizar herramientas tecnológicas, adoptarlas como parte de la vida cotidiana y su

adaptación a los requerimientos particulares del entorno productivo, contribuye a su preparación tecnológica de frontera, ya que considera aspectos como la inversión física, el capital humano y el esfuerzo tecnológico, los cuales podrían hacer más eficiente el uso de sus factores productivos, contribuyendo a un aumento de la eficiencia técnica, de su producción, de su crecimiento y desarrollo económicos, incidiendo en un mayor bienestar social, dado que, una de las funciones del desarrollo tecnológico es incrementar el nivel de bienestar de la sociedad. Ante ello, existen diversos estudios que involucran el análisis de los efectos de la tecnología sobre diferentes aspectos de la economía.

Así, el tema de la asimilación tecnológica de frontera, promovida por la innovación, es abordado por Zhu, Kraemer, y Xu (2006), quienes analizan el proceso de asimilación de la innovación de las empresas en diferentes países, ampliando sus estudios a anteriores sobre la asimilación de las innovaciones de comercio electrónico, basadas en Internet, por parte de estas, en un escenario internacional, desarrollando un modelo integrador para examinar tres etapas de asimilación: iniciación→adopción→rutinización, planteando la hipótesis de cómo la preparación tecnológica, la integración tecnológica, el tamaño de la empresa, el alcance global, los obstáculos administrativos, la intensidad de la competencia y el entorno regulatorio, influyen en la asimilación del comercio electrónico a nivel de empresa.

Entre los hallazgos de Zhu *et al.* (2006) se encuentra que la competencia afecta positivamente el inicio y la adopción, pero tiene un impacto negativo en la rutinización, lo que sugiere que demasiada competencia no es necesariamente buena para la asimilación de tecnología, porque impulsa a las empresas a buscar las últimas tecnologías sin aprender a usar las existentes de manera efectiva. También identifican que los entornos económicos dan forma a la asimilación de la innovación. Así, el entorno regulatorio juega un papel más importante en los países en desarrollo que en los países desarrollados. Además, aunque la preparación tecnológica es el factor más fuerte que facilita la asimilación en los países en desarrollo, la integración tecnológica resulta ser la más fuerte en los países desarrollados, lo que implica que a medida que evoluciona el comercio electrónico, el determinante clave de su asimilación cambia de la acumulación a la integración de tecnologías.

Así mismo, respecto al proceso de asimilación de tecnología en el ámbito agropecuario, Nemba (2008) analiza los determinantes de la eficiencia técnica del sector agrícola en Mozambique y su adopción de tecnología, identificando que factores tales como el acceso a servicios de asesoría, acceso a crédito rural, membresía a una asociación agrícola, uso de tecnología agrícola mejorada (riego, semillas mejoradas, tracción animal e insumos químicos), entre otros, reducían significativamente el nivel de ineficiencias de los hogares agrícolas domésticos.

En su análisis, Nemba (2008) encuentra que, manteniendo constantes otros factores, los hogares con acceso a servicios de asesoría agrícola, aquellos con acceso a crédito rural y miembros de asociaciones agrícolas, tienen más probabilidades de adoptar nuevas tecnologías, y que, los cambios en la adopción de tecnología están asociados con cambios en el acceso al crédito, así como al estado inicial de los hogares agrícolas sobre el acceso al crédito.

El tema de la preparación tecnológica de los países es estudiado por Razavi, Ghasemi, Abdullahi y Kashani (2011), quienes analizan la relación entre la preparación tecnológica y la innovación en la competitividad global de estos. Teniendo como objetivo investigar la

interacción entre la preparación tecnológica e innovación como los dos pilares básicos de la competitividad nacional, con el fin de proporcionar información para mejorar la competitividad nacional en países que transitan de la etapa II a la etapa III de desarrollo. Para ello, realizan un análisis de correlación canónica, encontrando que existe una relación significativa y positiva entre el conjunto de Preparación tecnológica y el de Innovación.

Así como Razavi *et al.* (2011), Vares, Parvandi, Ghasemi y Abdullahi (2011) realizan un análisis en relación a la transición de una economía impulsada por la eficiencia, a una impulsada por la innovación, en la competitividad de los países. Indagando la interacción entre los dos conjuntos de potenciadores de la eficiencia y los factores de innovación y sofisticación, como los dos conjuntos básicos de los pilares de la competitividad nacional, con el fin de proporcionar información para mejorar la competitividad nacional en países que transitan de la etapa II a la etapa III de desarrollo.

En el ámbito de las instituciones también se ha analizado el efecto de la adopción de la innovación, alineada con los aspectos tecnológicos y la preparación institucional. Tal es el caso de Webster y Gardner (2019) quienes estudian cómo la adopción de la innovación armoniza la tecnología y la preparación institucional, a través de un proceso de explotación y desarrollo del concepto de preparación, en relación con la adopción de la innovación. De manera particular analizan la preparación con respecto a la noción de niveles de preparación tecnológica, utilizada por productores y usuarios para monitorear y administrar la innovación emergente.

El argumento de Webster *et al.* (2019) se centra en la idea de que, aunque la innovación es útil, debe ser informada y subsumida dentro de un concepto más amplio de preparación institucional. Su manuscrito desarrolla un modelo de preparación institucional que reconoce la prominencia de la preparación tecnológica, pero que lo incrusta dentro de un marco socio-técnico más amplio. Esto se ilustra con referencia al campo emergente de la medicina regenerativa.

En el tema ambiental García, García y Salmerón (2019) analizan la eficiencia medioambiental y su interacción con la disponibilidad y disposición tecnológica en la Unión Europea, hallando que estas son un factor influyente en la eficiencia medioambiental. La Unión Europea tiene claro que eficiencia medioambiental está relacionada con la disposición tecnológica de manera que la disponibilidad tecnológica explica parte de la eficiencia medioambiental, aunque no se trata de un factor determinante. En otras palabras, un alto índice de disposición tecnológica implica un *score* de eficiencia alto, pero no viceversa.

En el ámbito microeconómico, en el trabajo de Pham, Williamson, Lane, Limbu, Hoan Nguyen y Coomer (2020) se investigan las relaciones entre la preparación tecnológica del cliente, el valor percibido, la satisfacción con las tecnologías de autoservicio integradas en el sitio web de hoteles de lujo y la intención de compra. Sus hallazgos indican que el optimismo y la innovación influyen positivamente en el valor percibido por el cliente, y la inseguridad influye negativamente en el valor percibido por este; el optimismo y la innovación influyen positivamente en su satisfacción; la inseguridad influye negativamente en su intención de compra.

La interacción entre la eficiencia técnica y el comercio electrónico es indagado por Alvarez, Huamaní y Coronado (2020), quienes investigan los efectos heterogéneos del

comercio electrónico sobre la eficiencia técnica en los países en desarrollo, a través del Análisis de Fronteras Estocásticas, con la intención de evaluar el efecto del comercio electrónico (compras electrónicas y ventas electrónicas) sobre la eficiencia técnica empresarial peruana de la industria manufacturera y el sector comercial mayorista y minorista, considerando los efectos sobre el tamaño del negocio .

Los principales hallazgos Alvarez *et al.* (2020) indican una relación positiva entre el hecho de llevar a cabo el comercio electrónico y la eficiencia empresarial, pero diferenciada por el tamaño del negocio y el sector económico. Mientras que las compras electrónicas y las ventas electrónicas afectan positivamente la eficiencia de toda la industria manufacturera, solo las ventas electrónicas revelan un efecto significativo sobre el sector comercial mayorista y minorista. Además, el efecto de las compras electrónicas en la industria manufacturera se vuelve positivo e intensifica significativamente dependiendo del tamaño del negocio, así como de las ventas electrónicas en la venta al por mayor y el sector comercial minorista, que revela un efecto heterogéneo del comercio electrónico sobre eficiencia dependiendo del tamaño del negocio.

Los sistemas de aprendizaje automático también han sido objeto de estudio, como lo reporta la investigación de Alexander, Gilligan-Lee, Visnjic, Ganju, Newman, Güne,s, Ganguly, Lange, Sharma, Zheng, Xing, Gibson, Parr, Mattmann y Gal (2021), dado que indagan sobre los niveles de preparación tecnológica para sistemas de aprendizaje automático, argumentando que el desarrollo y la implementación de estos se pueden ejecutar fácilmente con herramientas modernas. Para ello, construyen un enfoque de sistemas para el desarrollo y la implementación del aprendizaje automático, definiendo un proceso de principios para garantizar sistemas robustos, confiables y responsables mientras se racionalizan para flujos de trabajo, incluidas las distinciones clave de la ingeniería de software tradicional.

Recientemente Dalaf, Alathari y Dheyaa (2022) analizan el papel de la preparación tecnológica en Irak en los predictores de adoptar el aprendizaje electrónico de la computación en la nube, entre el personal académico y los estudiantes, a partir del *Cloud Computing Electronic Learning* (CCEL) que es una tecnología que permite a los educadores y estudiantes extender los materiales de aprendizaje de almacenamiento y acceso. Su estudio sugiere que la facilidad de uso percibido, la utilidad percibida y las normas subjetivas, afectarán la intención de usar, que a su vez afectará el uso real. Se propone actitud para mediar las relaciones, mientras que la preparación tecnológica se plantea como moderador.

Los resultados de Dalaf, *et al.* (2022) mostraron que la facilidad de uso percibida, la utilidad percibida y las normas subjetivas afectan positivamente la intención de usar, que a su vez afectó al uso real. Se recomienda a los tomadores de decisiones, para simplificar, el uso de *Cloud Computing Electronic Learning* y realizar talleres sobre el uso y sus beneficios.

Así mismo, Nam, Nam, Oh y Choi (2022), proponen el método de análisis envolvente de datos (DEA por sus siglas en inglés, Data Envelopment Analysis) para presentar un método para mejorar la preparación de la red de tecnologías de la información y comunicaciones entre países, y medir su eficiencia, y mejorar la calidad del servicio en la implementación de los gobiernos electrónicos exitosos, dado que mejora la demanda potencial y la oferta de los servicios. Reflejando la competencia de desarrollo de la tecnología de la información en el rendimiento de manera efectiva.

## Metodología

A través del tiempo, se han implementado diferentes metodologías para la estimación de la eficiencia técnica en el sentido de Farrell (1957), desde el Análisis Envolvente de Datos hasta el Análisis de Fronteras Estocásticas. Esta última, se ha empleado para modelos econométricos de *cross section* y de datos en panel. Ellos se han estimado mediante diferentes técnicas, como mínimos cuadrados ordinarios o máxima verosimilitud. Así, siguiendo la propuesta de Battese y Coelli (1995), en este documento se estima una función de producción de frontera estocástica para un panel de datos.

De manera específica, Battese y Coelli (1995) proponen una función de producción de frontera estocástica con la siguiente estructura econométrica, para un panel de datos:

$$Y_{it} = \exp(X_{it}\beta + V_{it} - U_{it}); \quad i = 1, \dots, N; \quad t = 1, \dots, T \quad (1)$$

Donde  $Y_{it}$  denota la producción el periodo  $t$ -ésimo y para la empresa  $i$ ,  $X_{it}$  es un vector de variables explicativas relacionadas con la  $i$ -ésima empresa en el  $t$ -ésimo periodo de observación y,  $\beta$  es un vector de parámetros desconocidos a estimar. Respecto a los componentes que conforman el término de error,  $V_{it}$  son los errores aleatorios independientes y distribuidos de forma idéntica con distribución normal, con media cero y varianza  $\sigma_v^2$ ,  $N(0, \sigma_v^2)$  independientemente de  $U_{it}$ , los cuales son variables aleatorias no negativas, asociadas con la ineficiencia técnica de la producción.

Por otro lado,  $U_{it}$  está compuesto por variables aleatorias no negativas, relacionadas a la ineficiencia técnica en producción, se obtiene de una distribución normal trunca (en cero), con media  $Z_{it}\delta$  y varianza  $\sigma^2$ . Además,  $Z_{it}$  un vector de variables explicativas asociadas a la ineficiencia técnica a lo largo del tiempo y,  $\delta$  es un vector de coeficientes desconocidos a estimar.

En el contexto de Battese y Coelli (1995), la ecuación (1), especifica la frontera de producción estocástica en términos de los valores de producción originales. Asimismo, la ineficiencia técnica  $U_{it}$  es función de un conjunto de variables explicativas  $Z_{it}$  y, un vector de coeficientes desconocidos  $\delta$ . Así, la ineficiencia técnica es expresada como:

$$U_{it} = Z_{it}\delta + W_{it} \quad (2)$$

Donde la variable aleatoria  $W_{it}$ , está definida por el truncamiento de la distribución normal con media cero y varianza  $\sigma^2$  por lo que el punto de truncamiento es  $-Z_{it}\delta$ .

La ecuación (2) permite estimar los efectos que determinan la ineficiencia mediante una función explícita de factores específicos de cada empresa o país, entre los que se pueden encontrar las variables explicativas de la función de producción de la ecuación (1), efectos fijos (individuales o temporales), así como cualquier variable susceptible de generar cambios en la ineficiencia técnica, según es descrito en Battese y Coelli (1995).

Para la estimación de las ecuaciones (1) y (2) Battese y Coelli proponen el método de máxima verosimilitud para la estimación simultánea de los parámetros de la frontera estocástica y el modelo de los efectos de ineficiencia técnica. Esta función se expresa en términos de los parámetros de varianza  $\sigma_s^2 \equiv \sigma_v^2 + \sigma^2$  y  $\gamma \equiv \sigma^2/\sigma_s^2$ .

Por lo tanto, Battese y Coelli (1995) consideran que la eficiencia técnica de la producción para la  $i$ -ésima empresa en la  $t$ -ésima observación está definida por la ecuación (3):

$$TE_{it} = \exp(-U_{it}) = \exp(-Z_{it}\delta - W_{it}) \quad (3)$$

En resumen, Battese y Coelli (1995) postulan que, la eficiencia técnica se calcula como el cociente del nivel de producción obtenido respecto del máximo alcanzable, dadas las cantidades de los inputs ( $U_{it} = 0$ ). Así, su valor oscilará entre 0 y 1, siendo el último caso el más favorable.

Asimismo, la medida de eficiencia técnica, relativa a la función de producción (1) para un panel de datos se define en la ecuación (4), siguiendo a Coelli (1996):

$$ET_{it} = \frac{E\left(\frac{Y_{it}^*}{u_{it}, X_{it}}\right)}{E\left(\frac{Y_{it}^*}{u_{it}=0, X_{it}}\right)} = \exp(-u_{it}) \quad (4)$$

Donde  $Y_{it}$  es la producción de la  $i$ -ésima economía. De ello, la eficiencia técnica se calcula como el cociente entre la producción obtenida y la máxima obtenible, dadas las cantidades de los insumos (es decir, cuando  $U_{it} = 0$ ). Su valor oscila entre 0 y 1, siendo este último caso cuando se es totalmente eficiente.

Así mismo, la existencia de un índice de preparación tecnológica, desarrollado por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo, UNCTAD, ofrece la posibilidad de cuantificar el efecto que tienen las capacidades tecnológicas de frontera de un país, sobre su eficiencia técnica. Este índice considera las capacidades tecnológicas en relación a la inversión física, el capital humano y el esfuerzo tecnológico, considerando tres aspectos: las capacidades de un país para utilizar, adoptar y adaptar estas tecnologías (UNCTAD 2022a).

## Datos y fuentes de información

Para el análisis empírico del efecto que tienen las capacidades tecnológicas sobre la eficiencia técnica de la región USMCA, se emplean datos de producción, inversión y empleo, cuyas variables proxy son el Producto Interno Bruto y la Formación Bruta de Capital Fijo, ambos en dólares constantes de 2015, y el Personal Ocupado Total, respectivamente. Estos datos proceden de los Indicadores de Desarrollo del Banco Mundial, World Bank (2022). Para medir las capacidades tecnológicas de cada país se hace uso del índice de preparación tecnológica de la UNCTAD (2002a) como una variable *spillover* en la ecuación de ineficiencia. Así mismo, se considera una variable de tendencia, y dos dummies para recoger las posibles heterogeneidades entre países. El periodo considerado es del año 2000 al 2018, dada la disponibilidad de datos del Índice.

Para contextualizar las características del índice de preparación tecnológica, a continuación se hace una descripción de este, lo que permite resaltar su importancia, en la posibilidad de mejora del indicador de eficiencia técnica de los países de la región USMCA. El índice de preparación tecnológica de UNCTAD (2002a) permite cuantificar el efecto que

tienen las capacidades tecnológicas de frontera de un país. Este considera las capacidades tecnológicas teniendo como referentes a la inversión física, al capital humano y al esfuerzo tecnológico, atendiendo tres aspectos: las capacidades de un país para utilizar, adoptar y adaptar estas tecnologías (UNCTAD 2022b).

La capacidad de utilizar tecnologías hace referencia a que se requieren capacidades básicas, habilidades pasivas y esfuerzo junto con infraestructura y algunos conocimientos tecnológicos. Por su parte, la capacidad de adoptar de un país se refiere al uso activo para los propios fines con un requerimiento de niveles de capacidad más avanzados. Así mismo, la capacidad de adaptar involucra la modificación de las tecnologías, requiriendo capacidades más avanzadas.

Respecto al índice de preparación tecnológica, un valor más cercano a 1 indica que un país está listo para el uso y adopción de tecnologías de frontera. Por el contrario, un valor del índice más cercano a 0 indica que un país está menos preparado. Para su construcción, la UNCTAD (2022b) seleccionó cinco componentes básicos para medir la capacidad de usar, adoptar y adaptar las tecnologías de vanguardia. Estos son el despliegue de Tecnologías de la Información y Comunicaciones, TIC, las habilidades, la actividad de Investigación y Desarrollo, I+D, la actividad de la industria, y acceso a la financiación (UNCTAD, 2022a, 2022b).

Respecto a la implementación de TIC, esta hace referencia al nivel de infraestructura de TIC. De manera específica el uso, la adopción y la adaptación de tecnologías de vanguardia requieren una infraestructura de TIC suficiente, especialmente porque la inteligencia artificial, la Internet de las cosas, los macro datos y la cadena de bloques, son tecnologías basadas en Internet. Así mismo, es necesario considerar dos aspectos de la infraestructura de las TIC: que exista prevalencia para garantizar que todos tengan acceso y que nadie se quede atrás; y la calidad de la infraestructura, la cual permite un uso más avanzado y eficiente. En este sentido, los usuarios de Internet, como porcentaje de la población, capturan la prevalencia de la infraestructura de Internet, mientras que la velocidad media de descarga mide la calidad de la conexión a Internet (UNCTAD, 2022a, 2022b).

En relación a las habilidades, en estas se considera que para el uso, la adopción y la adaptación de tecnologías de vanguardia necesitan personas equipadas con habilidades relevantes. Estas pueden ser avanzadas, pero generalmente son más bajas que las necesarias para originar las tecnologías. Deben considerarse dos tipos de habilidades: Las habilidades adquiridas a través de la educación, y las adquiridas en el lugar de trabajo a través de la formación práctica o aprender haciendo (UNCTAD, 2022a, 2022b).

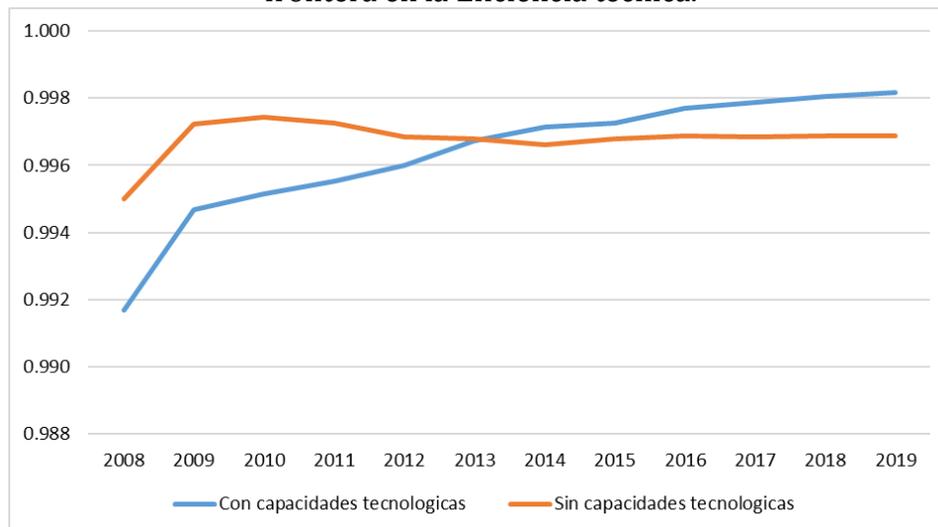
El nivel educativo general de la población se mide a través de los años esperados de escolaridad, mientras que el nivel de calificación en el mercado laboral se mide por la extensión del empleo altamente calificado, definido por la Organización Internacional del Trabajo, OIT, como la suma de gerentes, profesionales y técnicos y profesionales asociados. Así mismo, la actividad de I+D es necesaria no solo para la producción de tecnologías de vanguardia, sino también para su adopción y adaptación, ya que estas, a menudo, requieren ajustes o modificaciones para el uso local. Las actividades de I+D se miden utilizando el número de publicaciones y patentes presentadas sobre las 11 tecnologías de frontera en un país (UNCTAD, 2022a, 2022b).

Respecto a la actividad de la industria, este componente tiene como objetivo capturar las actividades en curso en una industria, relacionadas con el uso, la adopción y la adaptación de tecnologías de vanguardia. Esta actividad considera tres sectores que son los primeros en adoptar: manufactura, con la manufactura de alta tecnología como líder; Finanzas; y las TIC, que tienden a interactuar con otras tecnologías (UNCTAD, 2022a, 2022b). Por último, el componente de acceso a financiación, evalúa la disponibilidad de financiación para el sector privado. Un mejor acceso a la financiación podría acelerar el uso, la adopción y la adaptación de tecnologías de vanguardia.

## Resultados

Las capacidades tecnológicas de un país tienen efectos en el crecimiento y desarrollo económicos, que alcanzan aspectos de tipo social, como la mejora en la calidad de vida de sus sociedades. Estas capacidades también tienen algún efecto sobre los factores de la producción, ya que pueden incidir en la tecnología mediante procesos de innovación. Así mismo, si los trabajadores están en posesión de herramientas o conocimientos tecnológicos, ello podría ofrecer mejores condiciones al mercado laboral. Así, el uso óptimo de los factores productivos puede favorecer la eficiencia técnica sectorial o regional de las economías. En este contexto, el gráfico 3 muestra el efecto que tienen las capacidades tecnológicas sobre la eficiencia técnica de los Estados Unidos en el marco del USMCA. Como se puede observar, los niveles de eficiencia *ex ante* y *ex post* a la inclusión en la función de producción de una variable que recoge información sobre capacidades tecnológicas son marginales, ya que es de 0.99 o, en términos porcentuales, del 99%, aun cuando pudiera pensarse que esta disminuye.

Gráfico 3. Estados Unidos. Evolución temporal del efecto de las capacidades tecnológicas de frontera en la Eficiencia técnica.

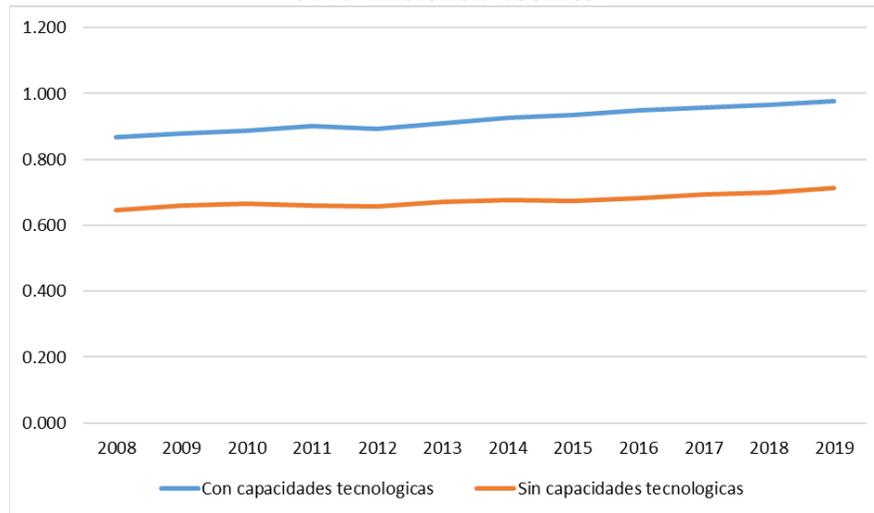


Fuente: Elaboración de los autores con datos del Anexo A-1.

En el caso de México, el gráfico 4 muestra que al incorporar el indicador de las capacidades tecnológicas de este país en su función de producción, mejora de manera

importante los niveles de eficiencia. Así, la eficiencia técnica pasa de poco más de 60% a alrededor del 85% al inicio del periodo de estudio, en tanto que al final del mismo pasa de 0.7 a 0.97, mejorando en 0.27 o 27 puntos porcentuales. Ello indica que en un país con menor uso, adopción y adaptación, las capacidades tecnológicas tienen alto impacto sobre el uso de los factores de la producción, como se puede apreciar.

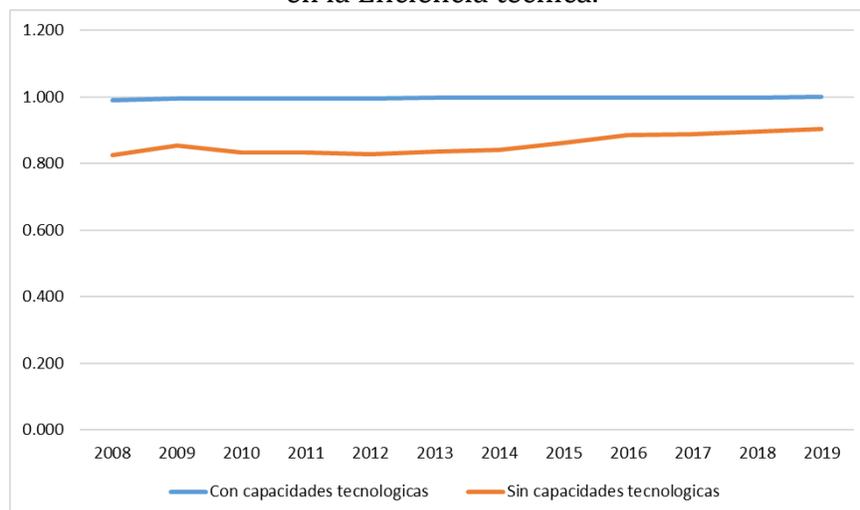
Gráfico 4. México. Evolución temporal del efecto de las capacidades tecnológicas de frontera en la Eficiencia técnica.



Fuente: Elaboración de los autores con datos del Anexo A-2

En el caso de Canadá, la brecha en eficiencia *ex ante* y *ex post* se ha venido reduciendo a través del tiempo, destacando que con el uso de sus capacidades tecnológicas, el nivel de eficiencia se mantiene cercano al 100%. Cabe decir que sin considerar estas capacidades, el nivel de eficiencia ha sido superior al 80%, el cual ha venido en aumento a través del tiempo, como se puede observar en el gráfico 5.

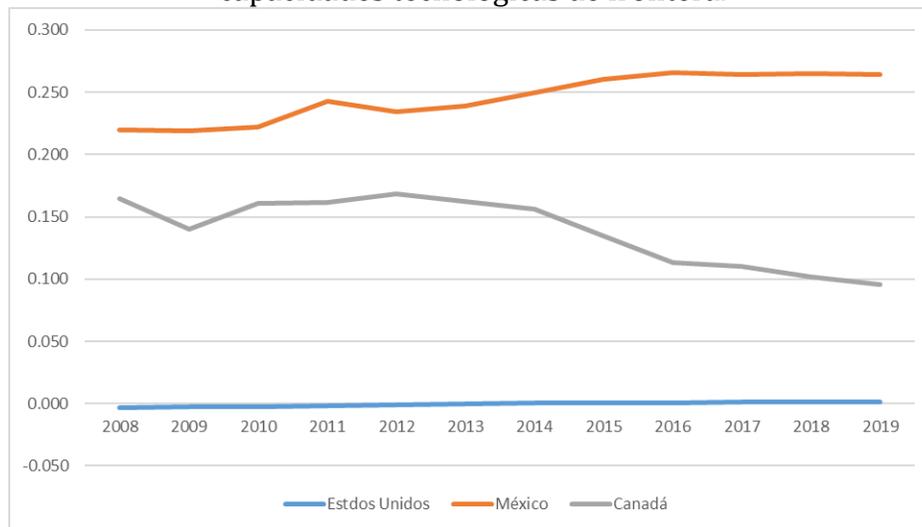
Gráfico 5. Canadá. Evolución temporal del efecto de las capacidades tecnológicas de frontera en la Eficiencia técnica.



Fuente: Elaboración de los autores con datos del Anexo A-3.

El gráfico 6 muestra las pérdidas o ganancias en eficiencia técnica, cuando se incorporan las capacidades tecnológicas a la función de producción y a la ecuación de ineficiencia de los países de la región de América del Norte. Como se aprecia, Estados Unidos no se ve influido significativamente con el indicador, sin embargo, Canadá, y particularmente México, obtienen ganancias en el uso de los factores cuando estas se incorporan a su función de producción.

Gráfico 6. Evolución temporal de las pérdidas o ganancias en eficiencia técnica con las capacidades tecnológicas de frontera.



Fuente: Elaboración de los autores con datos del Anexo A-4.

## Conclusiones

Las capacidades tecnológicas de las economías de los países son una variable que puede incidir en el uso óptimo de sus factores de la producción. Los estudios empíricos así lo demuestran. No obstante, existe un hueco analítico en el análisis del efecto que tienen dichas capacidades en los países de la región USMCA. Ante ello, los resultados de este estudio indican que en el caso de Estados Unidos, estas no tienen gran efecto sobre su indicador de eficiencia técnica, mostrando un cambio marginal favorable, de apenas centésimas de punto, a partir del año 2013. Ello derivado de su alta capacidad tecnológica en el uso de los factores de la producción, así como en sus tecnologías de producción, por lo que, para este país, el liderazgo tecnológico es un elemento que lo mantiene con altos niveles de eficiencia.

En el caso de México, su indicador de eficiencia técnica *ex ante, ex post*, muestra que sin considerar las capacidades tecnológicas, esta es de alrededor 0.65 o 65%, en tanto que, cuando se consideran, este aumenta significativamente en alrededor de 20%, lo que permite afirmar que, esta economía se ve ampliamente beneficiada por estas capacidades. Ante ello, se sugiere que se establezcan políticas públicas en este país que permitan usar la tecnología existente en el ámbito global, adoptar estas tecnologías, o bien, adaptarlas a sus entornos particulares. Esto se puede realizar a través de la organización de ferias tecnológicas regionales, o estatales, o a través de misiones diplomáticas que vinculen a los mexicanos con las ferias internacionales de tecnología; no obstante, esto también es de interés para el sector

privado, ya que este, puede establecer estrategias que le posibiliten tecnificarse, ya sea asistiendo a ferias tecnológicas regionales, nacionales o internacionales. Otro elemento que puede potenciar las capacidades tecnológicas del país, es a través de programas de impulso y apoyo al sistema educativo superior, ya que este es capaz de desarrollar innovación y desarrollo tecnológico, el cual, puede difundirse a través de los programas de vinculación con los que cuentan. Así, una articulación entre los sectores público, privado, y educativo, pueden redundar en un sólido desarrollo tecnológico y, por tanto, un aumento de la eficiencia técnica de México, con su consecuente aumento de la producción, la productividad, y de los ingresos salariales de los trabajadores, para un mayor desarrollo social.

En el caso de Canadá, dichas capacidades incrementan su eficiencia técnica de una manera moderada, acercándolo de manera importante a su nivel de eficiencia técnica óptima. Para este país, es importante invertir en proyectos tecnológicos como el proyecto Gov 2.0.

Por lo anterior, es importante establecer por parte de los gobiernos nacionales y locales un conjunto de estrategias encaminadas al fomento de las capacidades tecnológicas, estableciendo políticas de acceso a las tecnologías existentes en los contextos internacional y local, al objeto de que los agentes económicos estén en posibilidad de usar, adoptar y adaptar éstas, de acuerdo a sus requerimientos productivos.

Así, las capacidades tecnológicas influyen de manera importante, en función del nivel de desarrollo económico de las naciones, como se ha podido observar en los resultados obtenidos. Ello podría alinearse con la hipótesis de convergencia Beta al estilo de Barro y Sala (1991, 1992), y coincidir con los hallazgos de Nemba (2008), Razavi *et al.* (2011) Vares *et al.* (2011) y García (2019) de que estas capacidades mejoran la eficiencia técnica de los países.

## Anexos

Anexo A-1. Estados Unidos. Evolución temporal del efecto de las capacidades tecnológicas de frontera en la Eficiencia técnica.

Año	Eficiencia técnica de Estados Unidos		Diferencia
	Con capacidades tecnológicas	Sin capacidades tecnológicas	
2008	0.992	0.995	-0.003
2009	0.995	0.997	-0.003
2010	0.995	0.997	-0.002
2011	0.996	0.997	-0.002
2012	0.996	0.997	-0.001
2013	0.997	0.997	0.000
2014	0.997	0.997	0.001
2015	0.997	0.997	0.000
2016	0.998	0.997	0.001
2017	0.998	0.997	0.001
2018	0.998	0.997	0.001
2019	0.998	0.997	0.001

*Fuente: Elaboración de los autores con datos del World Bank (2022) y UNCTAD (2022a).*

Anexo A-2. México. Evolución temporal del efecto de las capacidades tecnológicas de frontera en la Eficiencia técnica.

Año	Eficiencia técnica de México		Diferencia
	Con capacidades tecnológicas	Sin capacidades tecnológicas	
2008	0.867	0.65	0.220
2009	0.880	0.66	0.219
2010	0.888	0.67	0.222
2011	0.902	0.66	0.243
2012	0.893	0.66	0.234
2013	0.911	0.67	0.239
2014	0.925	0.68	0.250
2015	0.936	0.68	0.260
2016	0.948	0.68	0.266
2017	0.958	0.69	0.264
2018	0.965	0.70	0.265
2019	0.976	0.71	0.264

*Fuente: Elaboración de los autores con datos del World Bank (2022) y UNCTAD (2022a).*

*Anexo A-3. Canadá. Evolución temporal del efecto de las capacidades tecnológicas de frontera en la Eficiencia técnica.*

Eficiencia técnica de Canadá			
Año	Con capacidades tecnológicas	Sin capacidades tecnológicas	Diferencia
2008	0.991	0.83	0.165
2009	0.995	0.85	0.140
2010	0.994	0.83	0.161
2011	0.995	0.83	0.161
2012	0.996	0.83	0.168
2013	0.997	0.83	0.162
2014	0.997	0.84	0.156
2015	0.998	0.86	0.135
2016	0.998	0.88	0.113
2017	0.998	0.89	0.110
2018	0.998	0.90	0.102
2019	1.000	0.90	0.096

*Fuente: Elaboración de los autores con datos del World Bank (2022) y UNCTAD (2022a).*

*Anexo A-4. Evolución temporal de las pérdidas o ganancias en eficiencia técnica con las capacidades tecnológicas de frontera.*

Ganancias en eficiencia técnica				
Año	Estados Unidos	México	Canadá	Promedio
2008	-0.003	0.220	0.165	0.127
2009	-0.003	0.219	0.140	0.119
2010	-0.002	0.222	0.161	0.127
2011	-0.002	0.243	0.161	0.134
2012	-0.001	0.234	0.168	0.134
2013	0.000	0.239	0.162	0.134
2014	0.001	0.250	0.156	0.136
2015	0.000	0.260	0.135	0.132
2016	0.001	0.266	0.113	0.127
2017	0.001	0.264	0.110	0.125
2018	0.001	0.265	0.102	0.123
2019	0.001	0.264	0.096	0.120
Promedio	0.000	0.246	0.139	-----

*Fuente: Elaboración de los autores con datos de los Anexos A-1, A-2 y A-3.*

## Referencias

- Alvarez, L., Huhamaní, E. and Coronado, Y.** (2020) “Heterogeneous effects of e-commerce over technical efficiency in developing countries: Stochastic Frontier Analysis Approach”. The 4th International Conference on Business and Information Management (ICBIM 2020), pp. 101-105
- Battese, George E. y Tim Coelli** (1995). “A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data”. *Empirical Economics*, 20, Institute for Advanced Studies, Viena, pp. 325-332.
- Barro, R. y Sala-I-Martín, X.** (1991). “Convergence Across States and Regions”, *Brookings Papers on Economic Activity*, 1, 107-182.
- Barro, R. y Sala-I-Martín, X.** (1992). “Convergence”. *Journal of Political Economy*, 100, 2, 223-251.
- Coelli T.** (1996). A guide to Frontier Version 4.1. a computer program for stochastic frontier production and cost function estimation. CEPA Working Paper 96/07.
- Dalaf, Z., Alathari, B., and Dheyaa, A.** (2022) “The predictors of adopting cloud computing e-learning in Iraq: the role of technology readiness”. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 11(3), pp. 1471-1479, Disponible en: DOI: 10.11591/eei.v11i3.3768 [Consultado: 25 de junio del 2022]
- Farrell, M. J.,** (1957). The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistic Society*, CXX(III).
- García, C., García, CB., Salmerón, R.** (2019) “Eficiencia Medioambiental y disponibilidad o posición tecnológica. Una evidencia de la UE”. *Estudios de Economía Aplicada*, 37 (1), pp. 24 – 34.
- Lavin, A., Visnjic, A., Ganju, S., Newman, D., and others** (2021) “Technology readiness levels for machine learning systems”. Under review, pp. 1-26, Disponible en: arXiv:2101.03989v2 [cs.LG] 29 Nov 2021 [Consultado: 24 de junio del 2022]
- Nam, H., Nam, H., Oh, M. and Choi, S.** (2022) “An Efficiency Measurement of E-Government Performance for Network Readiness: Non-Parametric Frontier Approach” *J. Open Innov. Technol. Mark. Complex*, 8 (10), pp. 1-19, Disponible en: DOI: <https://doi.org/10.3390/joitmc8010010> [Consultado: 25 de junio del 2022]
- Nemba, R.** (2008) Determinants of Agricultural Technical Efficiency and Technology Adoption in Mozambique. Tesis de licenciatura. Indiana: Purdue University
- Mostafa, S., Rohollah, G., Abdullahi, B., and Kashani, M.** (2011) “Relationship between Technological Readiness and Innovation: A Secondary Analysis of Countries Global Competitiveness”. *European Journal of Scientific Research*, 59 (3), 318-328. Disponible en: <http://www.eurojournals.com/ejsr.htm> [Consultado: 27 de junio 2022]
- UNCTAD** (2022a). Frontier technology readiness index. En: <https://unctadstat.unctad.org/wds/TableViewer/tableView.aspx?ReportId=227701>

- UNCTAD** (2022b). Frontier technology readiness index: notes. En: <https://unctadstat.unctad.org/wds/TableView/summary.aspx> Fecha de consulta: 15 de abril de 2022.
- Vares, H., Parvandi, Y., Ghasemi, R., and Abdullahi, B.** (2011) “Transition from an Efficiency-Driven Economy to Innovation-Driven: A Secondary Analysis of Countries Global Competitiveness”. *European Journal of Economics, Finance and Administrative Sciences*, 31 (2011), 1450-2275. Disponible en: <http://www.eurojournals.com> [Consultado: 27 de junio 2022]
- Webster, A. and Gardner, J.** (2019) “Aligning technology and institutional readiness: the adoption of innovation”. *Technology Analysis & Strategic Management*, 31(10), pp.1229-1241, Disponible en: DOI: 10.1080/09537325.2019.1601694 [Consultado: 25 de junio 2022]
- Pham, L., Williamson, S., Lane, P., Limbu, Y., Hoan, P. and Coomer, T.** (2020) “Technology readiness and purchase intention: role of perceived value and online satisfaction in the context of luxury hotels”. *Int. J. Management and Decision Making*, 19 (1), pp. 91–117.
- Zhu, K., Kraemer, K. L., Xu, S.** (2006) “The process of innovation assimilation by firms in different countries: A technology diffusion perspective on e-business”. *Management Science* 52(10), pp. 1557-1574. Disponible en: DOI: 10.1287/mnsc.1050.0487 [Consultado: 27 de junio 2022]