

Aplicación de la metodología ADE y del índice de Malmquist para medir la productividad y el crecimiento económico de seis economías nacionales

JOSÉ HÉCTOR CORTÉS FREGOSO
MARÍA CAROLINA RODRÍGUEZ¹
TERESITA DE JESÚS ROJAS MENA²

Resumen

El objetivo del presente trabajo consiste en analizar, con base en la programación matemática, la productividad total de los factores, el crecimiento económico que experimentan las economías nacionales americanas de Chile, Estados Unidos y México, y las homólogas asiáticas de China, India y Japón. Para ello se discuten brevemente las aportaciones neoclásicas del crecimiento económico como marco de referencia del modelo empleado para el análisis del uso eficiente de los factores productivos. Asimismo, se pretende esclarecer si el mismo obedece a cambios en la eficiencia técnica en el tiempo o a cambios relacionados con la innovación tecnológica. Específicamente, se trata de analizar de qué manera se comporta cada una de estas economías con respecto a cuestiones relacionadas con la eficiencia técnica relativa, la productividad y el crecimiento económico. Para poder lograr conclusiones significativas, se utiliza la metodología no paramétrica que proporciona el análisis de datos envolvente (ADE) para la estimación y descomposición del índice de la productividad total de los factores de Malmquist (IM).

-
1. Licenciada en Economía y maestra en Negocios y Estudios Económicos por la Universidad de Guadalajara. Profesora de asignatura en el Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativas (CUCEA) de la Universidad de Guadalajara. Correo electrónico: cacemais@yahoo.com.mx.
 2. Licenciada en Economía y maestra en Negocios y Estudios Económicos por la Universidad de Guadalajara. Correo electrónico: lunarojamena@gmail.com.

Palabras clave: crecimiento económico, análisis de datos envolvente, índice de Malmquist, eficiencia, productividad

Introducción

Este trabajo tiene por objeto analizar si el crecimiento que experimentan las economías de Chile, Estados Unidos y México (como representantes del continente americano) y las de China, India y Japón (como sus similares en Asia), se realiza a partir del uso eficiente de los factores productivos; además, si esto obedece a cambios en la eficiencia técnica en el tiempo o a cambios relacionados con la eficiencia tecnológica. Específicamente, se pretende analizar de qué manera se comporta cada una de estas economías con respecto a cuestiones relacionadas con la productividad y el crecimiento económico. Para poder abordar estos temas, se utiliza la metodología del análisis de datos envolvente (ADE) así como del índice de la productividad total de los factores de Malmquist (IM).

Para este trabajo se toman como referencias las aportaciones de Lanteri (s/f), quien lleva a cabo un análisis del crecimiento de la productividad total de los factores en varias economías, en el periodo comprendido entre los años 1970 y 2001. Además, dicho estudio utiliza la metodología ADE para calcular los índices Malmquist y evaluar los cambios en la productividad. La conclusión alcanzada por el autor reafirma la idea de que dichas transformaciones obedecen a movimientos en la eficiencia o a algún cambio en la tecnología.

El presente trabajo está estructurado de la siguiente forma. En primer lugar, se discuten los conceptos de *crecimiento económico* y *productividad*; asimismo, se explica la manera en que ambos se vinculan. En el segundo apartado se explica en qué consiste la metodología ADE y cómo, a partir de la misma, es posible establecer una frontera tecnológica según la cual, de acuerdo con la posición que guarden las unidades con respecto a ésta, podrá concluirse si se desempeñan o no de manera eficiente. El tercer apartado contiene el modelo utilizado, así como la especificación de los insumos y productos que se utilizaron para el análisis. Por último, en la cuarta sección se presentan las conclusiones derivadas de los resultados. La bibliohemerografía se ofrece al final del trabajo.

1. Crecimiento económico y productividad

Con el objeto de brindar una mejor perspectiva acerca de qué significan ambos conceptos, a continuación se analiza cada uno en lo particular y posteriormente se especifica el vínculo entre ellos.

1.1. Modelo de crecimiento económico propuesto por Solow

A mediados del siglo xx, Robert Solow propone la primera aproximación teórica con el objeto de explicar el crecimiento económico. En este sentido, Lanteri (s/f) afirma:

“[...] ha sido usual medir los cambios en la productividad total de los factores, a nivel macroeconómico, a través de la diferencia entre las tasas de crecimiento del producto interno bruto real y las tasas de crecimiento en las cantidades de los factores productivos domésticos (ponderadas por sus participaciones en el producto)”.

Por su parte, Sanaú Villarroya et al. (2006) consideran que: “[...] las variaciones en el producto de una economía a lo largo del tiempo pueden atribuirse tanto a la utilización de más cantidad de trabajo y capital como a los cambios en la forma de usar ambos factores, es decir, al denominado factor residual”. La evidencia empírica revela que el factor residual, que no es más que la productividad total de los factores, desempeña un papel crucial cuando lo que se procura es explicar el crecimiento de la producción.

Solow, por lo tanto, plasma en su modelo que el crecimiento económico obedece tanto a la contribución de los factores de la producción —capital y trabajo— como al uso eficiente que se realiza de los mismos. Con respecto a ello, Fuentes et al. (2004) sostienen que la contribución de Solow permite

[...] descomponer las fuentes de crecimiento en un componente de “transpiración”, que corresponde a la acumulación de los factores, y en otro de [...] “inspiración”, que corresponde a aumentos de productividad. Esta descomposición es importante, ya que es este último componente el que puede llevar a altas y sostenidas tasas de crecimiento. Por otro lado, son las buenas instituciones, junto con buenas políticas, las que llevan a un país a “inspirarse” y con ello a crecer en forma sostenida.

La cualidad del modelo de Solow es que consigue identificar de manera independiente cuánto contribuyen los factores productivos a la eficiencia, es decir, a la evolución en lo que respecta a la productividad total de los factores. En la teoría económica se reconoce su contribución como una de las principales para explicar el crecimiento de las naciones, tal como revelan Fuentes et al. (2004).

Desde el punto de vista de la teoría económica neoclásica, los autores que se unen a dicha línea de pensamiento coinciden en la utilización, al momento de construir los modelos, de supuestos restrictivos, como lo son la asignación de recursos óptima, la información perfecta y el pleno empleo de los factores. Al mismo tiempo, analizan la unidad como un ente aislado del comportamiento de los demás. Asimismo, suponen que la producción se obtiene de manera eficiente con el uso adecuado de los factores.

Por lo tanto, una de las grandes interrogantes que se ha planteado la teoría económica a lo largo del tiempo ha sido la explicación de por qué los países crecen a diferentes ritmos. La evidencia muestra que existen dos posiciones. Por una parte, la que proponen los modelos neoclásicos tradicionales de crecimiento exógeno; por otra, la que postulan los nuevos modelos de crecimiento endógeno. A continuación se explican las características relevantes del modelo de crecimiento económico que propone Solow,

sobre el cual existe unanimidad entre los estudiosos acerca de haber sido el pionero y quien sienta las bases para posteriores trabajos y modelos para explicar el tema.³

La aportación que hace Solow constituye una parte fundamental del pensamiento teórico neoclásico, basado en el supuesto de la productividad decreciente de los factores. Contempla una función de producción donde el producto resulta de una combinación de la dotación de factores y del nivel de tecnología empleado, con la finalidad de “[...] hacer fuertes predicciones concernientes al comportamiento de las economías en el tiempo” (Bernard y Durlauf, 1994).

En este modelo se establece que los países, aun cuando cuenten inicialmente con distintas proporciones de capital per cápita, van a tender hacia un mismo nivel; de igual manera, convergerán variables entre ambos, tales como productividad, tasa de ahorro, depreciación y tasa de crecimiento de la población.

Los supuestos sobre los que descansa el modelo de Solow son los siguientes:

1. La función de producción per cápita $f(k)$, en la que intervienen los factores trabajo y capital, presenta rendimientos decrecientes de cada factor y rendimientos constantes a escala en la producción. Entonces, el pago a la productividad marginal que arroja cada factor agota el valor del producto final, con lo que se impide incorporar la innovación tecnológica.
2. Por su parte, la economía opera en competencia perfecta. Por lo tanto, en caso de que alguna empresa introduzca alguna innovación tecnológica, no podrá apropiarse de esos beneficios.

La lógica que encierra el modelo de Solow puede resumirse en la siguiente ecuación:

$$[1] \quad \dot{k} = sf(k) - (\delta + n)k$$

donde k es la razón de capital/trabajo; \dot{k} es la razón de capital/ trabajo diferenciada con respecto al tiempo; s se refiere a la porción del ingreso ahorrada (dentro del modelo se considera como variable exógena y constante); δ representa la tasa de depreciación del capital; n es la tasa de crecimiento poblacional y $f(k)$ corresponde a la función de producción per cápita que se caracteriza por tener rendimientos decrecientes de capital.

La ecuación [1] refleja que la nueva inversión, caracterizada a partir del producto $sf(k)$, elevará el acervo de capital por trabajador, en tanto que el crecimiento de la población lo reduce. Por su parte, el producto $(\delta + n)k$ representa la cantidad de inversión requerida para mantener el acervo de capital por trabajador en un nivel constante. Por lo tanto, este término considera tanto la depreciación del capital exis-

3. Sin menospreciar las aportaciones de Harrod y Domar como antecesores de tales esfuerzos teóricos sobre el crecimiento económico.

tente como la cantidad de inversión requerida para dotar a los nuevos trabajadores del factor capital.

El modelo de Solow considera el crecimiento en estado continuo. No es otra cosa más que el estado donde las diferentes variables macroeconómicas crecen a tasas constantes para mantener el estado estacionario, o sea,

$$[2] \quad sf(k^*) = (\delta + n)k^*$$

Una economía que crece bajo el estado continuo requiere que el capital por trabajador no cambie. El efecto positivo de la inversión sobre el acervo de capital por trabajador compensa los efectos negativos de la depreciación.

En la ecuación [2] el factor k^* es constante, así como lo son las otras variables macroeconómicas, tales como el producto por trabajador y el consumo por trabajador, por ejemplo. El rasgo característico es, por lo tanto, que éstas, en su volumen per cápita, no crecen dentro del estado de crecimiento continuo; eso sucede porque los agregados tales como producción (Y), consumo (C) y capital (K) crecen a la tasa n . Por lo tanto, la tasa de crecimiento de largo plazo de las variables no se verá afectada por cambios en el nivel de tecnología, tasa de ahorro, tasa de crecimiento de la población y tasa de depreciación.

Como es posible observar, cuando este modelo busca explicar el crecimiento de una economía son numerosos los supuestos que no concuerdan con la realidad en la que se desarrolla. Tal como menciona Lanteri (s/f), la metodología originada en la contabilidad del crecimiento impone además el supuesto de que la producción observada se mantenga en estado de eficiencia. Por lo tanto, se encuentra en desventaja si lo que se procura es realizar un estudio más detallado, en el que se conozca cuánto del desempeño que tenga una economía se debe al progreso que tuvo el nivel de la tecnología utilizada y cuánto a movimientos en lo que respecta a la eficiencia. Modelos que explican el crecimiento desde esta perspectiva se quedan en la idea de que una mejora o un deterioro en el aspecto de la productividad es exclusivamente explicado a partir de cambios observados en la tecnología.

De tal manera, a partir de la forma en que se comportan las economías será posible afirmar que éstas muestran una tendencia de crecimiento de largo plazo. Por esta razón, la necesidad es creciente con respecto a conocer cuáles son las causas de este crecimiento y cómo las economías pueden transitar posteriormente hacia el desarrollo.

1.2. Productividad

El término *productividad* ha sido objeto de estudio en diversos trabajos; sin embargo, la evidencia demuestra que no existe una única definición en la que todos coincidan. Al respecto, podemos destacar la que presenta Zamora Sanz (2004) como la que mejor se adecua a los propósitos de este trabajo:

[...] la productividad es una variable relativa a la capacidad de los factores de la producción para obtener un determinado producto, englobando esta capacidad diversos elementos que no son directamente explicados por los factores productivos, por lo que en cierto modo dentro de la misma se está incorporando una medida de la falta de conocimiento o ignorancia acerca de las auténticas características, tanto materiales como inmateriales, de los procesos productivos.

A fin de mostrar qué tan difícil resulta para los estudiosos definir la productividad, considérese en este sentido la afirmación que hace Abramovitz, quien señala que “[...] la productividad es una medida de nuestra ignorancia sobre las causas del crecimiento económico” (citado en Zamora Sanz, 2004).

En otro orden de ideas, González Uribe (2004) afirma que cuando un país delinea las políticas orientadas a lograr avances en lo que respecta al desarrollo tecnológico, busca alcanzar mejoras en cuanto al crecimiento de su productividad; de esta forma, conseguirá impactar de manera positiva tanto a variables macroeconómicas, como el producto nacional, así como a variables cualitativas vinculadas con el nivel de vida de los individuos. De esta forma, a partir de mejoras en la productividad será la forma en que una economía tendrá posibilidades de alcanzar el crecimiento.

Una vez que se define la forma funcional de la producción agregada o producto interno bruto (PIB), y ya establecidas las medidas independientes tanto para el producto como para los factores que intervienen, se estima de manera residual el modo en que contribuye la eficiencia o la productividad total de los factores. Con respecto a esta última, Fuentes et al. (2004) afirman que la productividad obtenida de este modo estaría representando aquellos problemas al momento de definir la función y de medir las variables. Sin embargo, suele ser el modo tradicional de obtener datos con respecto a cambios en la productividad.

Los avances en la misma, tanto de ciertos procesos como de la actividad económica a nivel agregado, conducen al crecimiento económico, con repercusiones en la sociedad en su conjunto. La productividad puede causar confusión de acuerdo con el modo de determinar su magnitud o sus causas.

1.2.1. Medición de la productividad

El cálculo de la productividad ha constituido también un reto para los estudiosos de la materia, lo que ha empujado a utilizar distintas técnicas para lograrlo. Entre ellas, González Uribe (2004) enumera las siguientes: a) la estimación de la productividad total de los factores a partir de los datos agregados de la economía; b) la estimación a partir del uso de técnicas de panel de datos; c) la estimación a partir de técnicas semiparamétricas; y d) la estimación realizada a partir de la utilización de variables instrumentales derivadas de las condiciones de demanda.

Mientras que en algunos casos se le pone especial énfasis a la obtención de parámetros que serán objeto de estudio y de contraste a través de hipótesis, para otras técnicas no es fundamental llegar a formas funcionales específicas ni establecer relaciones *ex ante* entre las variables que serán consideradas en el modelo; en este últi-

mo caso, tendría cabida la metodología de programación matemática conocida como el ADE.

1.2.2. Determinantes de la productividad

Los movimientos observados en la variable productividad no son de sencilla justificación, porque no obedecen sólo a un motivo en particular, sino a un conjunto de sucesos o a una combinación de varios de ellos. En este sentido, la estabilidad macroeconómica va a ser una condición necesaria pero no suficiente para que se observe un excelente desempeño en aspectos vinculados con la productividad de una nación. Por tanto, aunque pudiera pensarse que para lograr este objetivo es suficiente con diseñar políticas económicas adecuadas, en realidad esto no sucede en todos los casos (González Uribe, 2004).

Entre los determinantes de la productividad, se identifican los siguientes:

- a) La eficiencia.
- b) El progreso tecnológico.

La eficiencia es necesaria para la medición de la productividad total de los factores, dado que muestra la eficiencia con que todos los insumos son utilizados en la producción.

Por su parte, los avances tecnológicos parecen ser el verdadero motor del crecimiento de las economías. Es así que identificar sus determinantes se torna una tarea prioritaria a la hora de explicar la manera en que se desempeñan, de analizar sus limitaciones y de diseñar una estrategia de crecimiento económico.

La teoría existente y los hallazgos empíricos enfatizan que la presencia de ciertos factores, al incidir favorablemente en la eficiencia con que los insumos son usados en el proceso productivo, se vuelven claves en una perspectiva de desarrollo de mediano y largo plazos. Una economía más integrada al mundo tecnológicamente más avanzado, que reasigna factores de producción de acuerdo con criterios de eficiencia, es más productiva (Bucacos, s/f).

La productividad se erige como una variable de importancia cuando lo que se pretende es analizar el crecimiento a largo plazo de las economías; en este punto coincide Krugman cuando afirma que “[...] la productividad no lo es todo, pero a largo plazo lo es casi todo” (citado en Zamora Sanz, 2004).

Aun así, existe consenso en cuanto a que las mejoras en la productividad son uno de los factores fundamentales que afectan al crecimiento económico, y por tanto a los niveles de vida y al bienestar de las sociedades, por lo que resulta interesante conocer características relativas a dicho crecimiento en tanto que “[...] el único modo en que se puede lograr un crecimiento continuo y a largo plazo de los niveles de vida es aumentando la productividad” (citado en Zamora Sanz, 2004).

2. Medición de la frontera tecnológica y de la eficiencia técnica

La metodología considerada para el presente trabajo permite estimar la frontera tecnológica a partir de los datos de las unidades consideradas en la muestra. Los puntos que se sitúen sobre la frontera serán los que reflejen los años durante los que la economía hace uso de los insumos de forma eficiente, desde el punto de vista técnico. Sin embargo, las observaciones que se ubiquen sobre la frontera no estarán comportándose de manera eficiente, según lo establece Pareto (Brada, 1989); en realidad, esos puntos señalan la producción que podría obtenerse si los recursos fueran utilizados, en cada periodo, empleando las mejores prácticas tecnológicas correspondientes al periodo muestral. Por otra parte, todas aquellas observaciones que queden “envueltas” por frontera serán las que van a mostrar en qué periodos los países utilizaron los factores de manera menos eficiente. Entonces, aquella distancia existente entre la frontera y los puntos de producción será la medida de ineficiencia técnica de la unidad considerada (Lanteri, s/f).

Para la estimación de la frontera tecnológica tradicionalmente se han empleado diferentes métodos; los dos principales son:

- Los métodos estocásticos.
- El análisis de datos envolvente.

Mientras los primeros involucran métodos econométricos, la metodología ADE utiliza un método no paramétrico de programación matemática (lineal). Para determinar la distancia entre los planes de producción y la frontera tecnológica, se emplea una versión de la metodología ADE con orientación hacia el producto y bajo rendimientos constantes a escala. Se eligió esta metodología porque es la que nos permite estimar los índices de Malmquist que muestren los cambios en la productividad a través del tiempo. Ese movimiento en la productividad se descompone, gracias a los citados índices, en dos componentes: cambios en la eficiencia técnica y cambios en la tecnología. De esta forma, podrá desdoblarse la eficiencia a través de un primer efecto de emparejamiento, o sea, el acercamiento hacia la frontera, y finalmente del efecto de innovación tecnológica, es decir, la existencia o no de innovación.

Una vez que se obtuvieron estos datos, el producto de ambos factores dará como resultado los cambios en la productividad total de los factores. A su vez, bajo rendimientos constantes a escala, los cambios en la eficiencia podrían descomponerse en cambios en la eficiencia pura y en cambios de escala. A continuación se presenta con mayor detalle la metodología de los índices de Malmquist, la cual se utiliza para poder calcular los cambios en la productividad en las economías de las seis naciones consideradas en la muestra, entre los años 1994 y 2003.

2.1. Cálculo de la productividad a través de los índices de Malmquist

La metodología que se propone en este trabajo para calcular los cambios en la productividad se basa en la utilización de las medidas de eficiencia de Farrell (1957), con

las que se construyen los IM que permiten la descomposición del crecimiento de la productividad como resultado del progreso técnico y de las variaciones en los niveles de eficiencia técnica.

De acuerdo con Aldaz y Millán, el IM fue introducido por Caves et al. (1982b) como un índice de productividad, basado en la función de distancia y que se define en términos de información en el problema primario de la tecnología, es decir, en cantidades de insumos y productos. Los autores citados proponen que dicho índice de productividad se denomine de Malmquist porque, aunque este autor no analizó directamente cambios en la productividad, sí fue pionero en la búsqueda de construir un índice de cantidades como resultado de un cociente entre funciones de distancia.

Tal y como lo plantean Färe y Grosskopf (1992), y a diferencia de Caves et al., la obtención del IM se realiza a partir de la noción de que la función de distancia puede calcularse a partir de las medidas de eficiencia técnica que ya había propuesto Farrell en 1957. Coll y Blasco (2006) señalan que el IM de productividad en insumos basado en la tecnología de los periodos t y $t+I$, de acuerdo con Färe, Grosskopf, Lindgren y Roos (FGLR), se formula como:

$$IPM_{FGLR}(x_{t+I}, y_{t+I}; x_t, y_t) = \frac{D_t^t(x_t, y_t)}{D_t^{t+I}(x_{t+I}, y_{t+I})} \left(\frac{D_t^{t+I}(x_{t+I}, y_{t+I})}{D_t^t(x_{t+I}, y_{t+I})} \frac{D_t^{t+I}(x_t, y_t)}{D_t^t(x_t, y_t)} \right)^{1/2}$$

donde: $\frac{D_t^t(x_t, y_t)}{D_t^{t+I}(x_{t+I}, y_{t+I})}$ mide el cambio en la eficiencia técnica relativa entre los

periodos t y $t+I$. Capta los cambios en el tiempo, a lo que se denomina el efecto de emparejamiento; con éste será posible arribar a conclusiones acerca de si la unidad se encuentra más cercana o no de la frontera eficiente.

La media geométrica de los índices que aparecen como factores en el producto que se encuentra dentro de los corchetes, o sea, la expresión

$$\left(\frac{D_t^{t+I}(x_{t+I}, y_{t+I})}{D_t^t(x_{t+I}, y_{t+I})} \frac{D_t^{t+I}(x_t, y_t)}{D_t^t(x_t, y_t)} \right)^{1/2}$$

capta el cambio en la tecnología, es decir, el desplazamiento de la frontera tecnológica, entre los dos periodos evaluados. El primero de los índices de esta expresión,

$$\frac{D_t^{t+I}(x_{t+I}, y_{t+I})}{D_t^t(x_{t+I}, y_{t+I})}$$

es el que mide el cambio en la tecnología (desplazamiento de la frontera) para la unidad en $t+1$, en tanto que el segundo índice,

$$\frac{D_I^{t+1}(x_t, y_t)}{D_I^t(x_t, y_t)}$$

mide el cambio en la tecnología (desplazamiento de la frontera) para esa misma unidad en t . Así, el cambio tecnológico es medido como la media geométrica de ambos cambios (Färe, Grosskopf, Lindgren y Roos, 1989 y 1992). A partir de los resultados que se obtengan, será posible realizar afirmaciones: si el índice del cambio en la eficiencia técnica relativa toma un valor superior a la unidad, querrá decir que la unidad evaluada se ha acercado a la frontera tecnológica, y por lo tanto, mejorado su situación en el aspecto referente a su eficiencia técnica.

Por otra parte, si el cambio en la eficiencia técnica resulta en un valor inferior a la unidad, entonces la unidad se habrá alejado de la frontera, encontrándose en una peor situación. Cuando el resultado sea unitario, entonces no habrá existido variación en este sentido para la unidad evaluada.

Mientras tanto, y siguiendo con la descomposición del IM, para el otro factor que lo integra, que evalúa el cambio tecnológico, también existen parámetros para identificar en qué situación se encuentra la unidad objeto de análisis. Cuando el resultado supere la unidad significará que hubo una mejora o progreso técnico, que dará muestras de que existió innovación (Färe, Grosskopf, Norris y Zhang, 1994). En tanto que si el cociente de este factor muestra un valor inferior a la unidad, será posible concluir que existió un retroceso en lo que respecta a mejora tecnológica.

Con respecto al resultado global del índice, es posible afirmar que si para la unidad evaluada se observa entre el periodo t y $t+1$ una mejora en lo que respecta a la productividad, entonces el $IM_{FGLR}(x_{t+1}, y_{t+1}; x_t, y_t)$ tendrá un valor mayor que 1; en cambio, si dicha unidad experimenta a lo largo del periodo una pérdida de productividad el $IM_{FGLR}(x_{t+1}, y_{t+1}; x_t, y_t)$ será menor a la unidad.

No obstante, debe tenerse presente que los componentes de este índice, cambio de la eficiencia técnica y cambio tecnológico, pueden evolucionar en direcciones opuestas. En resumen, el cambio productivo puede venir explicado por el efecto de dos componentes: el cambio en eficiencia técnica, o el efecto de emparejamiento, y el cambio técnico (Coll y Blasco, 2006).

La descomposición que se realiza en el IM permite realizar una mejor interpretación del progreso técnico, visto como el desplazamiento de la máxima productividad media asociada a la escala más productiva (Quirós y Picazo, 2001). Para la obtención de IM se requiere la estimación de funciones distancia, o sus análogos índices de eficiencia de Farrell, a partir de la frontera de eficiencia correspondiente.

Para la estimación de estas fronteras es necesaria la especificación de una relación de los datos; ésta puede ser paramétrica o no paramétrica y, al mismo tiempo, tener

un carácter determinístico o estocástico (Rey y Quirós, 2003). En la siguiente sección se discuten las características más importantes de la metodología ADE y de la pertinencia de su utilización para la determinación de dicha frontera tecnológica.

2.2. Metodología ADE

Como ya se había señalado anteriormente, en este trabajo se opta por una relación no paramétrica y determinística como ADE, que presenta entre otras ventajas mayor flexibilidad, ya que no impone una forma funcional para la frontera tecnológica. Esta se construye a partir de las prácticas más eficientes (la máxima cantidad de producto posible dados los insumos utilizados) y sus combinaciones lineales. Asimismo, destaca entre las ventajas que ofrece este método que para realizar los análisis no requiere información sobre precios y solamente utiliza datos sobre unidades físicas de insumos y productos; tampoco requiere que se realicen supuestos sobre maximación de beneficios o minimación de costos. Ello lo pone al frente, dado que no se corre el riesgo que impondría la obligación de definir una forma funcional para cada análisis efectuado.

Sin embargo, también cuenta con limitaciones entre las cuales sobresale su carácter determinístico. No existe la posibilidad de probar estadísticamente hipótesis acerca de los resultados obtenidos. Cualquier desviación de la frontera será considerada por esta metodología como una ineficiencia; debido a esto, los impactos externos desfavorables, que afectan el desempeño de una economía, serán tratados como una ineficiencia. Como no toma en cuenta los efectos aleatorios como tales, y así como señala Lanteri (s/f), ADE podrá sobreestimar su efecto en el desempeño de la unidad y magnificar su ineficiencia.

La metodología ADE se combina con la utilización de IM de cambios en la productividad a través del tiempo. Lanteri señala que estos índices han sido aplicados en varios estudios, entre ellos Hjalmarsson y Veiderpass (1992), Bjurek y Hjalmarsson (1995) y Grifell-Tatjé y Lovell (1995). Para calcular los IM es necesario definir funciones distancia con respecto a dos periodos de tiempo diferentes:

$$D^t_0(x_{t+1}, y_{t+1}) = \inf \{ \Phi : (x_{t+1}, y_{t+1} / \Phi) \in S_t \}$$

La función distancia mide el máximo cambio proporcional en el producto, requerido para hacer posible (x_{t+1}, y_{t+1}) , respecto de la tecnología en t . La metodología ADE estima los IM a través de técnicas no paramétricas de programación matemática. Para ello, se supone que existen $k = 1, \dots, K$ países, que emplean $n = 1, \dots, N$ insumos $x_{k,t,m}$, en cada periodo de tiempo $t = 1, \dots, T$. Estos insumos sirven para producir $m = 1, \dots, M$ productos $y_{k,t,m}$.

Se considera que los insumos y los productos son estrictamente positivos y que el número de observaciones permanece constante a través del tiempo. Debe notarse que las funciones de distancia son independientes de las unidades de medición. La

frontera tecnológica en el período t , con rendimientos constantes a escala, se define, a partir de los datos, como:

$$S^t = \left\{ \begin{array}{l} (x^t, y^t) : y_m^t \leq \sum_{k=1}^k z^{k,t} y_m^{k,t} \quad m = 1, \dots, M \\ \sum_{k=1}^k z^{k,t} x_n^{k,t} \leq x_n^t \quad n = 1, \dots, N \\ k = 1 \\ z^{k,t} \geq 0 \quad k = 1, \dots, K \end{array} \right\}$$

donde $z^{k,t}$ representa una variable la intensidad de la producción de cada país en la construcción de la frontera tecnológica.

Bajo rendimientos constantes a escala, el componente de cambios en la eficiencia podría descomponerse en cambios en la eficiencia de escala y en cambios en la eficiencia pura (cambios de eficiencia son resultado del producto de los cambios de eficiencia pura y los cambios de eficiencia de escala). Lanteri especifica que el primer cambio es el que mide oscilaciones en la eficiencia técnica bajo el supuesto de una tecnología con rendimientos variables a escala, mientras que el segundo componente de dicho producto señala el cambio en la eficiencia debido a movimientos hacia (o fuera) del punto de escala óptima.

3. Modelo utilizado

La información que se consideró para este trabajo se obtuvo de la base de datos que se presenta en la página de la Penn World Table,⁴ en la cual se reúnen datos de variables macroeconómicas, tales como paridad del poder adquisitivo y cuentas nacionales para 188 países. La información que aquí aparece es para el periodo comprendido entre 1950 y 2004.

Las variables consideradas para este artículo son:

a) Insumos

La población. Aun cuando la información idónea a utilizar sería la mano de obra, debido a la dificultad de obtener los datos se utilizó el volumen de la población.

No hay una metodología generalmente aceptada para la estimación del capital humano, pero el procedimiento más utilizado es aproximar el *stock* de capital humano de un país a partir de las características de su población. Debido a las carencias de información al respecto, se optó por elegir esta variable, que influye en el crecimiento por una doble vía: acumulación de conocimientos y las habilidades de la mano de obra

4. Disponible en: <http://pwt.econ.upenn.edu/>.

que tienen un impacto directo en la productividad del factor trabajo; repercute de manera directa, al manejar el rendimiento del capital físico y tecnológico.

La inversión. El dato a partir del cual se refleja el volumen de inversión es la proporción del Producto Interno Bruto destinado a ello. Esto con el fin de calcular el acervo de capital, como promedio del acervo de maquinaria y equipo y las existencias de insumos de construcción.

b) Producto

El producto interno bruto. Se expresa en términos per cápita, y a precios corrientes. Este agregado económico refleja el volumen de bienes y servicios que son fruto del trabajo que desarrollan todas las unidades al interior de un país, en el periodo de un año.

La importancia de incluir la variable se debe a que en la evolución histórica del crecimiento económico se comparan en base al PIB per cápita, para determinar la relación que guardan con otras variables que intervienen en dicho crecimiento; aporta información sobre la evidencia de otras variables en el crecimiento y de sus posibles determinantes (CEPAL, 2006).

En este trabajo se estiman medidas de productividad total de los factores y de sus componentes, para una muestra de seis economías, de los siguientes países: Chile, China, Estados Unidos, India, Japón y México. La muestra utiliza datos anuales, correspondientes al periodo 1994-2003.

Debido a la limitación que enfrentamos para reunir información completa, los índices de productividad total de los factores, considerados en el trabajo, representan una medida "bruta" de la productividad, ya que no consideran los ajustes de los factores productivos por los cambios ocurridos, a través del tiempo, en la calidad de los mismos. Sin embargo, para algunos autores el concepto de productividad total de los factores incluiría implícitamente el nivel absoluto de conocimientos y habilidades, por lo que su medición estaría proporcionando información sobre la calidad de los factores productivos. Es de presumir, no obstante, que los ajustes por calidad generen una mayor caída, o un menor crecimiento, en la productividad total de los factores (Lanteri, s/f).

La metodología ADE compara el nivel de desempeño que muestra cada país con las mejores prácticas tecnológicas, que tienen lugar durante el periodo analizado. De esta forma, es posible definir una frontera tecnológica, a través de los datos de la muestra, que indique la mayor cantidad de producto alcanzable con los niveles dados de insumos cuando el modelo, como en este caso, se encuentra orientado hacia el producto. En este sentido, el grado de ineficiencia técnica de cada economía reflejaría la distancia entre los puntos observados y la frontera tecnológica.

Las mejores prácticas tecnológicas estarían representadas por el valor de uno en la columna de cambios de eficiencia, indicando que la economía en cuestión es eficiente técnicamente en forma plena (como sugiere Kruger et al., 2000, la función de producción del país que operara en forma plenamente eficiente reflejaría la frontera tecnológica), mientras que una economía que no ha alcanzado mejoras en su eficiencia, entre dos periodos, presentaría valores inferiores a la unidad.

La metodología empleada permite determinar los cambios en la productividad total de los factores, a través de índices Malmquist. Un valor del índice Malmquist, o de cualquiera de sus componentes, menor que uno señala un deterioro en su desempeño, entre dos periodos, mientras que un valor superior a la unidad indica una mejora respecto del periodo precedente.

Mientras la eficiencia técnica refleja cómo las firmas son capaces de emplear los insumos disponibles a partir de la tecnología de producción existente, el desarrollo tecnológico muestra los incrementos de producto que podrían lograrse, de un periodo a otro, sin alterar las cantidades de insumos empleadas. Esto último podría ocurrir por la introducción de nuevas técnicas de producción (Piesse y Thirtle, 1997).

4. Análisis de resultados

El objetivo de la investigación consiste en analizar el aumento de la productividad para el caso de las economías nacionales de Chile, China, Estados Unidos, India, Japón y México. El periodo dentro del cual se recopilan los datos de las mismas se encuentra comprendido entre 1994 y 2003.

La razón que motiva la elección de los países gira en torno a ser, en lo que concierne a los que pertenecen al continente americano —Chile y México—, los países en los cuales se refleja un entorno de estabilidad macroeconómica entre los representantes latinoamericanos. Mientras tanto, Estados Unidos constituye un país que, en diversos sentidos, es una referencia a nivel mundial, frente a la cual sus pares suelen compararse para evaluar su desempeño. Por su parte, las economías de los países asiáticos también merecen incluirse en el análisis, por el comportamiento que han generado a partir del acelerado crecimiento que han demostrado frente a las demás, y la manera en que han ampliado el mercado para sus productos a nivel mundial.

La herramienta informática que se utiliza para obtener los resultados es el *Data Envelopment Analysis Program* (ADEP). De este modo, se le indica al programa que muestre los cambios en la productividad total de los factores, a partir del IM, para los seis países durante los diez años. El resumen con los resultados se encuentra en el cuadro 1.

Cuadro 1
Resultados del IM, modelo orientado al producto, con rendimientos constantes a escala

País	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Chile	1.024	1.048	1.016	<i>1.110</i>	1.019	1.033	1.031	1.073
China	1.140	<i>1.127</i>	1.085	1.103	<i>1.155</i>	1.042	<i>1.070</i>	1.010
Estados Unidos	1.026	1.014	1.025	1.032	1.028	1.066	1.042	1.032
India	<i>1.235</i>	1.024	<i>1.130</i>	1.021	1.066	<i>1.081</i>	1.006	<i>1.135</i>
Japón	1.026	1.028	1.025	1.024	1.031	1.026	1.049	1.031
México	0.954	0.975	0.996	1.052	1.055	1.027	1.024	1.045

Fuente: elaboración propia.

A partir de la utilización de la metodología del ADE, se analiza el comportamiento de la productividad para las economías que integran la muestra. Como se trata de una metodología en la que el objetivo final no es la obtención de parámetros para las variables, existe mayor libertad para decidir cuáles son los insumos y productos que intervienen en el estudio. Sin embargo, y recordando los fundamentos de la teoría económica de la producción, para evaluar los cambios en la productividad se decide considerar los insumos trabajo y capital, reflejados por las variables correspondientes de acuerdo a la clasificación que utiliza la base de datos Penn World Table.

Habrà que recordar que el índice de Malmquist aquí presentado se descompone en el cambio en la eficiencia técnica pura, que se calcula a partir de la relación con la tecnología de rendimientos variables a escala y un componente residual, que mide el cambio en la eficiencia de escala que reúne aquellos cambios en la desviación entre la fronteras tecnológicas de rendimientos constantes y rendimientos variables.

Los resultados que se obtienen revelan, con respecto al TM, los hallazgos que se relatan a continuación y se resumen en el cuadro 2. Como se puede derivar de la observación de los resultados que se muestran en dicho cuadro, entre los años 1994 y 2003, India se presenta como el país que mejores resultados obtiene en el cambio en la productividad total de los factores; en el año 1996, la mejora que se observa es de 23.5%, sustentada tanto a partir de un cambio en su eficiencia como en la escala de producción.

Cuadro 2
Resultados de los cambios en la productividad total de los factores
para las seis economías analizadas

Año	País	Porcentaje de mejora de la productividad total de los factores	El cambio en la mejora se debió a		
			Cambio en la eficiencia	Cambio de escala	Cambio en la tecnología
1996	India	23.5	1.209	1.209	
1997	China	12.7	1.127		
1998	India	13.0	1.106	1.106	
1999	Chile	11.0			1.110
2000	China	15.5	1.128		
2001	India	8.1			1.095
2002	China	7.0			1.056
2003	India	13.5	1.098	1.098	

Fuente: elaboración propia.

En 1998 se ubica nuevamente en el primer lugar en el conjunto de países considerados para el análisis; su cambio en la productividad total de los factores, sustentado nuevamente en cambios en la eficiencia y en la escala, es de 13%. Hacia 2001 su mejora fue de 8.1%, a partir del cambio en la tecnología. Finalmente, en 2003 su índice de Malmquist muestra que su desempeño es satisfactorio en 13.5%, como consecuencia de la mejora en su eficiencia y en su escala de producción.

Por su parte, China en tres ocasiones resulta al frente del conjunto de las naciones analizadas: en 1997, cuando presenta un aumento en la productividad total de los factores de 12.7%, a partir del cambio en la eficiencia; luego en el año 2000 revela, de acuerdo con los resultados obtenidos, una mejora de 15.5%, respaldada en la eficiencia. Finalmente en 2002 el cambio es de 7% sustentado en el cambio en su tecnología. Chile, como representante del continente americano, se posiciona en el primer sitio en 1999, cuando, tal como puede verificarse en el cuadro 2, se observa un cambio positivo del orden de 11%, con base en el cambio en la tecnología.

5. Conclusiones

Se está ahora en condiciones de afirmar que el objetivo de la investigación se cumple, tomando en cuenta que lo que se busca es estudiar si el modo en que crecen las economías que componen la muestra se realiza a partir del uso eficiente de los factores productivos y si éste obedece a cambios en la eficiencia técnica en el tiempo o a cambios relacionados con el progreso tecnológico. El modo en que se pueden revisar estos aspectos es precisamente a través de la utilización del índice de Malmquist, descompuesto en los factores que lo integran, gracias a la metodología ADE, tomando como referencia a Färe, Grosskopf, Norris y Zhang (1994), para obtener dichos cambios, que se dividen en eficiencia pura y en cambios de escala.

Se utiliza un modelo con orientación hacia el producto; la estimación se lleva a cabo suponiendo rendimientos constantes a escala, mediante el *Data Envelopment Analysis Program* (ADEP), que permite obtener los parámetros de dicha descomposición. Se utilizan dos insumos: la población y la proporción de inversión (en relación al PIB) y como producto, el producto interno bruto, expresado en términos per cápita.

Además, se analiza el crecimiento económico, desde la perspectiva teórica de Solow, lo que facilita relacionarlo con la productividad y, con esto, conocer algunas de sus variables determinantes.

Los resultados dan a conocer que India y luego China constituyen las economías determinantes de la frontera tecnológica mundial, siendo la primera en cuatro ocasiones la que revela mejores resultados en lo que al cambio positivo de la productividad total de los factores se refiere. En tanto que China también se posiciona en el primer sitio dentro de la muestra en los años 1997, 2000 y 2002. Sólo en una ocasión Chile se colocó en este puesto, en el año 1999.

Biblio-hemerografía

- Alan Heston, Robert Summers y Bettina Aten (2006), Penn World Table Version 6.2, Center for International Comparisons of Production, Income and Prices at the University of Pennsylvania, septiembre.
- Aldaz, N. y J. Millán (s/f), "Comparación de medidas de productividad total de los factores en las agriculturas de las comunidades autónomas españolas". Disponible

- en: http://www.mapa.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_reea/r178_03.pdf.
Fecha de consulta: 13 de octubre de 2007.
- Anzil, Federico (2002), "El progreso tecnológico y el crecimiento económico". Disponible en: www.econlink.com.ar.
- Bernard, A. y S. Durlauf (1994), "Interpreting tests of the convergence hypothesis", Technical Working Paper, NBER, núm. 159.
- Botero García, J. (2005). "Los cambios en la productividad: Medidas alternativas aplicadas a Colombia". Departamento de Economía. Universidad de EAFIT. Disponible en: <http://www.eafit.edu.co/NR/rdonlyres/993AC89D-295F-4C40-B01E625A80C6044F/0/LAPRODUCTIVIDADENCOLOMBIA.pdf>.
- Brada, J. (1989), "Technological Progress and Factor Utilization in Eastern European Economic Growth", *Economica*, núm. 56, pp. 433-48.
- Bucacos, E. (s/f), "Sobre los determinantes de la productividad en Uruguay: 1960-1999". Disponible en: <http://www.bcu.gub.uy/autoriza/peiees/iees03j3021100.pdf>.
Fecha de consulta: 21 de noviembre 2007.
- CEPAL (2006), "Reflexiones sobre crecimiento económico de América Latina y el Caribe". Estudio económico de América Latina y el Caribe 2006-2007. Disponible en: http://www.eclac.org/publicaciones/xml/3/29293/lcg2338e_Cap4.pdf. Fecha de consulta: 10 de octubre 2007.
- Coll, V. y O. Blasco (2006), Evaluación de la eficiencia mediante el análisis envolvente de datos. Universidad de Valencia. Disponible en: <http://www.eumed.net/libros/2006c/197/index.htm>.
- Fuentes, R., M. Larraín y K. Schmidt-Hebbel (2004), "Fuentes del crecimiento y comportamiento de la productividad total de factores en Chile". Gerencia de Investigación Económica, Banco Central de Chile. Segunda versión. Disponible en: <http://www.cemla.org/red/papers/redx-ch-fuentes.pdf>.
- González Uribe, J. (2004), "Productividad: metodologías de estimación y determinantes en Colombia". Webpondo.org. Edición 14, octubre-diciembre. Disponible en: http://www.webpondo.org/files_jul_sep_2004/resenaproductividadjuanita.pdf.
- Kruger, J., U. Cantner y H. Hanusch (2000), "Total Factor Productivity, the East Asian Miracle and the World Production Frontier", *W. Archiv.* (136), 1, pp. 111-136.
- Lanteri, L. (s/f), "Productividad, desarrollo tecnológico y eficiencia. La propuesta de los índices de Malmquist". Disponible en: http://www.aaep.org.ar/espa/anales/PDF_02/lanteri.pdf. Fecha de consulta: 3 de octubre de 2007.
- Quirós, C. y A. Picazo (2001), "Liberalización, eficiencia y cambio técnico en telecomunicaciones", *Revista de Economía Aplicada*, núm. 25, pp. 77-113.
- Piesse J. y C. Thirtle (1997), "Sector-level Efficiency and Productivity in Hungarian Primary, Secondary and Tertiary Industries, 1985-1991", *Eastern European Economics*, núm. 35, pp. 5-39.
- Rey, B. y C. Quirós (2003), "Un análisis no paramétrico de eficiencia en el transporte aéreo", *Revista Economía Industrial*, núm. 353, pp. 89-93.
- Sanaú Villarroya, J., S. Barcenilla y C. López-Pueyo (2006), "Productividad total de los factores y capital tecnológico: Un análisis comparado", *Productividad y Competiti-*

vidad de la Economía Española, núm. 829, marzo-abril. ICE. Disponible en: http://www.revistasice.com/cmsrevistasICE/pdfs/ICE_829_145-163__B25F79974D-C32198623A1F966796C0A7.pdf.

Zamora Sanz, M. (2004), “Análisis de productividad basado en las funciones frontera: Estudio territorial del sector energético”. Departamento de Estadística, Estructura Económica y OEI Universidad de Alcalá. Disponible en: <http://www.asepelt.org/ficheros/File/Anales/2004%20%20Leon/comunicaciones/Zamora%20Sanz.pdf>.