

Convergencia en eficiencia y productividad en la región de América del Norte

Oswaldo Urbano Becerril Torres¹

Gabriela Munguía Vázquez²

Citlalli Aidee Becerril Tinoco³

Resumen

Ante el cambio de presidencial en el año 2021 en los Estados Unidos, el análisis geopolítico y el geoeconómico, se redirigen a la región de América del Norte por sus implicaciones, dado que se da un alejamiento de las políticas neo-proteccionistas y del bilateralismo de la administración presidencial anterior, en pro del comercio mundial y del multilateralismo, así como del regreso a organismos multilaterales, de los cuales se había dado un distanciamiento. Ello, le permite a la región competir nuevamente con otras regiones económicas o, fortalecerlas. Para ello, es necesario contar con altos niveles de eficiencia en el uso de los factores de la producción, y buscar mejorías en productividad, y converger. De ello, el objetivo de esta investigación es obtener indicadores de eficiencia y productividad, a través del tiempo, para los países de la región de América del Norte, y analizar si se está dando un proceso de convergencia en estos indicadores entre estas economías. Para ello, se emplean las metodologías de Análisis de Fronteras Estocásticas y de Análisis Envolvente de Datos, las cuales permiten obtener los indicadores de eficiencia y productividad. Entre los principales hallazgos se encuentra que Estados Unidos y Canadá han mejorado sus niveles de eficiencia a través del tiempo, en tanto que México no ha mostrado mejoras significativas, lo que ha ampliado la brecha respecto a los dos primeros países; así mismo, se identifica un proceso de divergencia en eficiencia. Respecto a la productividad, a lo largo del periodo de análisis, se observa que no ha habido mejoras en los tres países, aunque si han venido reduciendo las pérdidas en productividad, no obstante, se presenta un proceso de convergencia entre los tres países.

Conceptos clave: Eficiencia técnica, productividad, convergencia, análisis de fronteras estocásticas, análisis envolvente de datos.

Introducción

Los estudios regionales en la geopolítica y la geoeconomía, orientan nuevamente sus miradas a la región de América del Norte, frente al cambio presidencial de los Estados Unidos en el año 2021, por las implicaciones que ello tiene, dado que se da un alejamiento de las políticas neo-proteccionistas y del bilateralismo, en pro del comercio mundial y del multilateralismo, así como del regreso a organismos multilaterales como la Organización Mundial de la Salud,

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. Investigadora Cátedra CONACyT/CONACyT Research Fellow. Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial, (CENTROGEO). citlabt@gmail.com, citlalli_est@yahoo.com

el Acuerdo de París sobre cambio climático o a la Organización del Tratado del Atlántico Norte.

En materia de análisis geoeconómico, en el marco del Tratado México-Estados Unidos-Canadá, T-MEC, (USMCA por sus siglas en inglés), le permite a la región competir con otras regiones económicas o, fortalecerlas. Para ello, es necesario contar con altos niveles de eficiencia en el uso de los factores de la producción, y buscar mejoras en productividad, al tiempo que homogenizar estos indicadores. Esto permitirá a la región competir con países como China o regiones como la Unión Europea, o fortalecer a la región del APEC de la cual los países T-MEC forman parte.

En el pasado, se han realizado diversos análisis sobre los países o la región de América del Norte, en el marco del NAFTA o pre-NAFTA, relacionados con la convergencia económica, o en productividad, o simplemente comparar la convergencia entre pares de países de esta región. Algunos más se han realizado sobre la eficiencia regional y su posible convergencia. Otros, sobre la productividad factorial. Los resultados son ambiguos, mostrando en algunos casos convergencias y, en otros, divergencias. Ello en función de la especificidad del ámbito analítico considerado.

Sin embargo, en este conjunto de estudios no se ha podido identificar alguno que analice de manera simultánea la eficiencia técnica, la productividad y la posibilidad de existencia de un proceso de convergencia en estas, por lo que el objetivo de esta investigación es obtener indicadores de eficiencia y productividad para analizar si se está dando un proceso de convergencia en estos indicadores, y aportar evidencia empírica al entendimiento geoeconómico de América del Norte.

Para lograr el objetivo, en el apartado dos se presenta el marco teórico, en el tres, hace una revisión de literatura, que permite identificar el hueco analítico existe en el estudio conjunto de la convergencia en eficiencia y en productividad. En el apartado cuatro se presentan las metodologías que permiten generar los indicadores de eficiencia y productividad. En el cinco se presentan las características de los datos y las fuentes de información de las cuales proceden, así como un breve análisis descriptivo de los mismos. En la sección seis se presentan los resultados obtenidos y se analiza la posible existencia de un proceso de convergencia, o divergencia, tanto en eficiencia como en productividad para, posteriormente, presentar las conclusiones que de ello derivan.

Marco teórico

Teóricamente el análisis de la eficiencia y la productividad, se pueden apoyar en los fundamentos de la econometría y/o en la programación lineal, llevando a los enfoques paramétrico y no paramétrico.

Desde la perspectiva no-paramétrica se implementan las medidas de eficiencia desarrolladas por Farrell (1957), usando herramientas de programación lineal, denominadas Análisis Envoltentes de Datos (DEA, por sus siglas en inglés, Data Envelopment Analysis). Farrell argumentó que la eficiencia de una unidad de decisión (DMU, Decisión Making Unit) está constituida por la eficiencia técnica y por la eficiencia en precios. La primera refleja su habilidad para obtener el máximo producto para un conjunto dado de insumos, y, la segunda,

muestra la habilidad para usar los insumos en las proporciones óptimas, dados sus precios. De manera específica este análisis centra la atención en las medidas de eficiencia técnica orientada a la producción o al *output*, que expresa cuánto se puede expandir éste sin alterar la cantidad de insumos o inputs.

Para la estimación de la eficiencia técnica, se emplea el modelo propuesto por Seiford y Thrall (1990), dado que el propósito es construir una frontera de posibilidades de producción. De manera formal el planteamiento es el siguiente: Al considerar N unidades de decisión, cada unidad tomadora de decisiones (DMU, por sus siglas en inglés) consume M cantidades de inputs, para producir S outputs. En específico, la DMU_j consume X_{ji} del input i y produce Y_{jr} del output r . Se asume que $X_{ji} > 0$ y $Y_{jr} > 0$. Se supone que X e Y son matrices rectangulares, conteniendo todos los inputs y outputs asociados a la totalidad de DMU en consideración (en este estudio, la j-ésima DMU hace referencia al j-ésimo país de América del Norte, con $j=1, 2, 3$). Para una DMU, su cociente input/output proporciona una medida de eficiencia. En un programa matemático esta razón se minimiza, siendo la función objetivo de la DMU analizada. Al incorporar restricciones impone la condición de que el cociente input/output de cada DMU debe ser mayor que la unidad, obligando a que la frontera calculada envuelva a las distintas combinaciones input-output de las DMU consideradas. De ello, todas las DMU eficientes se sitúan en la frontera de posibilidades de producción o tecnológica.

Desde el punto de vista paramétrico se emplea el Análisis de Fronteras Estocásticas (SFA, por sus siglas en inglés, Stochastic Frontier Analysis), mediante una función de producción de frontera estocástica, con la siguiente estructura:

$$Y = x \beta + V - U ;$$

siendo Y la producción para la DMU, x es una matriz de valores de una función de insumos, así como otras variables explicativas asociadas a la DMU. Los parámetros a estimar están representados por el vector β . V son los residuales aleatorios que se suponen independientes e idénticamente distribuidos, *iid*, y que se distribuyen como $N(0, \sigma_v^2)$ e independientemente distribuidos de U , siendo U un conjunto de variables aleatorias, relacionadas con la ineficiencia técnica de la producción, las cuales se suponen independientemente distribuidas.

Por su parte, la ecuación de ineficiencia se asume, es una función de un conjunto de variables explicativas, identificadas por z , y un vector de coeficientes a estimar, δ , por lo que la ecuación de ineficiencia técnica, U se especifica como:

$$U = \delta z + W , \text{ donde } W \text{ es una variable aleatoria.}$$

Estado del objeto de estudio

La región de América del Norte es objeto de diversos estudios que han contribuido a su entendimiento geoeconómico, a través de análisis pre-NAFTA y sobre las implicaciones del NAFTA. Algunos, sobre convergencia y la eficiencia, otros sobre la productividad. Es así que se pueden referenciar algunas investigaciones en estos temas cronológicamente en los últimos 20 años. Entre estas, la de Easterly, Fiess, Lederman, Loayza, y Meller (2003), quienes abordaron el análisis de la convergencia en América del Norte en el contexto del NAFTA, encontrando, mediante el análisis de series de tiempo, que la crisis de deuda de México en los

años 80, y la devaluación de México de 1994, tuvieron un efecto adverso en el proceso de convergencia, paralizándolo. Encuentran que, la evidencia para los países de la región indica que una parte sustancial de la brecha de ingresos entre Estados Unidos y México puede explicarse por una brecha institucional. Así mismo, con el análisis de un panel de datos, identifican que el NAFTA podría haber tenido un efecto sustancial en la convergencia de la Productividad Total de los Factores, PTF, de fabricación.

Algunos estudios sobre convergencia se han realizado de manera comparativa entre México y los Estados Unidos. Trabajos como los de Hernández (2004), Hernández y Chávez (2005), Díaz (2008) y Tadashi (2010) son ejemplo de ello. Hernández analiza las tendencias convergentes o divergentes entre las economías de México y Estados Unidos a lo largo del siglo XX, encontrando que las tendencias habrían sido notoriamente divergentes entre ambas economías. Por su parte Hernández y Chávez analizan la tendencia en los niveles de productividad industrial de México y Estados Unidos para el período 1975-1996, encontrando una tendencia generalizada a la divergencia entre México y Estados Unidos en el período 1975-1986, una tendencia selectiva y heterogénea hacia la convergencia en los niveles de productividad entre 1987 y 1996.

A finales de la primera década del siglo XXI, Díaz (2008) y Tadashi (2010), analizan la convergencia regional de América del Norte, el primero vinculándola a la integración económica y a su crecimiento, encontrando la existencia de un proceso de recuperación e integración económica, con comportamientos diferenciados para bastantes regiones al interior. El segundo, articulándola con la productividad entre Estados Unidos y México. Sus hallazgos sugieren un aumento del nivel de brecha de la PTF, mientras que algunos controles de robustez –aunque no documentan brechas crecientes–, debilitan la afirmación de la literatura sobre el proceso de convergencia. Por su parte Cabral y Mollick (2012) analizan el efecto del NAFTA sobre la convergencia de las entidades federativas de México, encontrando tasas positivas de convergencia absoluta del producto entre las regiones mexicanas.

Siguiendo la temática analítica sobre productividad, se identifica a López (2003), quien estudia la productividad manufacturera de México en el contexto del NAFTA, para un conjunto de industrias manufactureras de México, relacionándola con los aranceles en México y Estados Unidos, así como otras variables, entre ellas, la penetración de las importaciones, las actividades exportadoras, el uso de insumos importados y la participación de capital extranjero. Entre sus hallazgos encuentra que el aumento de la competencia de las importaciones y el acceso al mercado de Estados Unidos tuvieron un impacto positivo en la PTF.

La productividad ha sido objeto de estudio para la región de América del Norte, como lo demuestra en trabajo de Cardarelli y Kose (2004), al examinar el efecto de los principales acuerdos comerciales entre Canadá y Estados Unidos sobre la dinámica de los ciclos económicos y la productividad en Canadá. Entre sus resultados identifican que si bien el aumento de la integración comercial parece haber contribuido positivamente a la productividad total de los factores de las industrias canadienses, la persistencia de diferencias estructurales entre los dos países ha impedido la convergencia de la productividad laboral agregada.

Cabral y Mollick (2011) estudian los efectos del comercio intraindustrial sobre la productividad manufacturera mexicana antes y después del NAFTA, encontrando que el

impacto positivo de las importaciones intraindustriales sobre la productividad es sustancialmente mayor después del NAFTA, así como que las industrias relativamente intensivas en mano de obra son las que más se han beneficiado.

Por su parte Yeboah, Gunden, Shaik, Allen y Li (2011) miden la productividad y la eficiencia del sector agropecuario, derivadas del NAFTA. Sus resultados les permiten argumentar que la productividad total anual promedio de los factores aumentó en 1.6 por ciento durante el período 1980-2007 para los países del NAFTA, principalmente debido a cambios técnicos. Por último, Borrayo, Mendoza y Castañeda (2019) estudian la productividad y la eficiencia de manera conjunta, de la industria manufacturera regional de México, identificando en sus hallazgos que el cambio tecnológico y el cambio de eficiencia técnica son las principales fuentes que explican las tendencias observadas en la PTF regional de México.

Otros estudios que analizan a la región de América del Norte son el de Blecker y Esquivel (2010) sobre el NAFTA, vinculándolo al comercio y al desarrollo, considerando, entre otros aspectos, la convergencia económica. Así mismo Sarkar y Park (2010), estudian el impacto del tratado de libre comercio de América del Norte en el comercio de Estados Unidos con México, verificando, a través de los datos, que el comercio entre estos países fue significativamente mayor después del NAFTA.

De Hoyos y Lacovone (2013) analizan a nivel microeconómico el vínculo entre comercio y productividad en el marco del NAFTA, identificando que éste estimuló la productividad de las empresas mexicanas a través de aumento de la competencia de las importaciones, generando un efecto positivo en el acceso a insumos intermedios importados. Aroche (2018) analiza la productividad y la evolución económica en América del Norte desde un enfoque estructural. Entre sus hallazgos identifica que los sectores son crecientemente interdependientes y que la productividad sigue rumbos independientes.

La literatura anterior permite identificar que no se han desarrollado estudios que analicen la convergencia en eficiencia y en productividad, de manera simultánea, entre los países de la región de América del Norte, dentro o fuera del contexto NAFTA, por lo que en este documento se realiza un análisis conjunto de estas. Ello permite identificar si se está dando un proceso de homogenización en estos indicadores, los cuales se obtienen mediante técnicas econométricas y matemáticas, a través del Análisis de Fronteras Estocásticas y Análisis Envolvente de Datos, cuyas metodologías se presentan en el siguiente apartado.

Metodología

En el ámbito de la economía matemática y la econometría, existen dos grandes vertientes que permiten obtener la estimación de la eficiencia técnica y el cálculo de la productividad total de los factores. La primera es conocida en la literatura como Análisis de Fronteras Estocásticas (SFA, por sus siglas en inglés), y la segunda, Análisis Envolvente de Datos (DEA, por sus siglas en inglés). Estas metodologías hacen uso de métodos paramétricos y/o técnicas econométricas y métodos no paramétricos y/o métodos matemáticos, respectivamente. En este contexto, a continuación, se presentan ambas metodologías, al objeto de ser empleadas en este estudio.

Así, como es sabido, la frontera de producción puede ser determinada por una función de producción, la cual representa el máximo producto que se puede obtener, mediante la transformación de un conjunto de insumos. Una característica de estimar una frontera de producción, es que se puede observar si la organización está haciendo uso óptimo de sus factores productivos, o existe la posibilidad de mejorar, dada su tecnología de producción.

Uno de los estudios precursores sobre el análisis de las fronteras de producción lo constituye el de Farrell (1957), donde se define la eficiencia, argumentando que la eficiencia técnica es uno de sus componentes, la cual refleja su habilidad para obtener la máxima producción, dados sus insumos. La medición de la eficiencia a través de métodos paramétricos fue propuesta por Aigner, Lovell y Schmidt (1977), derivando más adelante en el desarrollo del modelo de fronteras estocásticas.

Para desarrollar esta investigación se propone una función de producción de frontera estocástica para la obtención de la eficiencia la técnica, dado que interesa estimarla e identificar si es posible mejorar el nivel de producción manteniendo constante el nivel de insumos durante el proceso. De manera particular se considera la propuesta por Battese y Coelli (1995), quienes proponen un modelo para los efectos de la ineficiencia técnica en una función de producción de frontera estocástica para un panel de datos. Así, Battese y Coelli plantean una función de frontera de producción de frontera estocástica de la forma:

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

Que en el contexto de este manuscrito Y_{it} se refiere a la producción para el i -ésimo país de América del Norte, de la t -ésima observación a través del tiempo, x_{it} es una matriz de valores de una función de insumos –inversión y empleo– y otras variables explicativas asociadas con el i -ésimo país de América del Norte, en el tiempo t . β es un vector de parámetros ser estimados, V_{it} son los errores aleatorios que se suponen independientes e idénticamente distribuidos, *iid*, y que se distribuyen como $N(0, \sigma_v^2)$ e independientemente distribuidos de U_{it} , siendo U_{it} un conjunto de variables aleatorias no negativas, asociadas con la ineficiencia técnica de la producción, las cuales se suponen independientemente distribuidas. z_{it} es un vector de variables explicativas asociadas con la ineficiencia técnica de la producción de las economías a través del tiempo –una variable de tendencia lineal, un conjunto de variables ficticias dicotómicas para detectar la posible heterogeneidad existente entre los diferentes países objeto de estudio y, δ es un vector de parámetros a estimarse.

La ecuación de ineficiencia se supone en función de un conjunto de variables explicativas, identificadas por z_{it} 's y un vector de coeficientes a estimar, δ , por lo que la ecuación de ineficiencia técnica, U_{it} en el modelo 1) se especifica como:

$$U_{it} = z_{it} + W_{it}, \quad (2)$$

Donde W_{it} es una variable aleatoria.

Para su estimación, Battese & Coelli (1995) proponen el método de máxima verosimilitud⁴, de tal manera que se estiman de manera simultánea los parámetros de los

⁴ La función de verosimilitud y las derivadas parciales respecto a los parámetros del modelo se pueden encontrar en Battese & Coelli (1993).

modelos de frontera estocástica y de efectos de la ineficiencia técnica. Así mismo, la función de verosimilitud es una función de la varianza de los parámetros.

$$\sigma_s^2 = \sigma_v^2 + \sigma^2; \quad \gamma = \frac{\sigma^2}{\sigma_s^2}$$

Por tanto, la eficiencia técnica, para la *i*-ésima economía de norte América, en el momento *t* se expresa en la ecuación:

$$ET_{it} = \exp(-U_{it}) = \exp(-z_{it} - W_{it}).$$

Así mismo, la medida de eficiencia técnica, relativa a la función de producción 1) para un panel de datos se define en la ecuación 3) siguiendo a Coelli (1996):

$$ET_{it} = \frac{E(Y_{it}^* / u_{it}, X_{it})}{E(Y_{it}^* / u_{it} = 0, X_{it})} = \exp(-u_{it}) \quad (3)$$

Donde Y_{it}^* es la producción de la *i*-ésima economía, la cual es igual a Y_{it} cuando la variable dependiente ésta en unidades originales e igual a $\exp(Y_{it})$ cuando ésta se expresa en logaritmos. Por tanto, la eficiencia técnica se calcula como el cociente entre el nivel de producción obtenido y el máximo alcanzable dadas las cantidades de los insumos (es decir, cuando $u_{it} = 0$). Así mismo, su valor oscila entre 0 y 1, siendo este último caso cuando no existen ineficiencias.

Para obtener una medida del crecimiento de la Productividad Total de los Factores, PTF, y sus componentes, se dispone de un panel de datos, con los cuales se calcula el índice de Malmquist, siguiendo a Färe, Grosskopf, Norris y Zhang (1994b). Para definir el índice de Malmquist siguiere lo siguiente: Considérese un periodo T, definido como $t=1, \dots, T$, de tal manera que la tecnología de producción, definida como S_t , hace una transformación de insumos, en un espacio *n*-dimensional de la recta real, en productos. Es decir:

$$S_t = \{(X^t, Y^t) : X^t \text{ puede producir } Y^t\} \quad (4)$$

En este contexto, la función de distancia de producción en *t* se define como aquella que minimiza de manera proporcional el vector de producto Y_t , dados los insumos X_t :

$$D_t(X^t, Y^t) = \inf\{\Phi : (X^t, Y^t) / \Phi \in S_t\} = (\sup\{\Phi : (X^t, Y^t) / \Phi \in S_t\})^{-1} \quad (5)$$

Esta función de distancia también se define como el recíproco de la máxima expansión proporcional del vector de producto Y^t , dados los insumos X^t , caracterizando totalmente a la tecnología. En particular, sí y sólo si $(X^t, Y^t) \in S_t$. Además, $D^t(X^t, Y^t) = 1$ sí y sólo si (X^t, Y^t) está en la frontera tecnológica. Siguiendo a Farrell (1957), eso solo sucede cuando la producción es técnicamente eficiente.

Siguiendo a Färe, Grosskopf, Norris y Zhang (1994b), el índice de Malmquist requiere definir las funciones de distancia con respecto a dos periodos diferentes como:

$$D_0^t(X^{t+1}, Y^{t+1}) = \inf\{\Phi : (X^{t+1}, Y^{t+1}) / \Phi \in S^t\} \quad (6)$$

La función de distancia representada en (6) mide el máximo cambio proporcional en productos requerido para conseguir que (X^{t+1}, Y^{t+1}) sea factible en relación con la tecnología en *t*. De manera análoga, es posible definir la función de distancia que mida la máxima

proporción de cambio en producción necesaria para que la combinación (X^t, Y^t) sea factible en relación con la tecnología un periodo posterior, es decir, en $t+1$, que se puede denominar como $D^{t+1}(X^t, Y^t)$, de tal manera que el índice de productividad en producción de Malmquist se define como el cociente de dos funciones de distancia para diferentes tiempos, en el que la tecnología en t es la de referencia:

$$M^t = \frac{D_0^t(X^{t+1}, Y^{t+1})}{D_0^t(X^t, Y^t)} \quad (7)$$

Alternativamente se puede construir un índice de Malmquist con base en el periodo $t+1$:

$$M^{t+1} = \frac{D_0^{t+1}(X^{t+1}, Y^{t+1})}{D_0^{t+1}(X^t, Y^t)} \quad (8)$$

Färe et al. (1994b) definieron el índice de Malmquist de cambio en productividad basado en la producción, como la media geométrica de los índices de Malmquist (7) y (8):

$$M_0(X^{t+1}, Y^{t+1}, X^t, Y^t) = \left[\left(\frac{D_0^t(X^{t+1}, Y^{t+1})}{D_0^t(X^t, Y^t)} \right) \left(\frac{D_0^{t+1}(X^{t+1}, Y^{t+1})}{D_0^{t+1}(X^t, Y^t)} \right) \right]^{1/2} \quad (9)$$

o el equivalente:

$$M_0(X^{t+1}, Y^{t+1}, X^t, Y^t) = \left(\frac{D_0^{t+1}(X^{t+1}, Y^{t+1})}{D_0^t(X^t, Y^t)} \right) \times \left[\left(\frac{D_0^t(X^{t+1}, Y^{t+1})}{D_0^{t+1}(X^{t+1}, Y^{t+1})} \right) \left(\frac{D_0^t(X^t, Y^t)}{D_0^{t+1}(X^t, Y^t)} \right) \right]^{1/2} \quad (10)$$

La expresión (10) representa la evolución temporal de la productividad, la cual, a su vez, permite dividirla en dos componentes; la primera expresión del lado derecho de la ecuación hace referencia al cambio en la eficiencia, cuyas mejoras se consideran evidencia de *catching-up*, o acercamiento de cada DMU a la frontera eficiente⁵; la segunda expresión indica la variación del cambio técnico, es decir, cómo el desplazamiento de la frontera eficiente hacia el *input* de cada DMU está generando una innovación en esta última. Las mejoras en el índice de Malmquist, de cambio en productividad, llevan a obtener valores mayores que 1. De manera análoga, la misma interpretación se aplica a cada uno de sus componentes. Esta descomposición puede ser empleada también para contrastar convergencia o divergencia en el cambio de la productividad, así como identificar la innovación.

Empíricamente el índice de productividad de Malmquist se calcula usando las técnicas de programación no paramétricas antes referidas⁶. Así pues, para calcular la productividad de la k -ésima DMU entre t y $t+1$ es necesario resolver cuatro problemas de programación lineal: $D^t(X^t, Y^t)$, $D^{t+1}(X^t, Y^t)$, $D^t(X^{t+1}, Y^{t+1})$ y $D^{t+1}(X^{t+1}, Y^{t+1})$.

Para ello, se toma en cuenta que la función de distancia del *output* es recíproca a la medida de eficiencia técnica de Farell, orientada al *output*.

El coeficiente de variación CV, como es sabido, representa la razón entre la desviación típica de una distribución y su media aritmética.

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \quad (11)$$

⁵ Con métodos de programación no paramétrica se construye una frontera eficiente.

⁶ El modelo DMU orientado al *output*, planteado en Seiford y Thrall (1990), se modifica sensiblemente al considerar la variación en el tiempo.

Esta expresión (11) representa, en términos porcentuales, la desviación estándar como porcentaje de la media aritmética, indicando una interpretación relativa del grado de variabilidad, independiente de la escala de la variable. De ello, dado un mayor valor del coeficiente de variación, implica mayor heterogeneidad de los valores de la variable y, por el contrario, ante un menor valor del C.V., ello indicará mayor homogeneidad en los valores de la variable.

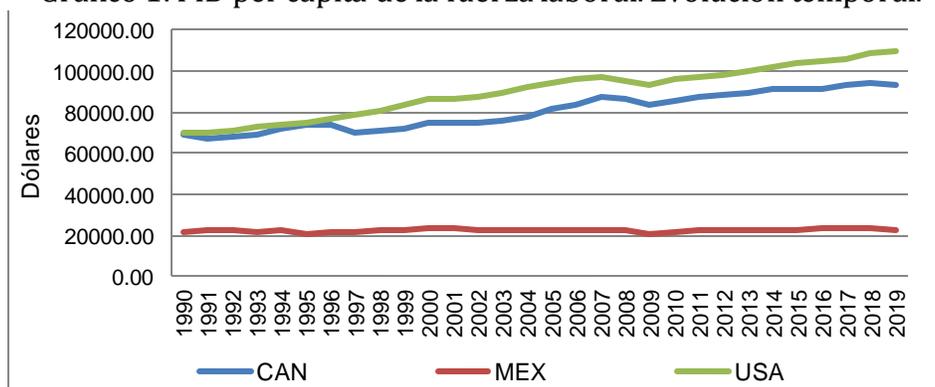
Datos y fuente de información

Realizar análisis cuantitativo que involucre información de diferentes países requiere la compatibilidad de los datos a emplear. En muchas ocasiones eso implica recurrir a metodologías complicadas. Ante ello, contar con la disponibilidad de datos, de los Indicadores de Desarrollo del Banco Mundial, permite obtener información homologada, de tal forma que ello contribuye, de manera positiva a la realización del presente análisis, ya que es posible contar con datos que permiten obtener los indicadores de eficiencia y productividad para los países de la región de América del Norte.

Para la estimación de la eficiencia técnica y el cálculo del crecimiento en productividad, de los países de la región de América del Norte, se emplea información de la base de datos del World Bank (2020), *World Development Indicators*. La variable proxy de la producción es el *Gross Domestic Product*, la proxy a la inversión es la *Gross fixed capital formation*, ambas en dólares constantes del año 2010, y la correspondiente al empleo es la *Labor force total*. El periodo considerado para el análisis es el comprendido entre los años 1990 y 2019.

Con esa información, se ha elaborado el gráfico 1, con el objetivo de caracterizar el comportamiento de las variables de producción, inversión y empleo, interaccionando entre ellas. El gráfico permite observar la evolución temporal del PIB per cápita de la fuerza laboral de Canadá, Estados Unidos y de México. Como se puede apreciar, México, a lo largo del periodo de análisis ha mantenido un nivel relativamente constante de producción per cápita de alrededor de 20,000 dólares anuales.

Gráfico 1: PIB per cápita de la fuerza laboral. Evolución temporal.

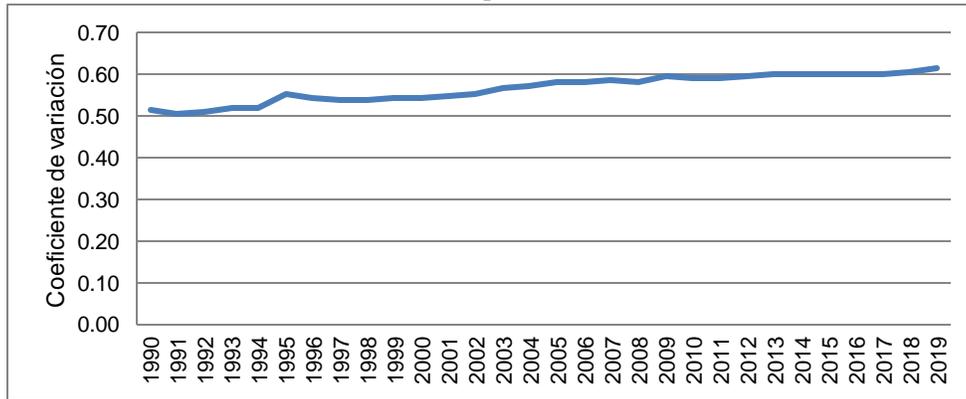


Fuente: Elaboración de los autores con datos del World Bank, (2020).

Así mismo, Canadá y los Estados Unidos, en el año 1991 mantenían niveles similares de renta per cápita, de alrededor de 70,000 dólares, no obstante, a través del tiempo, se ha

venido generando una brecha entre estos países, la cual se ha ampliado a través de los años, alcanzando en el año 2019 un valor de alrededor de 16,000 dólares, siendo en este año el PIB per cápita de los Estados Unidos de 109,397.77 dólares. En relación a México, la brecha es de 86,750.76 dólares para el mismo año.

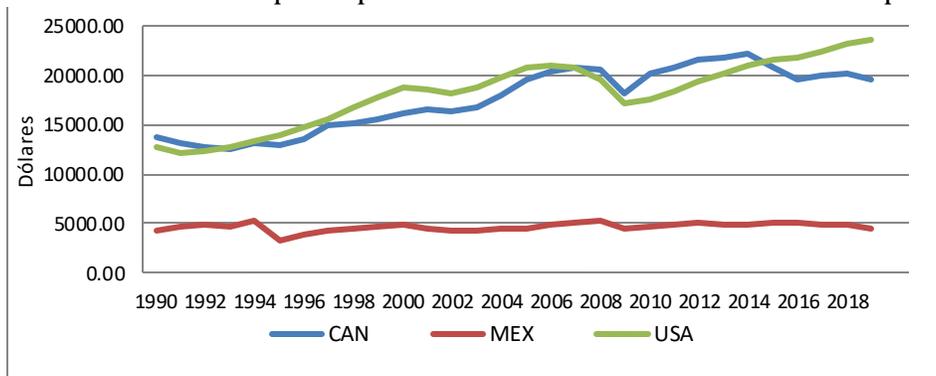
Gráfico 2: Coeficiente de variación del PIB per cápita de la fuerza laboral. Evolución temporal.



Fuente: Elaboración de los autores con datos del World Bank, (2020).

El gráfico 2 permite observar la evolución temporal del coeficiente de variación del PIB per cápita de la fuerza laboral. Este indicador permite inferir que, a través del tiempo, este ha mostrado un comportamiento más divergente, ya que cada vez existe más heterogeneidad en la producción per cápita entre los tres países de la región de América del Norte. Solamente en el periodo 1995 al 2000 se observa un proceso de convergencia en el PIB per cápita de la fuerza laboral. Otro indicador que se obtiene para caracterizar el comportamiento económico de la región de América del Norte es la inversión per cápita de la fuerza laboral.

Gráfico 3: Inversión per cápita de la fuerza laboral. Evolución temporal.

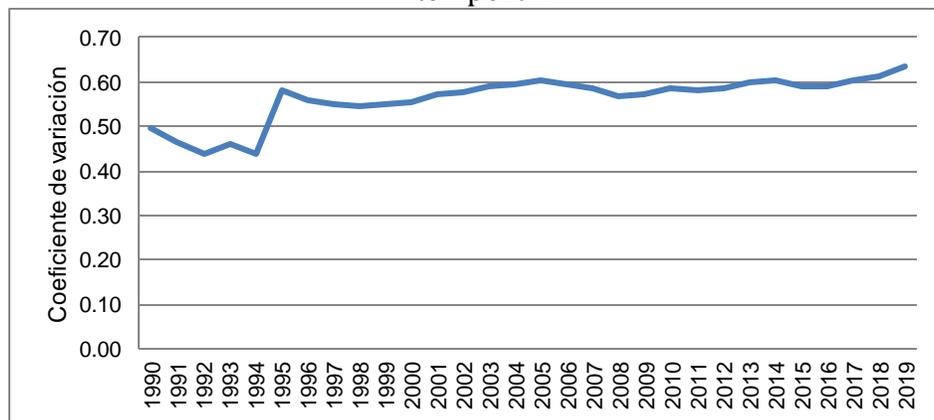


Fuente: Elaboración de los autores con datos del World Bank, (2020).

Como se aprecia en el gráfico 3, en el caso de México, se ha mantenido relativamente constante, muy cercano a los 5,000 dólares a lo largo del periodo de estudio. En el caso de Canadá y Estados Unidos, al inicio del periodo de estudio, sus indicadores fueron muy parecidos, de 13,676.51 y 12,621.82 dólares, respectivamente, existiendo una brecha de alrededor de 1,000 dólares. En el sub periodo 1992 al 2006, se observa una tendencia

creciente en el indicador de estos dos países, mostrando una desaceleración hasta el año 2009, para continuar a partir de este año con su tendencia ascendente. La brecha entre México y Estados Unidos para el año 2019 fue de 19,018.87 dólares.

Gráfico 4: Coeficiente de variación de la inversión per cápita de la fuerza laboral. Evolución temporal.



Fuente: Elaboración de los autores con datos del World Bank, (2020).

La evolución temporal del coeficiente de variación de la inversión per cápita se presenta en el gráfico 4. Como se aprecia en los primeros años del periodo de estudio, se observa un proceso de convergencia, sin embargo, en el resto del periodo, se identifica un ligero aumento del coeficiente de variación, lo que permite inferir la existencia de un leve proceso de divergencia en la inversión per cápita respecto a los trabajadores.

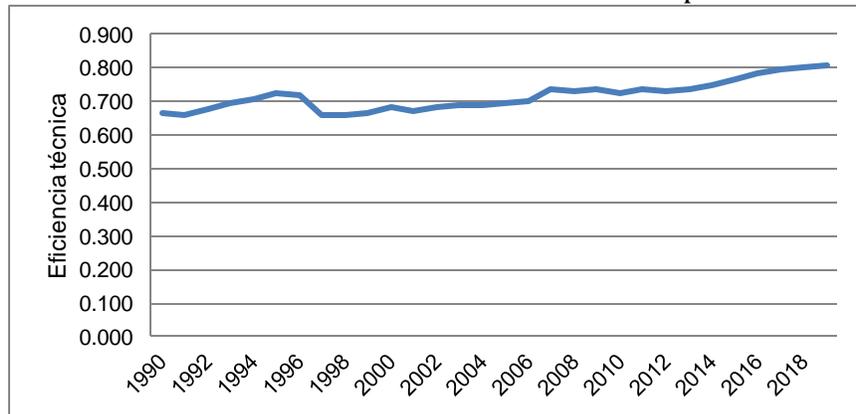
Resultados

Convergencia en eficiencia

El indicador de eficiencia permite observar si los países están realizando las mejores prácticas en el uso de los factores de la producción, o existe la posibilidad de mejorar. De ello, un país que muestra un indicador que presente un valor unitario será aquel no tiene ineficiencias en el empleo de los factores. De no ser así, aún es posible mejorar con la tecnología de producción existente. A continuación, se analizan los indicadores de eficiencia técnica de los países de América del Norte.

Como se puede observar en el gráfico 5, este muestra la evolución temporal del indicador de eficiencia de Canadá. Se aprecia que este no logra en ningún momento del periodo de análisis algún valor unitario, por lo que aún tiene la posibilidad de optimizar haciendo un mejor uso de los factores de la producción; no obstante, se observa una tendencia ascendente, lo que indica que ha venido reduciendo sus niveles de ineficiencia. De manera particular, se observa que hasta el año 1995 reporta mejoras, observándose una caída en los dos años siguientes. Al final del periodo de estudio, en el año 2019, muestra un nivel de eficiencia de 0.80 que, en términos porcentuales equivale a un 80%, por lo que aún puede mejorar en 20 puntos porcentuales.

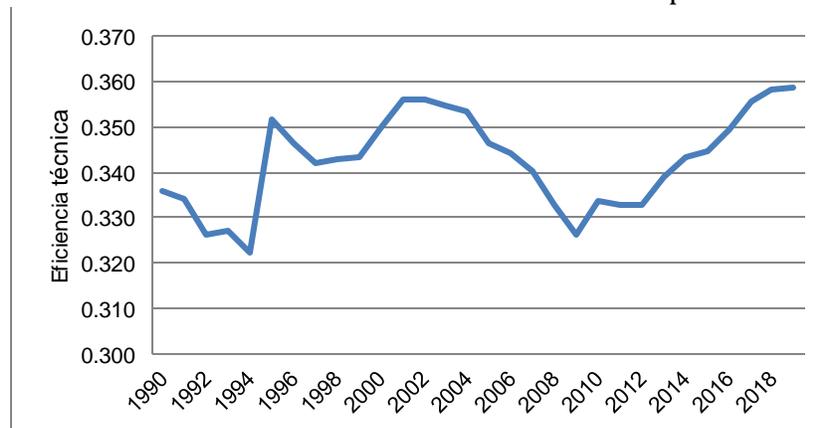
Gráfico 5: Índice de eficiencia técnica. Evolución temporal de Canadá.



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

El gráfico 6 muestra la evolución temporal de la eficiencia técnica de México. En este se identifica que este país es el que presenta los niveles más bajos de los tres países de la región, con apenas un indicador de alrededor de 0.35, o de manera equivalente, del 35% en promedio, durante el periodo de análisis. De manera adicional, también presenta un comportamiento muy volátil en el indicador. En el año 2019, apenas alcanza un nivel de eficiencia cercano al 36%, por lo que tiene un amplio margen para mejorar en el uso de los factores de la producción.

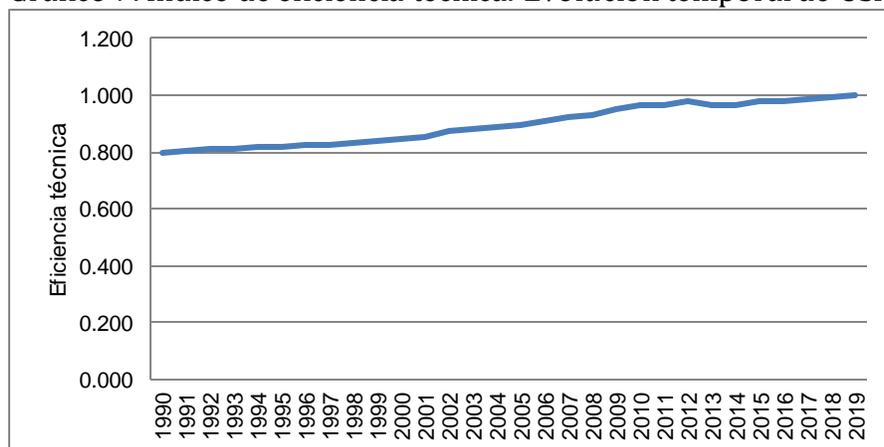
Gráfico 6: Índice de eficiencia técnica. Evolución temporal de México.



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

En el caso de los Estados Unidos, este país muestra un comportamiento más estable y creciente en la evolución temporal de su indicador de eficiencia técnica. Como se aprecia en el gráfico 7, inicia en el año 1990 con un nivel de 80%, para llegar, en el año 2019 a un nivel de 99.9 puntos porcentuales, por lo que se coloca como el país con el mejor uso de los factores de la producción de la región de América del Norte.

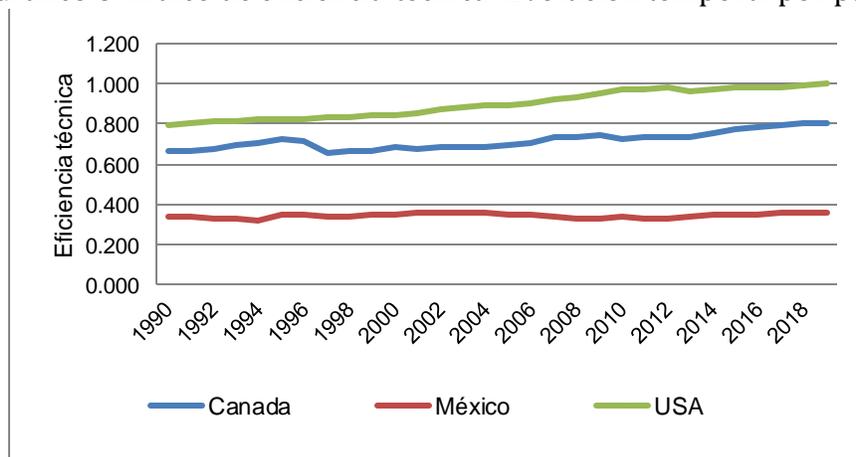
Gráfico 7: Índice de eficiencia técnica. Evolución temporal de USA.



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

El gráfico 8 muestra una visión comparativa de la evolución temporal de la eficiencia de los tres países de la región de América del Norte. Como se observa, México es el que tiene el nivel de eficiencia más bajo del grupo, en tanto que Canadá parece estar mejor cointegrado en niveles de eficiencia a los Estados Unidos que México, al mostrar una senda de evolución más parecida. Por su parte, Estados Unidos muestra su liderazgo en el uso de los factores al tener los más altos niveles de eficiencia y, en el año 2019, alcanzado caso un nivel de eficiencia absoluto.

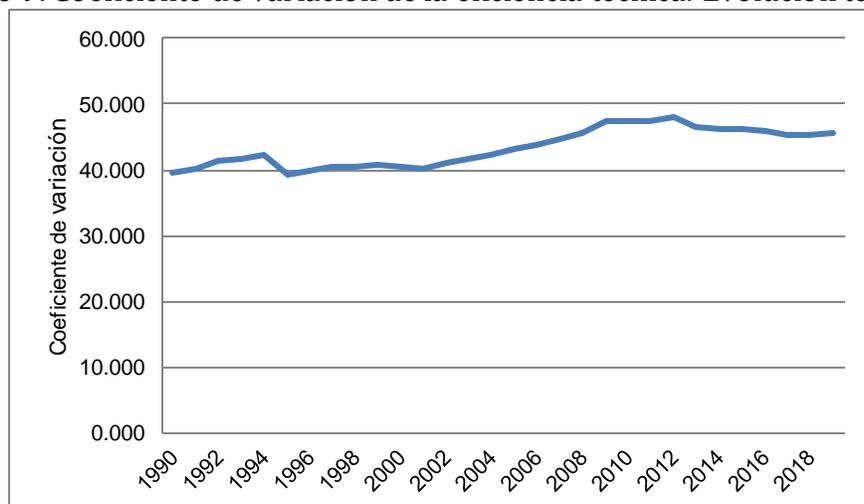
Gráfico 8: Índice de eficiencia técnica. Evolución temporal por país.



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

Para analizar la posible existencia de un proceso de convergencia en eficiencia en la región de América del Norte, se ha elaborado el coeficiente de variación, cuya evolución temporal se presenta en el gráfico 9. Es de recordar que, si este tiende a disminuir a través del tiempo, será un indicador de homogeneidad o de convergencia y, en caso contrario, indicará un proceso de divergencia. Así, desde el inicio del periodo de análisis hasta el año 2012 se identifica un proceso de divergencia, en tanto que, a partir de ese año, se parecía un proceso de convergencia en eficiencia en los países de la región de América del Norte.

Gráfico 9: Coeficiente de variación de la eficiencia técnica. Evolución temporal.



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

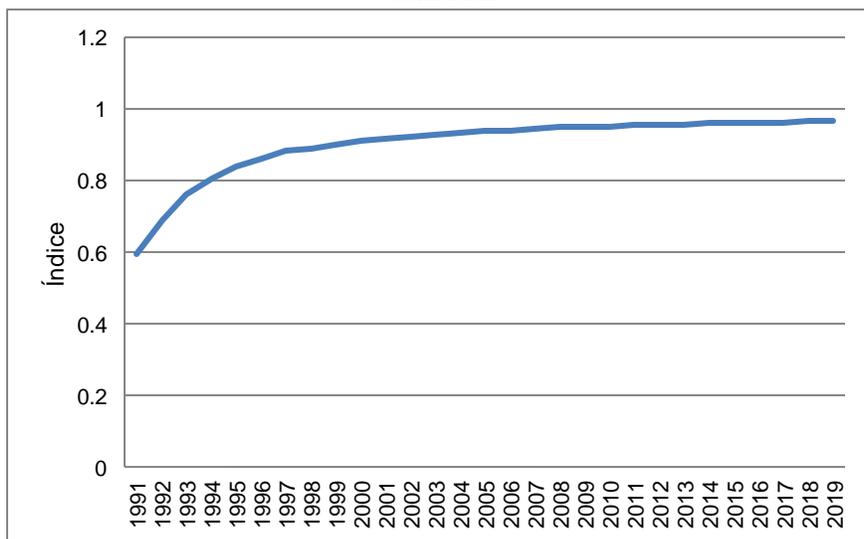
Otra variable de interés en el análisis macroeconómico es de la productividad, por las implicaciones que tiene sobre otras variables, como la competitividad o el crecimiento económico. De ello, es interesante conocer si en la región de América del Norte se está dando un proceso de convergencia o divergencia en el crecimiento de la productividad.

Convergencia en productividad

Por la relevancia que adquieren la eficiencia y la productividad como indicadores que permiten caracterizar el comportamiento en el uso de los factores de la producción, que a su vez, tienen impacto sobre otros, como la competitividad y el crecimiento económico, entre otros, en este apartado se ha calculado el índice de productividad de Malmquist para un panel de datos, para esta región de América del Norte, al objeto de identificar las características relevantes de esta, ahora conocida en términos comerciales como USMCA o T-MEC, e identificar se está presentando un proceso de convergencia regional en términos de productividad.

De manera inicial se debe tener presente que, para el análisis, un valor unitario del indicador, hace referencia a que no ha habido mejorías, ni ha empeorado la productividad, en tanto que valores superiores a la unidad serán indicadores de mejorías, mientras que valores inferiores referirán pérdidas en productividad. Así en el gráfico 10 se observa la evolución temporal del índice de Malmaquist de cambio en Productividad de Canadá. Se aprecia que, en primera instancia, en todo el periodo, es menor a la unidad, por lo que se puede afirmar que ha habido pérdidas en productividad en este país, sin embargo, la tendencia creciente se puede entender como que estas pérdidas en productividad han sido cada vez menores a lo largo del periodo de análisis.

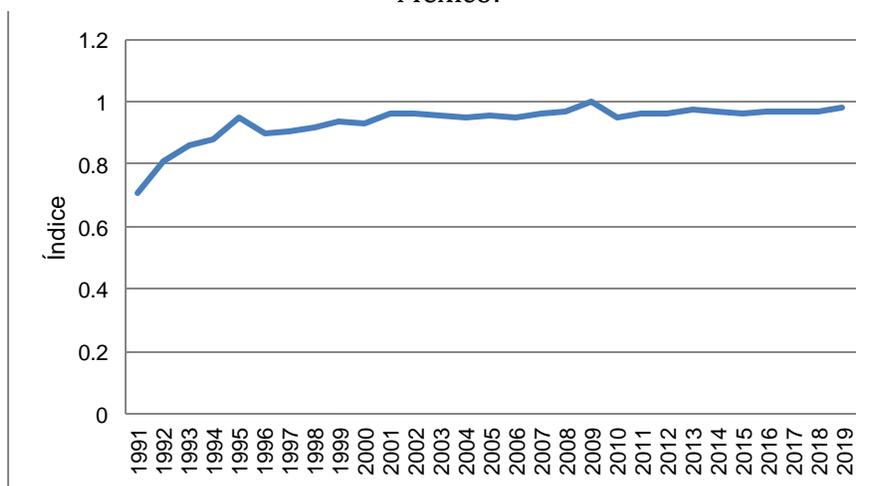
Gráfico 10: Índice de Malmquist de cambio en Productividad. Evolución temporal de Canadá.



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

El Índice de Malmaquist de cambio en Productividad para México, a través del tiempo, se presenta en el gráfico 11. Como se aprecia, en general, este presenta valores inferiores a la unidad, por lo que se puede afirmar que, durante el periodo de estudio, este país ha tenido pérdidas en productividad, con excepción del año 2009, donde reporta un valor superior a la unidad, indicando que en este año tuvo una mejora. Así mismo, se observa, al igual que en Canadá, que las pérdidas en productividad de México han sido cada vez menores.

Gráfico 11: Índice de Malmquist de cambio en Productividad. Evolución temporal de México.

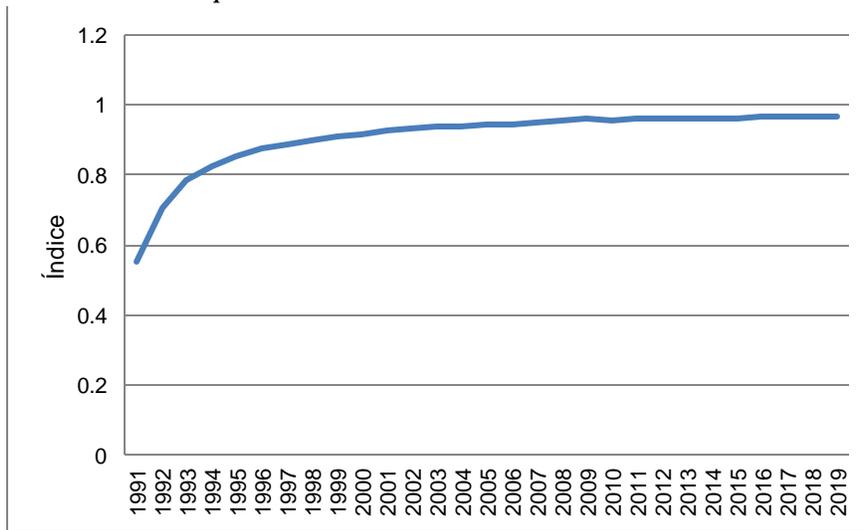


Fuente: Elaboración de los autores, con datos del Anexo A-2.

La evolución temporal del índice de productividad para los Estados Unidos se presenta en el gráfico 12. Como se puede apreciar, no muestra valores unitarios o superiores a este,

por lo que se puede expresar que ha tenido pérdidas en productividad, sin embargo, estas han venido disminuyendo a través del tiempo, como ha sucedido con Canadá y México.

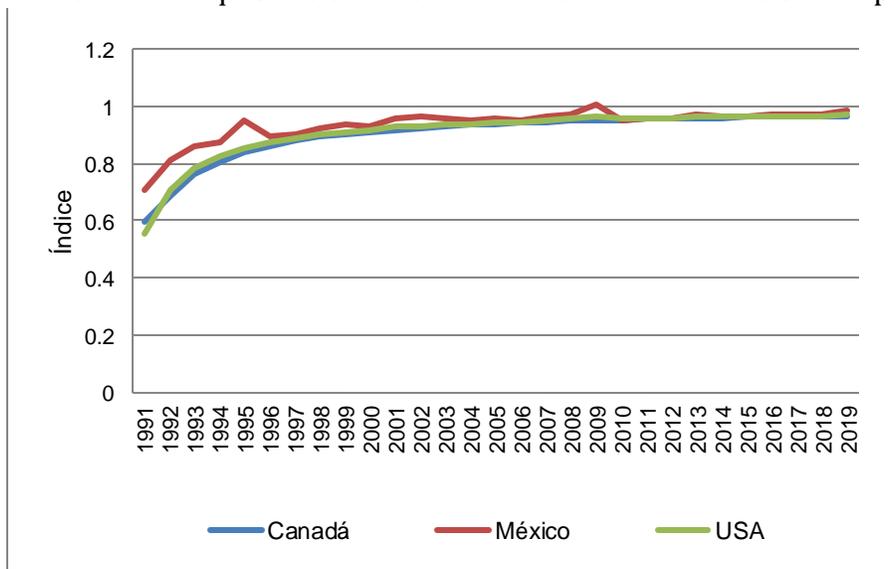
Gráfico 12: Índice de Malmquist de cambio en Productividad. Evolución temporal de USA.



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

Para tener una visión comparativa entre los índices de productividad de los tres países de América del Norte, se ha construido el gráfico 13, donde se puede apreciar que la evolución temporal es muy similar entre ellos, y tienden a converger hacia el final del periodo de análisis, sin embargo, en todos los casos, han tenido pérdidas en productividad, aunque cada vez menores. Es de destacar que en el caso de México, el índice de productividad es ligeramente mejor que el de Canadá y Estados Unidos.

Gráfico 13: Índice de Malmquist de cambio en Productividad. Evolución temporal por país.

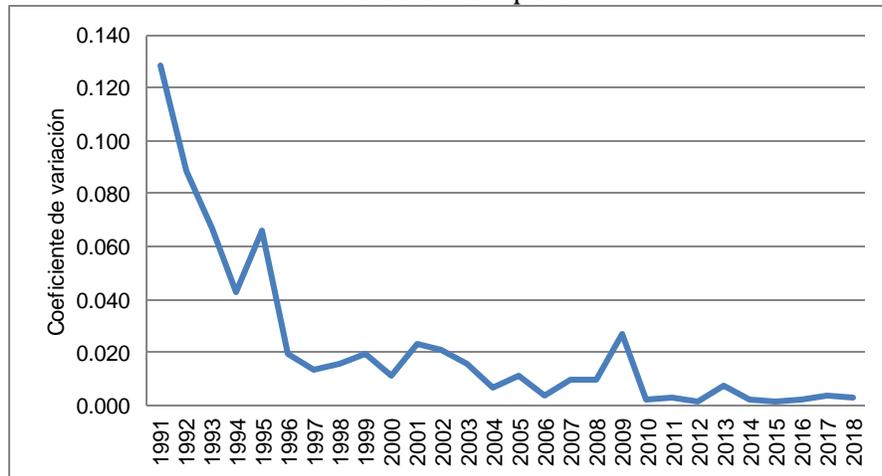


Fuente: Elaboración de los autores, con datos del Anexo A-2.

Para analizar si en la región USMCA o T-MEC, se está dando un proceso de convergencia en productividad, se ha calculado el coeficiente de variación. Su evolución temporal para la región se presenta en el gráfico 14. Como se aprecia, este ha venido disminuyendo a través del tiempo, por lo que se puede afirmar que existe un proceso de convergencia entre los tres países.

Esto es importante, porque, como bloque comercial le permite competir con otras regiones del mundo, al disminuir las brechas entre ellos en términos de productividad.

Gráfico 14: Coeficiente de variación del Índice de Malmaquist de cambio en Productividad. Evolución temporal.



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

El análisis anterior que se deriva de los resultados obtenidos sobre la eficiencia y la productividad de los factores, así como su convergencia o divergencia, llevan a obtener un conjunto de conclusiones, las cuales se presentan en el siguiente apartado.

Conclusiones

Los resultados obtenidos han permitido identificar que, en términos de eficiencia técnica, Canadá ha tenido ganancias a partir del año 1997, tras haber tenido una caída en los dos años previos, logrando un nivel superior a 0.8 al final del periodo analizado. En el caso de México, sus niveles de eficiencia son los más bajos de la región de América del Norte, con fuertes variaciones a través del tiempo, siendo los años 1994 y 2009 los que reportan sus niveles más bajos, derivados de sus crisis económicas en producción. Por su parte, Estados Unidos muestra los niveles de eficiencia más altos de la región, alcanzando al final de periodo de análisis niveles cercanos a 1 o, de manera equivalente, al 100%, lo que posiciona como el líder en lo referente a la mejor utilización de los factores de la producción de esta región.

En lo que respecta a la posible convergencia en eficiencia, como se ha podido observar, esta no ha sido posible identificarla, dado que el coeficiente de variación muestra una tendencia creciente, lo que permite documentar que en la región de América del Norte se observa un proceso de divergencia en el uso de los factores. Es de destacar que esta situación

se ha revertido a partir del año 2012, ya que desde ese año se observa un proceso de convergencia en eficiencia en el uso de los factores productivos.

En lo que se refiere al crecimiento de la productividad, se ha podido observar que los tres países de la región de América del Norte no han tenido mejoras en la productividad de manera individual, dado que su índice de productividad Malmquist no ha superado el valor unitario --con la excepción de México que en el año 2009 supera este valor de manera marginal--, no obstante, se han venido acercando al valor de 1, lo que indica una mejora relativa en sus productividades, es decir, una reducción en las pérdidas en productividad. En este rubro, los indicadores de cambio en productividad de los tres países son muy similares.

En análisis del coeficiente de variación del crecimiento en productividad, ha permitido identificar que en esta región si existe un proceso de convergencia entre los países de América del Norte, dado que dicho coeficiente ha tenido una tendencia decreciente a través del periodo de análisis. Esto es relevante, dado que, como bloque comercial le permite competir con otras regiones del mundo, al disminuir las brechas entre ellos en términos de productividad.

Referencias

Aigner, D. J., Lovell, C.A.K. & Schmidt, P., (1977) "Formulation and estimation of stochastic frontier production function model" en *Journal of economics*, (6), pp. 21-37.

Aroche Reyes F., (2018) "A study on productivity and the economic evolution in North America. A structural perspective" en *Estudios Económicos*, volumen 33, número 1, pp. 151-191.

Battese, G. y Coelli, T. (1993). "A Stochastic Frontier Production Function incorporating a model for technical inefficiency effects", Working Paper in Econometrics and Applied Statistics 69/93, Department of Econometrics, University of New England.

Battese, G, y Coelli, T., (1995) "A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data" en *Empirical Economics* 20, pp. 325-332.

Blecker, R. A, & Esquivel, G., (2010) "NAFTA, Trade, and Development". UC San Diego: Center for U.S.- Mexican Studies.

Borraro, R., Mendoza, M., & Castañeda, J., (2019) "Productivity and technical efficiency of the regional manufacturing industry of Mexico, 1960-2013: A panel approach of stochastic frontier" en *Estudios Económicos*, Vol. 67, No. 1, January – June. pp. 25-60.

Cabral, R. y Mollick, A., (2011) "Intra-industry trade effects on Mexican manufacturing productivity before and after NAFTA" en *The Journal of International Trade & Economic Development*, pp 87-112.

Cabral, R., Mollick, A.V., (2012) "Mexico's regional output convergence after NAFTA: a dynamic panel data analysis" en *Ann Reg Sci* 48, pp. 877-895.

Cardarelli, R., Kose, M., (2004) "Economic Integration, Business Cycle, and Productivity in North America". Working Paper. International Monetary Fund.

- 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.
- De Hoyos, R., Lacovone, L.,** (2013) “Economic Performance under NAFTA: A Firm-Level Analysis of the Trade-productivity Linkages” en *World Development*. Vol. 44, No. 1, pp. 180-193.
- Díaz, A.,** (2008) “Economic Integration, Regional Convergence and Growth in North America” en *Análisis Económico*. Vol. 23, No. 54, julio-septiembre, pp. 31-51.
- Easterly, W., Fiess, N., Lederman, D., Loayza, N., & Meller, P.,** (2003) “NAFTA and Convergence in North America: High Expectations, Big Events, Little Time” [with Comments] en *Economía*, Vol. 4, No.1, pp. 1-53.
- Färe Rolf, Shawna Grosskopf & C. A. Knox Lovell,** (1994a) *Production Frontiers*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Färe Rolf, Shawna Grosskopf, Mary Norris & Zhongyang Zhang,** (1994b) “Productivity Growth, Technical Progress and Efficiency Changes in Industrialised Countries” en *American Economic Review*. Vol. 84, núm. 1, pp. 66-83.
- Farrell, M. J.,** (1957) “The measurement of productive efficiency” en *Journal of the Royal Statistical Society*. Vol. 120, núm. 3, pp. 253-290.
- Hernández, E.,** (2004) “Convergencias y divergencias entre las economías de México y Estados Unidos en el siglo XX” en *Investigación Económica*. Vol. 63, No. 250, octubre-diciembre, pp.87-129.
- Hernández, E., Chávez, A.,** (2005) “¿Convergencia o divergencia en productividad industrial? acumulación frente a asimilación en México y Estados Unidos” en *Economía: Teoría y práctica*, Vol. 22, pp 3-42.
- INEGI** (2020). “Sistema de Cuentas Nacionales de México. Productividad Total de los Factores-Modelo KLEMS”. Disponible en <https://www.inegi.org.mx/programas/ptf/2013/#Tabulados> Consultado el 14 de enero de 2021.
- López, J.,** (2003) “NAFTA and Mexico’s Manufacturing Productivity: An Empirical Investigation using Micro-level Data” en *Economía*. Vol. 4, No, 1. Pp. 55-98.
- Sarkar, S., Park, H.,** (2010) “Impact of the North American free trade agreement on the U.S. trade with Mexico” en *The International Trade Journal*. Vol. 15, No. 3, pp 269–291.
- Seiford, Lawrence M., & Thrall Robert M.,** (1990) “Recent Developments in DEA. The Mathematical Approach to Frontier Analysis” en *Journal of Econometrics*. 14, pp. 7-38.
- Tadashi I.,** (2010) “NAFTA and Productivity Convergence between Mexico and the US” en *Cuadernos de Economía*, Vol. 47, No.135, mayo, pp. 15-55.
- World Bank** (2020). *World Development Indicators*.
- Yeboah, O. Gunden, C. Shaik, S. Allen, A. Li, T.,** (2011) “Measurements of Agricultural Productivity and Efficiency Gains from NAFTA” en *Agricultural Economics Association*. Pp. 1-12.

Anexos

Anexo A-1: Eficiencia técnica.

Año\país	Canadá	México	USA	Desv. Est.	Media	Coef. de var.
1990	0.668	0.336	0.796	0.237	0.600	39.547
1991	0.662	0.334	0.804	0.241	0.600	40.162
1992	0.676	0.326	0.813	0.251	0.605	41.477
1993	0.695	0.327	0.815	0.254	0.612	41.528
1994	0.706	0.322	0.821	0.261	0.616	42.360
1995	0.726	0.351	0.820	0.248	0.633	39.211
1996	0.719	0.346	0.822	0.250	0.629	39.769
1997	0.658	0.342	0.829	0.247	0.609	40.513
1998	0.662	0.343	0.832	0.248	0.612	40.553
1999	0.669	0.344	0.840	0.252	0.617	40.824
2000	0.683	0.350	0.848	0.254	0.627	40.449
2001	0.674	0.356	0.855	0.252	0.628	40.172
2002	0.683	0.356	0.872	0.261	0.637	40.966
2003	0.687	0.355	0.881	0.266	0.641	41.560
2004	0.688	0.353	0.892	0.272	0.644	42.196
2005	0.696	0.347	0.897	0.279	0.647	43.084
2006	0.704	0.344	0.907	0.285	0.652	43.771
2007	0.735	0.340	0.922	0.297	0.666	44.619
2008	0.732	0.333	0.929	0.304	0.665	45.716
2009	0.739	0.326	0.951	0.318	0.672	47.277
2010	0.727	0.334	0.968	0.320	0.676	47.342
2011	0.735	0.333	0.967	0.321	0.678	47.329
2012	0.731	0.333	0.983	0.328	0.682	48.033
2013	0.739	0.339	0.964	0.317	0.680	46.523
2014	0.752	0.343	0.967	0.317	0.687	46.110
2015	0.769	0.345	0.979	0.323	0.697	46.314
2016	0.786	0.350	0.981	0.323	0.705	45.835
2017	0.794	0.356	0.986	0.323	0.712	45.367
2018	0.802	0.358	0.993	0.326	0.718	45.379
2019	0.808	0.358	1.000	0.329	0.722	45.589

Fuente: Elaboración de los autores con datos del World Bank, (2020).

Anexo A-2: Índice de Malmquist de cambio en productividad.

Año \ país	Canadá	México	USA	Desv st	Med. Geom	Coef de var
1991	0.598	0.706	0.552	0.079	0.615	0.128
1992	0.69	0.81	0.707	0.065	0.734	0.088
1993	0.761	0.863	0.783	0.054	0.801	0.067
1994	0.808	0.877	0.825	0.036	0.836	0.043
1995	0.841	0.948	0.856	0.058	0.880	0.066
1996	0.864	0.898	0.875	0.017	0.879	0.020
1997	0.883	0.906	0.889	0.012	0.893	0.013
1998	0.893	0.921	0.901	0.014	0.905	0.016
1999	0.903	0.937	0.909	0.018	0.916	0.020
2000	0.911	0.932	0.918	0.011	0.920	0.012
2001	0.92	0.961	0.929	0.022	0.937	0.023
2002	0.925	0.962	0.933	0.019	0.940	0.021
2003	0.93	0.958	0.936	0.015	0.941	0.016
2004	0.935	0.948	0.939	0.007	0.941	0.007
2005	0.938	0.958	0.943	0.010	0.946	0.011
2006	0.942	0.949	0.947	0.004	0.946	0.004
2007	0.944	0.962	0.951	0.009	0.952	0.010
2008	0.95	0.969	0.957	0.010	0.959	0.010
2009	0.954	1.004	0.963	0.027	0.973	0.027
2010	0.953	0.952	0.956	0.002	0.954	0.002
2011	0.955	0.96	0.96	0.003	0.958	0.003
2012	0.958	0.961	0.96	0.002	0.960	0.002
2013	0.959	0.973	0.962	0.007	0.965	0.008
2014	0.961	0.966	0.963	0.003	0.963	0.003
2015	0.963	0.965	0.963	0.001	0.964	0.001
2016	0.964	0.969	0.967	0.003	0.967	0.003
2017	0.965	0.972	0.967	0.004	0.968	0.004
2018	0.966	0.972	0.967	0.003	0.968	0.003
2019	0.968	0.984	0.969	0.009	0.974	0.009

Fuente: Elaboración de los autores con datos del World Bank, (2020).

