

Derechos reservados de El Colegio de Sonora, ISSN 1870-3925

Frontera tecnológica y productividad total de los factores de las regiones de México

Osvaldo U. Becerril Torres*

Miguel Ángel Díaz Carreño*

Laura E. del Moral Barrera*

Resumen: el objetivo de esta investigación es determinar la frontera tecnológica y la productividad total de los factores de las regiones socioeconómicas de México, y también su composición en cuanto al cambio técnico y cambio en eficiencia, mediante el análisis envolvente de datos y el índice de Malmquist. Según los resultados, el primero de los cambios es el más importante en la composición de la productividad total de los factores de las regiones del país, y el segundo no contribuye significativamente, por lo que existe mayor posibilidad de mejorar en el uso de los factores productivos, para lograr un acercamiento de las regiones a la frontera tecnológica. Así mismo, el cambio en productividad intertemporal es oscilante y está influido, en mayor medida, por el cambio técnico.

Palabras clave: frontera tecnológica, productividad total de los factores (PTF), cambio técnico, cambio en eficiencia, análisis

* Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Economía, Cerro de Coatepec s/n, Ciudad Universitaria, C. P. 50120. Toluca, Estado de México. Teléfono: (722) 213 1374. Correos electrónicos: obecerrilt@uaemex.mx / madiaz@colpos.mx / lauraelena_toluca1@yahoo.com.mx

envolvente de datos (DEA, por sus siglas en inglés), índice de Malmquist.

Abstract: this research aims to determine the technological frontier and total factor productivity (TFP) of Mexico's socio-economic regions, as well as their composition in terms of technical change and efficiency change, using Data Envelopment Analysis and the Malmquist index. The results show that technical change is more important to the composition of TFP in the country's regions, and that efficiency change does not contribute significantly, so there is greater opportunity to improve the use of productive factors to achieve a regional approach to the technological frontier. Furthermore, the change in intertemporal productivity oscillates and is influenced to a greater degree by technical change.

Key words: technological frontier, Total Factor Productivity, technical change, efficiency change, Data Envelopment Analysis, Malmquist index.

Introducción

En los últimos años se ha aceptado que pueden existir ineficiencias en el uso de los factores productivos, al momento de combinarse para obtener la máxima producción posible, lo que incide en la frontera tecnológica y la productividad de los factores y, ante esto, se abre un conjunto de líneas de investigación orientadas a establecer técnicas y métodos para su medición y aplicación a diferentes ámbitos de estudio, entre ellas las de Maudos et al. (1998; 1999) y Salinas et al. (2001), quienes analizan las regiones españolas; Domazlicky y Weber (1997) y Boisso et al. (2000) se centran en la economía estadounidense, mientras que Lynde y Richmond (1999) se ocupan del Reino Unido. Así mismo, Peñaloza (2006) aplica la

metodología al sistema de salud en Colombia; Lucía (2007) analiza las universidades públicas en Argentina y Mahallati y Hosseinzadek (2010) proponen un método de redes de análisis envolvente de datos, para estimar la eficiencia en universidades. Por ello, los objetivos en esta investigación son determinar la frontera tecnológica de las regiones de México, y calcular los componentes de la productividad total de los factores (PTF) con base en la clasificación de las regiones socioeconómicas, establecida por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI 2004), cuyo interés es mostrar un referente de las diferencias y similitudes observadas en las condiciones económicas y sociales de la población del país, mediante indicadores que abordan temas relacionados con el bienestar como educación, ocupación, salud, vivienda y empleo, para lo que establece siete estratos, cuyas características promedio de los elementos clasificados en un mismo grupo son similares, es decir, homogéneos.

Así, con el referente de estas características y estratificación de las entidades federativas en regiones, resulta importante contar con información sobre la manera en que están usando sus factores productivos, y determinar si es óptima o es posible mejorar los niveles de producción, a través de un uso intensivo de los insumos, sin aumentar su cantidad. A este respecto, la literatura sobre los determinantes de la producción no considera la posible ineficiencia en el uso de los factores productivos, o bien ha empleado funciones de producción media, donde se asume que todas las unidades productivas funcionan de manera eficiente, y alcanzan la frontera de producción potencial; sin embargo, en la actualidad se reconocen brechas entre la eficiencia técnica potencial y la observada en la realidad empírica, como resultado de que no se está haciendo un uso óptimo de los insumos en el proceso productivo. Surgen así modelos basados en las técnicas de frontera no paramétrica, que permiten contrastar el uso ineficiente de los factores productivos y realizar cálculos en estas condiciones. La frontera es la evidencia empírica en la que se realiza este tipo de cálculos, y permite observar las ineficiencias en el manejo de los factores productivos privados (Gumbau y Maudos 1996; Beeson y Husted 1989), entre otros. Hay trabajos basados en técnicas no paramétricas, como los realizados

por Maudos et al. (1998, 1999) y Salinas et al. (2001), Domazlicky y Weber (1997), Boisso et al. (2000), Lynde y Richmond (1999), Peñaloza (2006), Lucía (2007) y Mahallati y Hosseinzadek (2010).

En México son pocos los trabajos que incorporan el cálculo de la eficiencia técnica en la producción, mediante métodos no paramétricos, entre ellos los de Sigler (2004), quien analiza la eficiencia en la producción de investigación económica en la Ciudad de México; Nevárez et al. (2007) y Salinas et al. (2009) se enfocan al ámbito de la sanidad; Fuentes y Armenta (2006) a la productividad de un conjunto de empresas del municipio de San Mateo Atenco, en el Estado de México; Villarreal y Cabrera (2007) proponen esquemas para usar de manera más eficiente el análisis envolvente de datos (DEA, por sus siglas en inglés),¹ para resolver problemas de optimización de criterios múltiples, y Navarro y Torres (2006) lo aplican a la industria eléctrica. Álvarez et al. (2008) han empleado esta metodología en el análisis de la eficiencia técnica, para determinar la frontera tecnológica de las entidades federativas de México, también Ablanedo Rosas y Gemoets (2010) han hecho lo propio en los aeropuertos y Woodward (2011) en el sector pesquero. El común denominador de todos estos trabajos es que la aplicación de las técnicas no paramétricas contribuyen al entendimiento del fenómeno de estudio, al no existir una medición que permita identificar la manera en que emplean sus factores de producción y que, al igual que esta investigación, ayudan a entender cuáles son las unidades de decisión líderes que hacen un uso óptimo de sus factores, y cómo éstos repercuten en el cambio en productividad. No se identifican estudios para México, que coadyuven a tener un mejor entendimiento en el ámbito regional, por ello aquí se pretende determinar el cambio en la PTF y sus componentes: cambio técnico y cambio en eficiencia, en sus regiones socioeconómicas.

Para la consecución de dicho objetivo, el estudio se estructura en varios apartados: en el dos se desarrolla la metodología empleada; en el tres se exponen las bases de datos y fuentes de información consultadas; en el cuatro se presentan los resultados y en el quin-

¹ DEA es una técnica de programación lineal, utilizada para la construcción de fronteras de producción no paramétricas.

to las conclusiones principales, entre las cuales se identifica que el cambio técnico contribuye más al cambio de la PTF de las regiones, motivando un desplazamiento de la frontera tecnológica, en tanto que el análisis intertemporal muestra que no existe sincronización entre los cambios técnico y en eficiencia.

Metodología

El cálculo de la ineficiencia ha sido la motivación principal en el estudio de las fronteras de producción, para cuya construcción existen dos enfoques: uno basado en las técnicas de programación matemática o aproximación DEA, y el otro en las herramientas econométricas. La principal ventaja del primero radica en que no necesita imponer una forma funcional explícita sobre los datos, aunque la frontera obtenida puede resultar deformada si éstos se encuentran contaminados por ruido estadístico.² Por su parte, el segundo tiene en cuenta este ruido, pero impone una forma funcional, quizás restrictiva para la tecnología. Esta investigación se centra en la aproximación no paramétrica, es decir, en técnicas de programación lineal. Y, desde este punto de vista, se implementan empíricamente las medidas de eficiencia desarrolladas por Farrell (1957) usando dichos métodos.

El modelo DEA, sobre el que se efectúa el cálculo de la eficiencia técnica y de escala, es el desarrollado en Seiford y Thrall (1990),³ cuyo propósito es construir una frontera de posibilidades de producción no paramétrica, que envuelva los datos. Así, se pueden considerar N unidades de decisión, en donde cada unidad de toma de decisiones (DMU, por sus siglas en inglés)⁴ consume cantidades de M *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.

² Término que hace referencia a la variación no explicada o el azar, dentro de una muestra de datos dados o de fórmula.

³ Los modelos estándar de rendimientos constantes y variables a escala, que calculan las eficiencias técnicas y de escala, se desarrollan en Fare, Grosskopf y Lovell (1994b).

⁴ DMU hace referencia a Decision Making Unit, un término más amplio que el de firma.

Asimismo, X e Y son matrices de tamaño $M \times N$ y $S \times N$, que contienen la totalidad de *inputs* y *outputs* correspondientes a las N DMU consideradas (en este estudio, la j -ésima DMU hace referencia a la j -ésima región de México, con $j=1, 2, \dots, 7$). Para una DMU, su *ratio input/output* proporciona una medida de eficiencia. En programación matemática este *ratio*, que se minimiza, constituye la función objetivo de la DMU analizada. Por su parte, la incorporación de restricciones normalizadas refleja la condición de que el *ratio input/output* de cada DMU debe ser superior a la unidad, de manera que la frontera calculada envuelva a las distintas combinaciones *input-output* correspondientes a la totalidad de DMU consideradas. Todas las DMU eficientes se sitúan en la frontera de posibilidades de producción o tecnológica.

Medición del crecimiento de la PTF y sus componentes

Para llevar a cabo este análisis se dispone de un panel de datos, de manera que es posible calcular el índice de Malmquist siguiendo la metodología propuesta por Fare et al. (1994a). Este índice permite descomponer el crecimiento de la productividad en dos componentes: cambios en la eficiencia técnica y en la tecnología a lo largo del tiempo. La medición de la eficiencia técnica puede orientarse al *input* (cuando, dado un nivel de *output*, se trata de minimizar las cantidades a consumir de los *inputs*) o al *output* (cuando, dado un nivel de *inputs*, es preciso expandir el *output* lo máximo posible). Para la aplicación empírica posterior, se centrará la atención en el cálculo de la eficiencia técnica basado en una orientación *output*.

Para definir el índice de Malmquist con base en el *output*, se supondrá que en cada periodo $t=1, \dots, T$, la tecnología de producción S^t modela la transformación de *inputs*, $X^t \in \Re_+^N$ en *outputs*, $Y^t \in \Re_+^M$:

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

por su parte, la función de distancia del *output* en t se define como:

$$D_0^t(X^t, Y^t) = \inf : \{\phi : (X^t, X^t/\phi) \in S^t\} = (\sup \{\phi : (X^t, \phi Y^t) \in S^t\})^{-1} \quad (2)$$

Esta función se define como el recíproco de la máxima expansión proporcional del vector de *output* Y^t , dados los *inputs* X^t , y caracteriza completamente la tecnología. En particular, $D_0^t(X^t, Y^t) \leq 1$ si y sólo si $(X^t, Y^t) \in S^t$. Además, $D_0^t(X^t, Y^t) = 1$ si y sólo si (X^t, Y^t) está en la frontera tecnológica. En la terminología de Farrell (1957), eso ocurre cuando la producción es técnicamente eficiente.

Para elaborar el índice de Malmquist es necesario definir las funciones de distancia con respecto a dos períodos diferentes como:

$$D_0^t(X^{t+1}, Y^{t+1}) = \inf \left\{ \phi : (X^{t+1}, Y^{t+1} / \phi) \in S^t \right\} \quad (3)$$

La función de distancia correspondiente a (3) mide el máximo cambio proporcional en *outputs* requerido para conseguir que (X^{t+1}, Y^{t+1}) sea factible en relación con la tecnología en t . En forma similar, se puede definir la función de distancia que mida la máxima proporción de cambio en *output* necesaria, para que la combinación (X^t, Y^t) sea factible en relación con la tecnología en $t+1$, que se denominará $D_0^{t+1}(X^t, Y^t)$. Así, el índice de productividad en *output* de Malmquist se define como:

$$M^t = \frac{D_0^t(X^{t+1}, Y^{t+1})}{D_0^t(X^t, Y^t)} \quad (4)$$

en el que la tecnología en t es la de referencia. De manera alternativa, un índice de Malmquist se define con base en el periodo $t+1$:

$$M^{t+1} = \frac{D_0^{t+1}(X^{t+1}, Y^{t+1})}{D_0^{t+1}(X^t, Y^t)} \quad (5)$$

Fare et al. (1994a) definen el índice de Malmquist de cambio en productividad basado en el *output*, como la media geométrica de los índices de Malmquist (4) y (5):

$$M_0(X^{t+1}, Y^{t+1}, X^t, Y^t) = \left[\left(\frac{D_0^t(X^{t+1}, Y^{t+1})}{D_0^t(X^t, Y^t)} \right) \left(\frac{D_0^{t+1}(X^{t+1}, Y^{t+1})}{D_0^{t+1}(X^t, Y^t)} \right) \right]^{1/2} \quad (6)$$

o el equivalente:

$$\begin{aligned}
 M_0(X'^{t+1}, Y'^{t+1}, X^t, Y^t) = & \frac{D_0^{t+1}(X'^{t+1}, Y'^{t+1})}{D_0^t(X^t, Y^t)} \times \\
 & \times \left[\left(\frac{D_0^t(X'^{t+1}, Y'^{t+1})}{D_0^{t+1}(X'^{t+1}, Y'^{t+1})} \right) \left(\frac{D_0^t(X^t, Y^t)}{D_0^{t+1}(X^t, Y^t)} \right) \right]^{1/2} \tag{7}
 \end{aligned}$$

La expresión (7) permite dividir en dos componentes la evolución de la productividad; el primero hace referencia al cambio en la eficiencia, cuyas mejoras se consideran evidencia de *catching-up*, o acercamiento de cada DMU a la frontera eficiente;⁵ el segundo 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, conducen a valores superiores a la unidad, al igual que sucede con cada uno de sus componentes. Además, cabe destacar que dicha descomposición proporciona una forma alternativa de contrastar convergencia en el crecimiento de la productividad, así como identificar la innovación.

En el trabajo empírico, el índice de productividad de Malmquist se calcula usando las técnicas de programación no paramétricas ya expuestas.⁶ Así pues, para calcular la productividad de la k' -ésima DMU entre t y $t+1$ es necesario resolver cuatro problemas de programación lineal: $D_0^t(X^t, Y^t)$, $D_0^{t+1}(X^t, Y^t)$, $D_0^t(X'^{t+1}, Y'^{t+1})$ y $D_0^{t+1}(X'^{t+1}, Y'^{t+1})$. 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*.

Si $k' = 1, 2, \dots, K$ DMU usando $n = 1, 2, \dots, N$ *inputs* $X_n^{k', t}$ en cada periodo $t = 1, 2, \dots, T$. Esos *inputs* se usan para producir $m = 1, \dots, M$ *outputs* $Y_m^{k', t}$. Por tanto, para cada $k' = 1, \dots, K$ se calcula:

⁵ Con métodos de programación no paramétrica se construye una frontera eficiente para el territorio mexicano, basada en todas las regiones.

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

$$\begin{aligned}
 & \left(D_0^t(X^{k',t}, Y^{k',t}) \right)^{-1} = \max \varphi^{k'} \\
 \text{s.a. } & \phi^{k'} y_m^{k',t} \leq \sum_{k=1}^K \lambda^{k,t} y_m^{k,t} \\
 & \sum_{k=1}^K \lambda^{k,t} x_n^{k,t} \leq x_n^{k',t+1} \\
 & \lambda^{k,t} \geq 0
 \end{aligned} \tag{8}$$

El cálculo de $D_0^{t+1}(X^{k',t+1}, Y^{k',t+1})$ se lleva a cabo como en (8), sustituyendo $t+1$ en t . Dos de las funciones de distancia usadas en la construcción del índice de Malmquist requieren información acerca de los dos períodos. La primera de ellas se computa para la observación k' como:

$$\begin{aligned}
 & \left(D_0^t(X^{k',t+1}, Y^{k',t+1}) \right)^{-1} = \max \phi^{k'} \\
 \text{s.a. } & \phi^{k'} y_m^{k',t+1} \leq \sum_{k=1}^K \lambda^{k,t} y_m^{k,t} \\
 & \sum_{k=1}^K \lambda^{k,t} x_n^{k,t} \leq x_n^{k',t+1} \\
 & \lambda^{k,t} \geq 0
 \end{aligned} \tag{9}$$

En (9) aparecen observaciones de t y $t+1$ simultáneamente, ya que la tecnología en relación con la que $(X^{k',t+1}, Y^{k',t+1})$ es evaluado es la correspondiente a t . En (8), $(X^{k',t}, Y^{k',t}) \in S^t$ y, por tanto $D_0^t(X^{k',t}, Y^{k',t}) \leq 1$. Sin embargo, en (9), $(X^{k',t+1}, Y^{k',t+1})$ no tiene por qué pertenecer a S^t , con lo cual $D_0^t(X^{k',t+1}, Y^{k',t+1})$ puede tomar valores superiores a la unidad. El último problema de programación lineal que se necesita resolver es también mixto, como en (9), pero trasponiendo t y $t+1$.

Para analizar los cambios en las eficiencias de escala, se calcularán también las funciones de distancia con rendimientos variables a escala (Banker et al. 1984), y a los modelos anteriores se le incorpo-

rará la siguiente restricción: $\sum_{k=1}^K \lambda^{k,t} = 1$. La eficiencia a escala en cada periodo se construye como el cociente entre la función de distancia con rendimientos constantes y también con las variables. Por otra parte, en relación con la tecnología, el cambio técnico se calcula con rendimientos constantes.

Bases de datos y fuentes de información empleadas

El panel de datos considerado comprende el periodo 1970-2008, para las regiones socioeconómicas de México. El producto interno bruto (**PIB**), en pesos, es el de 2003; la inversión, mediante la formación bruta de capital fijo (**FBCF**), en pesos de 2003, y el empleo hace referencia al personal ocupado. Las bases de datos proceden de los censos económicos del **INEGI** (1971, 1976, 1981, 1986, 1989, 1994, 1999, 2004 y 2009).

Las regiones socioeconómicas se obtuvieron de la clasificación del **INEGI**, que elaboró su ordenamiento a partir de la información del XII Censo general de población y vivienda del año 2000, con el método propuesto por Jarque (1981), para formar los grupos o estratos, que se estableció originalmente como una solución al problema de estratificación óptima en muestreos multiparamétricos. De ello se forman siete estratos, cuyas características promedio son similares de los elementos clasificados en un mismo grupo, es decir, homogéneas. Los estratos se ordenan de tal forma que en el 7 se encuentran las entidades federativas que presentan, en promedio, la situación relativa más favorable según las variables consideradas,⁷ por el contrario, el estrato 1 está compuesto por las unidades cuya situación relativa, en promedio, es la menos favorable. La ventaja de este método es que utiliza toda la información disponible (como es el caso de la Primera Componente); el orden de los estratos está definido por los centros finales, es decir, por los promedios de los indicadores en cada estrato. El objetivo del método es formar estratos con varianza mínima buscando agrupar a los elementos que más se

⁷ Educación, ocupación, vivienda, urbanización y nivel socioeconómico, este último tema comprende 24 indicadores seleccionados.

parezcan entre sí o que estén más cercanos, siguiendo un criterio de similitud establecido, y que a su vez permita diferenciar un estrato de otro. En la figura 1 se muestran las regiones socioeconómicas de México, derivadas de esta metodología.

Figura 1

Regiones socioeconómicas de México

Región 1	Región 2	Región 3	Región 4	Región 5	Región 6	Región 7
Chiapas	Campeche	Durango	Colima	Baja California	Aguascalientes	Distrito Federal
Guerrero	Hidalgo	Guanajuato	México	Baja California Sur	Coahuila	
Oaxaca	Puebla	Michoacán	Morelos	Chihuahua	Jalisco	
	San Luis Potosí	Tlaxcala	Nayarit	Sonora	Nuevo León	
	Tabasco	Zacatecas	Querétaro	Tamaulipas		
	Veracruz		Quintana Roo			
			Sinaloa			
			Yucatán			

Fuente: elaboración propia, con información del INEGI (2004).

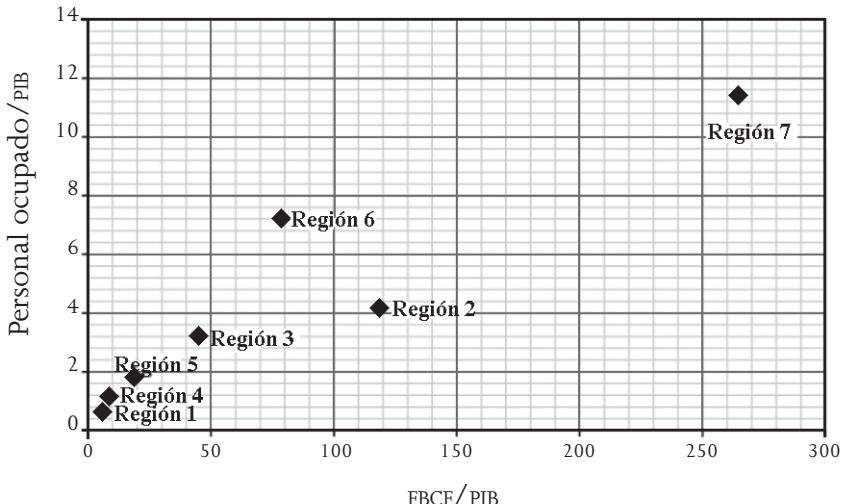
Resultados

A partir de la obtención de los cocientes de *inputs* a *output*, presentados en el anexo A-1, se determinó la frontera tecnológica y la posición de las regiones respecto a ella, la cual está representada en la figura 2, donde la frontera está determinada por la región 1.

Con la metodología ya descrita (Fare et al. 1994a) se construye una frontera de máxima producción con los factores productivos disponibles (capital y empleo), para las regiones de México durante el periodo 1970-2008. El cálculo del índice de productividad de Malmquist, así como su composición en los cambios técnicos y en

Figura 2

Frontera tecnológica de las regiones de México, 2008



Fuente: elaboración propia, con datos del INEGI (2004).

eficiencia se realizó con el software DEAP 2.1. (Coelli 1996), que se basa en el método de estimación de múltiples etapas para la resolución de modelos del DEA, descrito en Coelli (1998).

En el anexo A-3 se presentan las distancias obtenidas de las funciones de distancia, calculadas para elaborar el índice de Malmquist planteado en la ecuación (3), y cuyos resultados aparecen en la figura 3, donde también se observa que el cambio en la productividad de los factores muestra una mejoría en todas las regiones, con excepción de la 2, donde se ve un deterioro. Dicha mejoría se debe a perfeccionamientos en la tecnología, más que a la influencia del mejor uso de los factores productivos, ya que todas las regiones presentan valores inferiores a la unidad en el indicador de cambio en eficiencia del índice de Malmquist, como lo expresa la ecuación (7). Los valores en los componentes del índice indican que ha ocurrido un desplazamiento de la frontera tecnológica, motivado por

el cambio tecnológico, pero no se observa un acercamiento de las regiones a ésta, derivado del mejor uso de los factores privados.

En la figura 3 se sintetizan los resultados medios de cada región para la totalidad de 1970 a 2008. Los valores correspondientes al índice de productividad de Malmquist muestran uno superior a la unidad (excepto la 2), debido al aumento en todas las regiones del componente de cambio técnico o productividad óptima de producción, que se traduce en un desplazamiento de la frontera de referencia. Por su parte, el indicador de la eficiencia técnica permite identificar las regiones que hicieron el mejor uso de los factores productivos (como sugieren Krüger et al. 2000 y Lanteri 2002, las que producen de manera eficiente se sitúan en la frontera tecnológica). La mayoría de las regiones no muestra cambios en la eficiencia técnica (salvo la 3), por lo que su productividad relativa se mantiene inalterada, lo que les impide un acercamiento a la frontera de referencia y, por tanto, a la máxima productividad obtenida por las regiones que alcanzan la productividad óptima.

Figura 3

Descomposición de la PTF de las regiones, 1970-2008

Región	Cambio en eficiencia	Cambio técnico	Cambio en la PTF
1	0.94	1.28	1.21
2	0.80	0.86	0.69
3	1.03	1.32	1.37
4	0.93	1.55	1.44
5	0.84	1.54	1.30
6	0.78	1.56	1.23
7	0.73	1.44	1.05
Media	0.86	1.34	1.16

Nota: todos los índices de Malmquist son el promedio de las medias geométricas regionales.

Fuente: elaboración propia, con datos del INEGI (2004).

En lo que respecta al cambio en eficiencia técnica, la región 3 supera a la unidad, lo que permite corroborar que está usando mejor los factores productivos y expandiendo su producción, lo que implica su acercamiento a la frontera eficiente, contrario a lo que sucede con el resto.

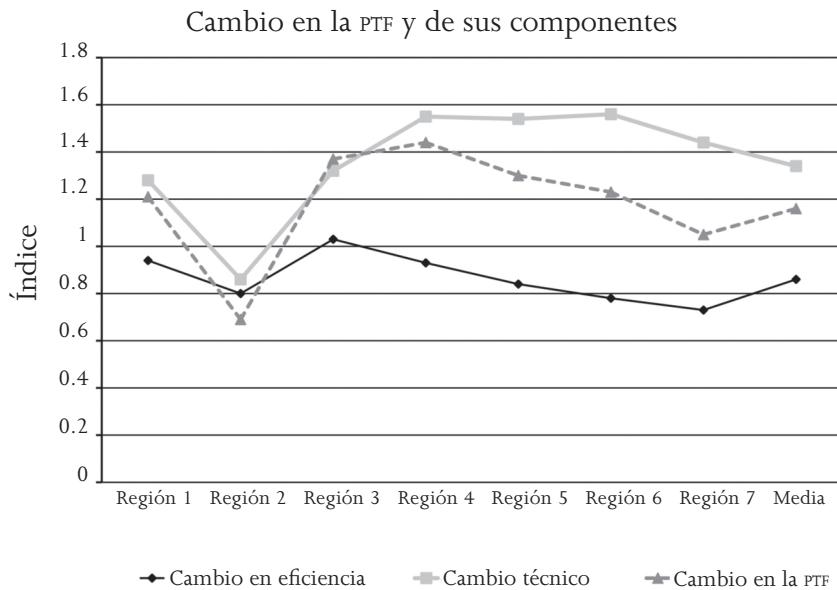
En general, la mejora en la productividad a lo largo del periodo se debe a los aumentos en el cambio técnico, originados por el desarrollo de procesos de incorporación tecnológica, que promueven el desplazamiento, de manera favorable, de la frontera de producción. Por otra parte, el cambio en eficiencia mantiene un valor inferior al unitario, por lo que existe una amplia posibilidad de mejorar el uso de los factores productivos, lo cual podría ser posible a través de la implementación tanto de programas de capacitación y adiestramiento para el trabajo, como de políticas educativas encaminadas a satisfacer las necesidades del sector productivo contemporáneo, o para la formación de profesionistas con alta capacidad de innovación.

Con respecto al objetivo de profundizar en el patrón de crecimiento de la productividad, la figura 4 muestra el índice de Malmquist de cada región, así como sus componentes: cambio técnico y cambio en eficiencia. Aporta evidencia de que el primero está altamente correlacionado con la PTF, en tanto que el segundo tiene un grado de asociación menor, y su valor, inferior al unitario, implica que no contribuye de forma importante al cambio en la PTF. Esto permite inferir que la incorporación de mejoras tecnológicas, mediante la innovación o especialización de la fuerza laboral, tendría mayor incidencia en el desplazamiento de las regiones hacia la frontera tecnológica de México. De manera particular, la región 2 es la que tiene condiciones más desfavorables tanto para desplazar la frontera tecnológica, a través del cambio tecnológico, como para acercarse a ella, con el mejor uso de los factores productivos.

Por su parte, en el anexo A-5 se presenta la descomposición del cambio en productividad en sus componentes en el tiempo. En la década de 1970 el cambio en eficiencia muestra mejoras, mientras que en la siguiente un deterioro, y en los años noventa de nuevo hay una mejoría, para cerrar, en la primera década del siglo XXI, con un deterioro en el uso de los factores productivos. En contraparte, el cambio técnico reporta comportamientos contrarios a los del

cambio en eficiencia en cada década considerada; así, en la de 1980 muestra mejoras, mientras que en la de 1990 un deterioro, lo que puede estar recogiendo la destrucción de la capacidad tecnológica de las regiones, derivada de la apertura comercial del país.⁸

Figura 4



Fuente: elaboración propia, con datos del INEGI (2004).

Conclusiones

La disponibilidad de datos sobre producción, inversión, empleo de las entidades federativas de México y su agregación en regiones socioeconómicas ha permitido realizar un análisis regional sobre la

⁸ La no disponibilidad de datos anuales para el periodo de estudio restringe un análisis más contundente sobre el efecto de las crisis económicas sufridas por México. Sin embargo, existe evidencia de que la apertura económica tuvo un efecto adverso sobre la eficiencia técnica de México.

PTF y sus componentes: cambio técnico y cambio en eficiencia. La utilización de técnicas de análisis de frontera no paramétrica, con el DEA, ha ofrecido la posibilidad de construir el índice de productividad de Malmquist y obtener sus componentes.

En el análisis interregional se identifica que ha mejorado la PTF de todas las regiones, debido más al cambio tecnológico que a la eficiencia técnica. Así mismo, el cambio técnico ha motivado el desplazamiento de la frontera tecnológica, la que a su vez está delimitada por la región 1.

El análisis intertemporal muestra un comportamiento oscilatorio de la eficiencia técnica; de mejoría en algunas décadas y empeoramiento en otras. Por su parte, los patrones de comportamiento del cambio técnico son similares, pero desfasados respecto al cambio en eficiencia.

A la luz de estos resultados, es posible expresar la necesidad de la incorporación de innovaciones en los procesos productivos, sin dejar de lado aspectos relacionados con el mejor uso de los insumos productivos, inversión y empleo, para expandir la producción de las regiones socioeconómicas del país.

Del presente estudio se desprende la importancia de buscar mecanismos y acciones de política económica, que redunden en un mejor uso de los factores productivos, y que incidirían en la eficiencia técnica y en su mejoría. No se debe olvidar el cambio técnico, el segundo componente del cambio en la PTF, que recoge el comportamiento de la evolución de la tecnología, por lo que en este rubro es crucial considerar la innovación y políticas públicas y acciones privadas que la favorezcan.

Recibido en junio de 2011

Aceptado en septiembre de 2012

Bibliografía

- Ablanedo Rosas, J. H., y L. A. Gemoets. 2010. Measuring the Efficiency of Mexican Airports. *Journal of Air Transport Management* XVI (6): 343-345.

- Álvarez, Inmaculada, Osvaldo Becerril, Laura del Moral y Reyna Vergara. 2008. Aplicación del Data Envelopment Analysis a la delimitación de la frontera tecnológica en México (1970-2003). *Revista Enlaces* 8: 1-18.
- Banker, R. D., A. Charnes y W. W. Cooper. 1984. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science* 30: 1078-1092.
- Beeson, Patricia y Steven Husted. 1989. Patterns and Determinants of Productive Efficiency in State Manufacturing. *Journal of Regional Science* XXIX (1): 15-28.
- Boisso, Dale, Shawna Grosskopf y Kathy Hayes. 2000. Productivity and Efficiency in the US: Effects of Business Cycles and Public Capital. *Regional Science and Urban Economics* 30: 663-681.
- Coelli, Timothy James. 1998. A Multi-stage Methodology for the Solution of Orientated DEA Models. *Operations Research Letters* 23: 143-149.
- _____. 1996. A Guide to DEAP Versión 2.1.: A Data Envelopment Analysis (Computer) Program, Centre for Efficiency and Productivity Analysis. University of New England, Armidale, mimeo.
- Domazlicky, Bruce R., y William L. Weber. 1997. Total Factor Productivity in the Contiguous United States, 1977-1986. *Journal of Regional Science* XXXVII (2): 213-233.
- Fare, Rolf, Shawna Grosskopf, Mary Norris y Zhongyang Zhang. 1994a. Productivity Growth, Technical Progress and Efficiency Changes in Industrialised Countries. *American Economic Review* 84: 66-83.
- _____, Shawna Grosskopf y Knox C. A. Lovell. 1994b. *Production Frontiers*. Cambridge: Cambridge University Press.

- _____ y Knox C. A. Lovell. 1978. Measuring the Technical Efficiency of Production. *Journal of Economic Theory* 19: 150-162.
- Farrell, M. J. 1957. The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society cxx* (3): 253-290.
- Fuentes Castro, Hugo Javier y Leticia Armenta Fraire. 2006. Las políticas públicas y la productividad: del diagnóstico a la solución efectiva. El caso de San Mateo Atenco. *Ánálisis Económico xxI* (047): 281-306.
- Griffin, Wade L., Richard T. Woodward. 2011. Determining Policy-efficient Management Strategies in Fisheries Using Data Envelopment Analysis (DEA). *Marine Policy xxxv* (4): 496-507.
- Gumbau, Mercedes y Joaquín Maudos. 1996. Eficiencia productiva sectorial en las regiones españolas: una aproximación frontera. *Revista Española de Economía xiii* (2): 239-260.
- INEGI. 2004. Metodología para la clasificación de las regiones socioeconómicas de México. http://sc.inegi.org.mx/niveles/datosnbi/reg_soc_mexico.pdf. (28 de abril de 2011).
- _____ . 1971, 1976, 1981, 1989, 1999, 2004 y 2009. Censos económicos. México: INEGI.
- Jarque, Carlos M. 1981. A Solution to the Problem of Optimum Stratification in Multivariate Sampling. *Journal of the Royal Statistical Society xxx* (2): 163-169.
- Krüger, Jens J., Cantner Uwe y Hanusch Horst. 2000. Total Factor Productivity, the East Asian Miracle, and the World Production Frontier. *Review of World Economics cxxxvi* (1): 111-136.
- Lanteri, Luis. N. 2002. Productividad, desarrollo tecnológico y eficiencia. La propuesta de los índices Malmquist. Trabajo presentando en la xxxvII Reunión de la Asociación Argentina de Economía Política, Tucumán.

- Lucía Alberto, Catalina. 2007. Comparación de la eficiencia técnica de las universidades públicas en Argentina. Trabajo presentado en el II Congreso nacional y I Encuentro latinoamericano de estudios comparados en educación, Buenos Aires.
- Lynde, Catherine y J. Richmond. 1999. Productivity and Efficiency in the UK: A Time Series Application of DEA. *Economic Modelling* 16: 105-122.
- Mahallati Rayeni, Mohamand y Faranah Hosseinzadek Saljooghi. 2010. Network Data Envelopment Analysis Model for Estimating Efficiency and Productivity in Universities. *Journal of Computer Science* vi (11): 1235-1240.
- Maudos, Joaquín, José Manuel Pastor y Lorenzo Serrano. 1999. Total Factor Productivity Measurement and Human Capital in OECD Countries. *Economic Letters* 63: 39-44.
- _____. 1998. Human Capital in OECD Countries: Technical Change, Efficiency and Productivity. Documento de trabajo WP-EC-98-19. Instituto Valenciano de Investigaciones Económicas, España.
- Navarro Chávez, Julio César Lenin y Zacarías Torres Hernández. 2006. Análisis de la eficiencia técnica global mediante la metodología DEA: evidencia empírica en la industria eléctrica mexicana en su fase de distribución, 1990-2003. *Revista Nicolaita de Estudios Económicos* I: 9-28.
- Nevárez Sida, Armando, Patricia Constantino Casas y Fernando García Contreras. 2007. Comparación de la eficiencia técnica de los sistemas de salud en países pertenecientes a la OMS. *Economía, Sociedad y Territorio* vi (24): 1071-1090.
- Peñaloza Ramos, María Cristina. 2006. Evaluación de la eficiencia en instituciones hospitalarias públicas y privadas con Data Envelopment Analysis (DEA). Documento 244. Serie Archivos de Econo-

mía. Dirección de Estudios Económicos, Departamento Nacional de Planeación, República de Colombia. i (39).

Salinas, María del Mar, Francisco M. Pedraja Chaparro y Salinas Jiménez. 2001. Efectos del capital público y del capital humano sobre la productividad total de los factores en las regiones españolas. Comunicación presentada en el II Encuentro de economía pública, España.

Salinas Martínez, Ana María, María Agustina Amaya Alemán, Julio César Arteaga García, Georgina Mayela Núñez Rocha, María Eugenia Garza Elizondo. 2009. Eficiencia técnica de la atención al paciente con diabetes en el primer nivel. *Salud Pública de México* LI (1): 48-58.

Seiford, Lawrence M., y Robert M. Thrall. 1990. Recent Developments in DEA: The Mathematical Approach to Frontier Analysis. *Journal of Econometrics* XLV: 7-38.

Sigler, Luis Ángel Merchand. 2004. Aplicación del Data Envelopment Analysis a la producción de investigación económica en la Ciudad de México: la eficiencia relativa del CIDE, COLMEX, IPN, UAM y UNAM (1990-2002). Ponencia presentada en el 4th International Symposium of Data Envelopment Analysis and Performance Management, Birmingham.

Villarreal Mallorquín, Ma. Guadalupe y Mauricio Cabrera Ríos. 2007. Agrupamiento de datos para la solución del problema de optimización multicriterio. *Ciencia* x (2): 137-142.

Anexos

A-1. Razones *input/output*, 2008

Región	FBCF / PIB	PO / PIB
1	9.03	1.18
2	118.45	4.20
3	5.95	0.74
4	18.54	1.90
5	45.09	3.22
6	79.20	7.25
7	264.54	11.46

Fuente: elaboración propia, con datos del INEGI (2004).

A-2. Eficiencia técnica: rendimientos constantes y variables a escala

Región	CRSTE	VRSTE	Eficiencia de escala (CRSTE/VRSTE)	
1	1.00	1.00	1.00	-
2	1.00	1.00	1.00	-
3	0.74	0.86	0.85	DRS
4	0.69	0.75	0.92	DRS
5	0.90	1.00	0.90	DRS
6	0.69	0.75	0.91	DRS
7	0.77	1.00	0.77	DRS
Media	0.82	0.910	0.91	

Nota: DEA = análisis envolvente de datos

CRSTE = eficiencia técnica con rendimientos constantes a escala DEA

VRSTE = eficiencia técnica de rendimientos variables de escala DEA

Escala = eficiencia de escala = CRSTE/VRSTE

Supuesto de escala: VRS = rendimientos variables a escala

DRS = rendimientos decrecientes a escala

Slacks calculados usando el método multi-etapas. Output orientada DEA

Fuente: elaboración propia, con datos del INEGI (2004).

A-3. Eficiencia técnica con rendimientos constantes a escala, relacionada al cambio técnico en el año t (funciones de distancia)

Región	1970	1975	1980	1985	1988	1993	1998	2003	2008
1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.89	1.00	0.96	0.68	0.66
2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.73	0.75	0.75	0.18
3	0.74	0.85	0.94	0.59	0.66	0.64	0.73	0.97	1.00
4	0.69	0.79	0.84	0.97	0.80	0.84	1.00	1.00	0.39
5	0.90	0.75	0.73	0.86	0.46	0.65	1.00	0.74	0.23
6	0.69	0.65	0.72	0.90	0.56	0.75	0.85	0.71	0.10
7	0.78	0.77	1.00	0.57	0.54	1.00	1.00	1.00	0.06
Media	0.83	0.83	0.89	0.84	0.70	0.80	0.90	0.84	0.37

Índice de Malmquist-DEA *output* orientado

Resumen de distancias en el año t

Fuente: elaboración propia, con datos del INEGI (2004).

A-4. Eficiencia técnica con rendimientos variables a escala

Región	1970	1975	1980	1985	1988	1993	1998	2003	2008
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.76	0.78	0.78	0.25
3	0.87	1.00	1.00	0.75	0.68	0.73	0.76	1.00	1.00
4	0.75	0.90	1.00	1.00	1.00	0.84	1.00	1.00	0.76
5	1.00	0.78	0.75	0.87	0.46	0.69	1.00	0.76	0.32
6	0.76	0.74	0.78	0.93	0.72	0.78	0.86	0.74	0.17
7	1.00	1.00	1.00	0.95	0.93	1.00	1.00	1.00	0.10
Media	0.91	0.92	0.93	0.93	0.83	0.83	0.91	0.90	0.51

Fuente: elaboración propia, con datos del INEGI (2004).

A-5. Descomposición de la PTF medias anuales

Año	Cambio en eficiencia	Cambio técnico	Cambio en la PTF
1975	1.001	1.795	1.796
1980	1.076	0.749	0.806
1985	0.929	463.172	430.438
1988	0.826	28.09	23.199
1993	1.162	0.062	0.072
1998	1.134	0.988	1.12
2003	0.925	1.2	1.11
2008	0.307	0.008	0.003
Media	0.863	1.345	1.161

Nota: todos los índices de Malmquist son el promedio de las medias geométricas regionales.

Fuente: elaboración propia, con datos del INEGI (2004).