

PALABRAS CLAVE

Crecimiento económico
 Productividad
 Medición
 Evaluación
 Aspectos ambientales
 Contaminación
 Anhídrido carbónico
 Datos estadísticos
 América Latina

América Latina: medición de la eficiencia productiva y el cambio técnico incorporando factores ambientales

Daniel Sotelsek y Leopoldo Laborda

En este trabajo se examina el crecimiento experimentado por un conjunto de países latinoamericanos (1980-2004) mediante el análisis de la productividad total de los factores (PTF) con una doble perspectiva: maximizar el nivel de producción (PIB) y minimizar las emisiones de CO_2 generadas en el proceso productivo. Con este propósito se construyen índices de productividad de Malmquist. Asimismo, se emplean funciones kernel de densidad para poder analizar la convergencia (o divergencia) de la eficiencia estimada. Los resultados obtenidos permiten señalar que la incorporación de factores medioambientales en la medición de la eficiencia y el cambio productivo hace posible que algunos países de la región vean mejorar sus estimaciones de manera significativa en comparación con las obtenidas por métodos más tradicionales.

Daniel Sotelsek
 Director del Instituto de Estudios
 Latinoamericanos
 Universidad de Alcalá (España)
 ✉ daniel.sotelsek@uah.es

Leopoldo Laborda
 Investigador Asociado del Instituto de
 Estudios Latinoamericanos
 Universidad de Alcalá (España)
 Consultor del Banco Mundial
 Unidad de Finanzas y Sector Privado de
 América Latina
 ✉ leopoldo.laborda@uah.es

I

Introducción

El propósito de este artículo es reflexionar y analizar empíricamente el crecimiento económico, la convergencia en niveles de eficiencia y la vinculación con la cuestión ambiental por medio del estudio y la medida del cambio de la productividad total de los factores (PTF) en los países de América Latina.

En este contexto, la idea principal del estudio consiste en combinar la eficiencia técnica en la utilización de los recursos con el concepto de sostenibilidad medioambiental. Para ello se estima el crecimiento de la PTF experimentado por las economías latinoamericanas entre 1980 y 2004, descomponiéndolo en mejoras de eficiencia y cambio tecnológico mediante el cálculo de índices de Malmquist.

La utilización de técnicas no paramétricas como el Análisis Envoltante de Datos (DEA, según su sigla en inglés) para medir la productividad, obedece al propósito de ofrecer resultados desagregados por país de las mejoras de eficiencia y de cambio técnico, considerando varias externalidades en la función de producción. Por otra parte, se intenta detectar posibles patrones de crecimiento convergentes (o divergentes) en los países latinoamericanos durante el período 1980-2004.

Estimamos que el tema es relevante puesto que el crecimiento de América Latina en los últimos 25 años

ha sido modesto, pero también es cierto que no solo es necesario considerar la tasa de crecimiento, sino también su calidad y estabilidad. Es en este contexto donde resulta necesario avanzar en el análisis de las causas del crecimiento, distinguiendo los efectos internos del cambio de eficiencia técnica (*catching-up*) y no solo un índice agregado.

También es importante destacar que, entre otros, el factor ambiental se ha incorporado al debate de la calidad del crecimiento y, en este sentido, el análisis cuantitativo y las metodologías utilizados en este trabajo permiten construir una medida del crecimiento incorporando esta variable a objeto de analizar cuál es su influencia a la hora de modificar la productividad total de los factores y poder comparar situaciones de crecimiento.

De acuerdo con estos objetivos, la estructura del trabajo es la siguiente: en la sección II se analizan los principales antecedentes sobre la relación entre crecimiento, convergencia y medio ambiente. En la sección III se recoge una primera aproximación a la metodología utilizada en la descomposición de la PTF y el análisis de la convergencia. En la sección IV se describen los datos empleados y se presentan los resultados obtenidos. Por último, la sección V contiene las conclusiones del trabajo.

II

Antecedentes

1. Productividad total de los factores (PTF), crecimiento y convergencia en eficiencia

A partir del trabajo pionero de Solow (1957) sobre la contabilidad del crecimiento (factor residual), ha sido común medir el cambio en la PTF como una forma de

buscar las causas del crecimiento y de esta manera reducir lo que se ha dado en llamar la medida de nuestra ignorancia.

Los avances en este campo han sido significativos y en un primer momento se han orientado a distinguir los determinantes de la acumulación de factores, tratando de observar tanto la calidad de la mano de obra como del capital. En realidad, se pretendía dar respuesta a las siguientes preguntas: ¿por qué crece una economía? y ¿cuál era la posibilidad de convergencia?

Desde la aparición del artículo de Romer (1986), quien propuso una función de producción con rendimientos crecientes externos a la empresa, se inicia una

□ Una versión preliminar de este trabajo ha sido presentada en el seminario del Centro de Estudios Ibéricos y Latinoamericanos (CILAS) de la Universidad de California en San Diego (UCSD), California. Agradecemos la ayuda institucional del BID y la UCSD, así como los comentarios recibidos de parte del Dr. José Luis Machinea a esa versión.

segunda etapa acerca de la teoría del crecimiento. En esos años, y tratando de dar respuesta a las mismas preguntas de siempre, surgían por una parte los modelos denominados de crecimiento endógeno y, por otra, se comenzaba a trabajar en la descomposición del progreso técnico y la eficiencia como dos medidas distintas que afectaban a la PTF.

En cuanto a la hipótesis de convergencia, la situación había dado un giro importante y en los estudios empíricos de Abramovitz (1986); Baumol (1986) y Madisson (1987) se encontraron evidencias de convergencia entre los países desarrollados, pero esta hipótesis no se mantenía cuando la muestra se ampliaba a países en desarrollo. Barro (1991), Barro y Sala-i-Martin (1992) y Mankiw, Romer y Weil (1992) también mostraban la existencia de convergencia condicional sobre las características del estado estacionario.

Junto con la definición de convergencia beta absoluta y condicional, Quah (1993) define una tercera medida de convergencia denominada sigma.¹ Para el caso de América Latina, Elías (2001) analiza la convergencia sigma de siete países en el período 1960-1994 y encuentra algún grado de convergencia entre los países, pero cuando se integra a los Estados Unidos a la muestra la situación es claramente divergente.

En este trabajo se introduce la idea de convergencia sigma solo desde el punto de vista de la eficiencia y por lo tanto no se profundiza en el tema, ya que lo relevante es complementar la idea de eficiencia en América Latina desde esta perspectiva.²

En todo caso conviene recordar que la evidencia muestra que el crecimiento de América Latina en los últimos 40 años ha sido modesto e inestable, presentando mayor volatilidad en el período 1980-2000. En este sentido, una primera referencia para el análisis del crecimiento en América Latina lo encontramos en Hofman (2001), donde se analiza en detalle el proceso de crecimiento de la región durante el siglo XX, las tendencias de convergencia y un análisis sobre la productividad y la eficiencia. Entre otras características, en el trabajo se incorpora un tema novedoso para analizar el proceso de crecimiento, distinguiendo y relacionando lo que se considera las “causas próximas” (análisis tradicional de las fuentes de crecimiento y beta convergencia) con las llamadas

“causas últimas” (las instituciones, la distribución del ingreso y la inestabilidad macroeconómica).

Las conclusiones están en línea con otros estudios en el sentido de encontrar claras tendencias de convergencia en el interior de la región y que el rol de la PTF permanece estable a lo largo del tiempo en torno del 40%, reflejando que los aportes del capital y el trabajo son las variables que se modifican a lo largo del tiempo (Hofman, 2001, p. 12).

Con respecto al período 1980-2000, el estudio avanza incorporando una explicación de las debilidades estructurales de la región y de cómo estas, aunque resulta difícil de cuantificar, afectan al proceso de crecimiento.

En la misma perspectiva, en el artículo de Solimano y Soto (2005) se trata de identificar con un grado de detalle significativo el proceso de desarrollo económico de América Latina y su relación con los ciclos de desarrollo en las últimas décadas del siglo pasado. Para ello, se formulan en primer lugar algunos hechos estilizados del desenvolvimiento económico en la región: i) existencia de heterogeneidad y volatilidad en el crecimiento de largo plazo, ii) deterioro del desarrollo económico después de 1980, y iii) importantes cambios en el desarrollo económico entre los países.

En segundo lugar, el artículo se centra en el análisis de las fuentes del crecimiento, concluyendo que el deterioro del producto interno bruto (PIB) en las últimas décadas del siglo pasado se relaciona fundamentalmente con una caída de la PTF. El estudio avanza en la identificación de determinantes de la PTF que pueden estar detrás de la merma del crecimiento, como es el caso del ciclo de negocios, la calidad de la fuerza de trabajo, los impactos (*shocks*) externos y la inestabilidad macroeconómica (Solimano y Soto, 2005, pp. 35-36).

En concordancia con nuestro trabajo, podemos citar algunos estudios en que se ha utilizado la estimación de la PTF mediante el Análisis Envolvente de Datos y la utilización de índices de Malmquist, ya que proporcionan una vía para distinguir entre progreso técnico y cambio en la eficiencia técnica a nivel de país:

— Para el período 1970-2001, Lanteri (2002) estima medidas de cambio en la PTF y sus componentes para nueve países, entre los que se incluyen a los Estados Unidos, así como a varios países latinoamericanos y del sudeste asiático. En conformidad con la importancia de medir la eficiencia en el cambio de la PTF, se puede destacar que la Argentina presenta un decrecimiento de 0,5% anual en el período (la frontera son los Estados Unidos), pero al descomponer la PTF se observa cómo la eficiencia aumenta durante este lapso a una tasa de 0,3% anual,

¹ La convergencia sigma (σ) mide la dispersión de la renta a través de la desviación estándar de la renta (Y_{it}) en cada país (i) a través del tiempo (t) (Barro y Sala-i-Martin, 1992).

² Para un análisis de la convergencia en América Latina véase CEPAL (2008, pp. 17-54).

mientras que la causa fundamental del declive en la PTF radica en que el cambio tecnológico decae un 0,7% anual.

- Taskin y Zaim (1997) realizan un estudio sobre cambios en la PTF para 23 países de altos y bajos ingresos, en el período 1975-1990. En él se trata de comprobar la hipótesis del cambio de eficiencia técnica midiendo ese cambio y evaluando la tasa de difusión de la metodología. En conjunto, los países pierden muy poco en productividad, pero los de altos ingresos ganan un 0,37% anual y los de bajos ingresos pierden un 0,38% anual.
- En el caso de los países de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), en los estudios de Dowrick y Nguyen (1989) y Färe, Grosskopf y Norris (1994) se aprecia una marcada convergencia en los cambios de eficiencia, mientras que la situación no es igual cuando se analizan los cambios en la PTF con respecto a la frontera.
- Ching-Cheng y Yir-Hueih (1999) estudian las fuentes del crecimiento de la productividad de los factores para el caso de los países asiáticos. Usando funciones distancia basadas en el índice de productividad de Malmquist, señalan algunos resultados interesantes (en la muestra se incluyen 19 países del Foro de Cooperación Económica Asia-Pacífico (APEC) al dividir la productividad entre cambio de eficiencia técnica y progreso técnico (innovación). Los datos indican que los Estados Unidos (incluido en la muestra) no es el único país innovador en la región; en los años ochenta, tanto la Región Administrativa Especial de Hong Kong como Singapur tenían la capacidad suficiente para ajustar la frontera de los países, por lo que no solo se destacan adaptando sino también innovando.
- Maudos, Serrano y Pastor (1999) al utilizar técnicas no paramétricas y para evitar los sesgos de eficiencia en el uso de las fronteras de producción consideran la posibilidad de conductas ineficientes, como es el caso de Färe, Grosskopf y Norris (1994) que denotan la importancia de las ganancias de eficiencia como fuente de convergencia en la productividad del trabajo para los países de la OCDE.

2. Productividad total de los factores (PTF), crecimiento y medio ambiente

En estudios recientes, la literatura ha incorporado la cuestión ambiental al análisis tratando de justificar los cambios en la PTF y diferenciándolos en eficiencia y progreso técnico.

Si bien la vinculación entre crecimiento económico y medio ambiente no es un tema de estudio reciente, tampoco es lejana. Es en la década de 1970 cuando se consolida la idea de que los problemas ambientales deben estar, de una forma u otra, relacionados con el desarrollo económico.

Los primeros antecedentes se remontan al libro *Silent Spring* (Carlson, 1962) donde se ponían de manifiesto los problemas ocasionados para el medio ambiente por el uso indiscriminado de pesticidas e insecticidas. Unos años más tarde, Boulding (1966), en su ensayo "The Economics of the Coming Spaceship Earth", intentaba mostrar el peligro que representaba el crecimiento económico ilimitado desde el punto de vista de los recursos y la contaminación.

El informe Meadows y otros (1972) fue un primer antecedente sobre la existencia de límites al crecimiento económico: la hipótesis principal se vinculaba a la restricción de los recursos no renovables. El debate se centró en tres puntos: la tasa de cambio del progreso técnico, futuros cambios en la composición de la producción y la posibilidad de sustitución (Ekins, 1993, p. 271).

Hoy en día el debate básicamente es el mismo; sin embargo, los estudios empíricos sobre la existencia de la curva ambiental de Kuznets (crecimiento y medio ambiente), la descomposición de las emisiones en escala y el efecto composición han esclarecido algo el debate. En este sentido, se afirma que el crecimiento económico no tiene por qué relacionarse con un deterioro ambiental, sino que, por el contrario, ambos elementos pueden coexistir con una mejora de la calidad ambiental (Cole, 2007).

En los años ochenta, en el informe de la Comisión Brundtland (CMMAD, 1987) se consolida el término de desarrollo sostenible (CMMAD, 1987).³ Desde el punto de vista económico, se trataba de compatibilizar los beneficios sociales de la disponibilidad de bienes y servicios y los costos ambientales derivados de esta producción.

A partir de los años noventa, los estudios de la curva ambiental de Kuznets se generalizan, entre otras cosas, merced a la disponibilidad de datos: Grossman y Krueger (1995) y Shafik (1994) encontraron evidencias de la curva ambiental de Kuznets (en términos de escala, composición y efectos técnicos). No obstante, existen reservas acerca del punto de cambio según sean

³ Si bien la idea central de desarrollo sostenible es preservar la equidad entre generaciones, este concepto deja de lado la preocupación por la equidad del ingreso y los niveles de pobreza en la población (equidad intrageneracional) (Markandya, 1992).

las características económicas, culturales, políticas y sociales de cada economía (Cole, Elliot y Shimamoto, 2005; Stern, 2002).⁴

A partir de allí, en gran parte de la literatura económica sobre variación en la PTF, eficiencia y convergencia se incluyen los temas ambientales y se acepta la buena relación entre crecimiento y medio ambiente:

- Kumar (2006) analiza el cambio en la PTF teniendo en cuenta la producción de bienes y servicios y la generación de externalidades negativas relacionadas con el medio ambiente, mientras que otros lo consideran como un costo de abatimiento de la contaminación. La medida tradicional de productividad ignora la reducción de emisiones no deseadas debido a la actividad de abatimiento, dado que no hay precio para la indeseable producción de emisiones, excepto cuando existe un mercado de bienes transables.

En el estudio se calcula un índice ajustado de productividad de Malmquist para 41 países de mayor y menor desarrollo en el período 1971-1992, y se analizan los componentes de la PTF dividiendo lo que es progreso técnico y eficiencia (no se acepta la hipótesis nula de que los índices son iguales cuando se ignoran las emisiones), como resultado se encuentra que solo seis países (todos desarrollados) son innovadores, mientras que esto no se cumple en el caso de países de menores ingresos.

- Färe, Grosskopf y Hernández-Sancho (2004, p. 349) proponen un indicador que mida el comportamiento ambiental mediante la técnica de Análisis Envolvente de Datos y que consiste en el cociente entre el índice de cantidad de bienes producidos y el de externalidades ambientales. Este indicador muestra el grado en que un sector, firma o país puede tener éxito al producir bienes contabilizando simultáneamente los efectos negativos ambientales. Para la aplicación del índice utilizan los datos de una muestra de 17 países de la OCDE para el año 1990. Por una parte, emplean los datos del PIB y, por otra, los datos de emisiones ambientales, CO_2 , NO_x , SO_x y consumo de energía (CE). Los resultados evidencian que Francia y Suecia son los países con un mayor cociente, mientras que Grecia presenta los peores.
- Ball y otros (2005) consideran la relación entre el crecimiento de la productividad y los efectos

negativos en el medio ambiente. Para ello tienen en cuenta algunos estudios donde se indica que el crecimiento de la productividad de los factores se encuentra sobreestimado cuando se está ante un incremento de externalidades negativas del tipo ambiental (Denison, 1979, y Robinson, 1995). Los autores parten construyendo un índice que denominan *Malmquist Cost Productivity* (MCP) y cuyo objeto es establecer una medida del aumento de la productividad que considere las externalidades. Utilizando datos de panel muestran cómo la medida de la productividad crece cuando se ignoran las externalidades ambientales negativas. Al contrario, cuando los riesgos ligados a la producción disminuyen la productividad aumenta (Ball y otros, 2005, pp. 382-386).

- Färe, Grosskopf y Pasurka (2007), partiendo de esta base, consideran la posibilidad de generar una medida de la productividad teniendo en cuenta que no existen los datos sobre los insumos utilizados en las externalidades ambientales. Para ello proponen la medida tradicional de la productividad en un contexto diferente denominado “aproximación conjunta de la producción”.⁵ Utilizan datos de planta de electricidad para el período 1985 y 1995 con un producto: generación neta de electricidad y dos externalidades: CO_2 y NO_x . Los resultados denotan que las actividades de abatimiento de la contaminación se relacionan con disminuciones en la productividad tradicional y el cambio técnico, aunque estas diferencias no son estadísticamente significativas (Färe, Grosskopf y Pasurka 2007, p. 680).
- Schuschny (2007) analiza el desempeño energético de 37 países de América Latina y el Caribe mediante el empleo de indicadores de la actividad económica, de intensidad de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) y de consumo de energía basado en el uso de fuentes fósiles o limpias y alternativas. Los resultados encontrados muestran la existencia de países que han hecho esfuerzos por lograr incrementos en el nivel de actividad de la economía, intentando sustituir el consumo energético por tecnologías limpias.

⁴ Para un análisis de los resultados sobre la estimación de los puntos de retorno en la curva ambiental de Kuznets, véase Cole (2007, p. 245).

⁵ Esta aproximación tiene algunas ventajas: i) no requiere información acerca del costo de las tecnologías de abatimiento; ii) no requiere investigar sobre las propias estrategias de abatimiento; y iii) la medida captura el efecto de abatimiento para más de un problema de contaminación.

A diferencia del trabajo de Schuschny (2007), en este artículo los factores contaminantes (en este caso emisiones de CO_2) no se consideran como un factor a minimizar, sino como producto no deseable o externalidad. Este enfoque diferente obedece a que el principal objetivo de este trabajo es realizar un ejercicio de contabilidad del crecimiento económico (de ahí la elección de factores de producción clásicos como el capital y el trabajo, y de un producto también estándar en este tipo de literatura como es el

PIB) desde una perspectiva más amplia, donde también se consideren los efectos negativos en términos ambientales vinculados a dicho crecimiento económico.

Para finalizar esta sección creemos importante recalcar la relevancia de enmarcar los análisis presentes en el contexto de una región como América Latina y en un período de tiempo muy significativo, que comprende la “década perdida”, el Consenso de Washington y la etapa de recuperación.

III

Metodología para el análisis de la eficiencia

1. Medición de la eficiencia productiva y el cambio técnico: el índice de Malmquist

El análisis propuesto en esta investigación ha requerido la estimación de índices de la PTF de Malmquist, para ello se ha seguido la metodología propuesta por Färe y otros (1994) en virtud de la cual se mide el cambio de la PTF entre dos períodos de tiempo, calculando el cociente de las distancias de cada punto de datos en relación con una tecnología común. Dada una tecnología en el período t , el cambio en el índice de la PTF de Malmquist (orientado al producto) entre el período s (el período base) y el período t puede ser expresado como:

$$m_0^t(q_s, x_s, q_t, x_t) = \frac{d_0^t(q_t, x_t)}{d_0^t(q_s, x_s)} \quad (1)$$

O bien, usando la tecnología de referencia en el período s , el índice puede ser definido como:

$$m_0^s(q_s, x_s, q_t, x_t) = \frac{d_0^s(q_t, x_t)}{d_0^s(q_s, x_s)} \quad (2)$$

En las ecuaciones (1) y (2) la notación $d_0^s(q_t, x_t)$ representa la distancia de la observación del período t a la tecnología del período s , en los términos ya definidos. De tal forma que un valor de (m_0) mayor que 1 indica un crecimiento positivo de la PTF del período s al período t , mientras que un valor menor que 1 indica una disminución de la PTF.

Como han señalado Färe, Grosskopf y Roos (1998), estos dos índices son solo equivalentes si la tecnología es *output*-neutral en el sentido de Hicks. Es decir, si las

funciones distancia del *output* pueden ser representadas como $d_0^t(q_t, x_t) = A(t)d_0(q_t, x_t)$ para todo t .

A fin de evitar imponer esta restricción o arbitrariamente escoger una de las dos tecnologías, el índice de la PTF de Malmquist es a menudo definido como la media geométrica de estos dos índices, en el sentido de Fisher (1992) y Caves, Christensen y Diewert (1982). Esto es:

$$m_0^s(q_s, x_s, q_t, x_t) = \left[\frac{d_0^s(q_t, x_t)}{d_0^s(q_s, x_s)} \times \frac{d_0^t(q_t, x_t)}{d_0^t(q_s, x_s)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Las funciones distancia en este índice de productividad pueden ser reorganizadas para mostrar que lo anteriormente expresado equivale al producto del índice de cambio de la eficiencia técnica y el índice de cambio técnico:

$$m_0^s(q_s, x_s, q_t, x_t) = \frac{d_0^t(q_t, x_t)}{d_0^s(q_s, x_s)} \left[\frac{d_0^s(q_t, x_t)}{d_0^t(q_t, x_t)} \times \frac{d_0^s(q_s, x_s)}{d_0^t(q_s, x_s)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

En la ecuación anterior el cociente fuera de los corchetes mide el cambio de la medida de eficiencia técnica orientada al *output* de Farrell entre el período s y el t . La parte restante del índice en la ecuación (4) es una medida de cambio técnico, esto es, la media geométrica del cambio en la tecnología entre los dos períodos, evaluados en (x_t) y también en (x_s) .

Färe, Grosskopf y Roos (1994) sugieren que el cambio de la eficiencia técnica sea descompuesto en dos componentes representados por “la eficiencia de escala y la eficiencia técnica pura”.⁶ La anterior descomposición implica adoptar la medida de cambio de eficiencia en el primer término de la ecuación (4)⁷ y separarla en un componente de cambio de la eficiencia pura y en un componente de cambio de eficiencia de escala, tal como recogen respectivamente las siguientes ecuaciones:

$$\text{Cambio de la eficiencia pura} = \frac{d_{0v}^t(q_t, x_t)}{d_{0v}^s(q_s, x_s)} \quad (5)$$

Cambio de la eficiencia de escala =

$$\left[\frac{d_{0v}^t(q_t, x_t)/d_{0c}^t(q_t, x_t)}{d_{0v}^s(q_s, x_s)/d_{0c}^s(q_s, x_s)} \times \frac{d_{0v}^s(q_t, x_t)/d_{0c}^s(q_t, x_t)}{d_{0v}^s(q_s, x_s)/d_{0c}^s(q_s, x_s)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

El componente del cambio de la eficiencia de escala de la ecuación (6) es en realidad la media geométrica de dos medidas de cambio de la eficiencia de escala. La primera es con relación a la tecnología del período t y la segunda con respecto a la tecnología del período s .

Para la estimación de los anteriores componentes se recurrirá al Análisis Envolvente de Datos.⁸ La naturaleza de esta técnica, conocida como DEA, estriba en la definición de una frontera eficiente como punto de referencia para evaluar las variaciones observadas en el desempeño de distintas unidades productivas (en este caso países).⁹ El método de Análisis Envolvente de Datos no crea supuestos sobre formas funcionales, pues se trata de un enfoque no paramétrico de la evaluación de desempeño; sin embargo, permite la incorporación de diversos insumos y productos, por lo que este caso constituye un aspecto esencial con relación a los objetivos del presente trabajo y la principal justificación para su empleo.

⁶ Esto solo es posible cuando las funciones distancia de las ecuaciones consideradas son estimadas en relación con una tecnología con rendimientos constantes de escala.

⁷ En este caso implica asumir un cociente de dos funciones distancia con rendimientos constantes de escala.

⁸ En Schuschny (2007) se realiza una presentación detallada de esta técnica, así como una excelente revisión de los conceptos de productividad y eficiencia.

⁹ En otras palabras y en el caso que nos ocupa, el supuesto de partida al aplicar esta técnica es que todos los países que comprende la muestra deberían poder funcionar en un nivel óptimo de eficiencia, que está determinado por los países eficientes que la integran. En la literatura especializada, a estos países eficientes se les denomina “países pares” y son los que determinan la frontera de eficiencia, de manera que la distancia hasta la frontera eficiente representa la medida de la eficiencia o de su falta.

Una de las ventajas relevantes de la utilización del Análisis Envolvente de Datos es que permite trabajar con múltiples insumos y productos que poseen unidades distintas, no hace necesario considerar el pleno empleo de los factores productivos, ni requiere formas funcionales explícitas. Mientras que en cuanto a los inconvenientes se puede decir que el método es sensible a errores de medición (los puntos de referencia son altamente productivos), no permite aplicar fácilmente tests estadísticos y se identifican ineficiencias relativas y no absolutas (Schuschny, 2007, pp. 22-23).

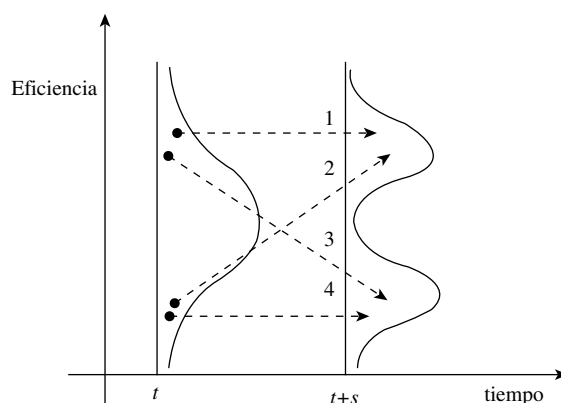
1. Dinámica de la distribución de la eficiencia

A fin de entender la dinámica de la evolución de toda la distribución de eficiencia se propone la utilización de estimadores kernel estocásticos, de manera análoga al planteamiento adoptado por Birchenal y Murcia (1997) para analizar la convergencia.

En el gráfico 1 se ilustra este planteamiento, apreciándose una distribución posible de la eficiencia en dos períodos de tiempo: t y $t+s$. La distribución en el período t indica que existe un nivel promedio de eficiencia que comparten la mayoría de las economías consideradas y que existen pocas que tienen elevada o baja eficiencia en extremo. En contraste, en $t+s$ se han agrupado las economías con mayor eficiencia, así como aquellas menos eficientes, conformando dos grupos claramente diferenciados donde han desaparecido los grupos de eficiencia media.

GRÁFICO 1

Cambio en la distribución de eficiencia



Fuente: elaborado sobre la base de J.A. Birchenal y G.E. Murcia, “Convergencia regional: una revisión del caso colombiano”, *Archivos de macroeconomía*, N° 69, Bogotá, D.C., Departamento Nacional de Planeación, 1997.

Asimismo, las flechas representadas en el gráfico 1 muestran la dinámica interior de la distribución. Por ejemplo, las flechas 2 y 3 indican la “movilidad” de las economías en el interior de la distribución y las flechas 1 y 4 indican la “persistencia” de las economías que conservan su posición original entre los períodos t y $t+s$.

IV

Datos y resultados empíricos

A la hora de aplicar esta metodología al análisis del crecimiento de la productividad (PTF) para un conjunto de países latinoamericanos (1980-2004), se han utilizado los datos correspondientes al PIB (expresado en dólares constantes de 2000) y a las emisiones de CO_2 (kt) como principales externalidades.¹⁰ Respecto de los insumos, estos están representados por el total de la fuerza laboral y por la formación bruta de capital (expresada en dólares constantes de 2000). Los anteriores datos han sido generados por el Banco Mundial en colaboración con otras agencias internacionales.¹¹

En el cuadro I del apéndice estadístico se presenta un análisis descriptivo de las estadísticas básicas de las variables utilizadas para los 18 países latinoamericanos considerados.

A partir de estas variables se estima el cambio de la PTF y su descomposición (cambio de la eficiencia, cambio tecnológico, cambio de la eficiencia pura y cambio de la eficiencia de escala) para el conjunto de países considerados en la muestra. Esa estimación se ha realizado contemplando una aproximación clásica (que denominaremos normal) en la que el único producto considerado es el PIB y otra alternativa (que denominaremos ambiental) en la que se incorpora un producto adicional no deseable, representado por las emisiones de CO_2 que acompañan a dicho crecimiento.

1. Análisis de la PTF y de la eficiencia

Se comienza el análisis considerando la descomposición del crecimiento de la PTF por año recogida en el cuadro 1.

Para analizar esta dinámica, sin distorsionarla, se propone dividir el espacio de eficiencia en un número infinito de regiones o un *continuum*. En este caso, la matriz correspondiente de probabilidades de transición tenderá a un *continuum* de filas y columnas, convirtiéndose en un kernel estocástico.

En primer lugar, se presentan los resultados del cambio experimentado para el período (1980-2004), efectuando también estimaciones del cambio alcanzado en distintos subperíodos a fin de aportar una mayor información sobre el comportamiento de estas variables.¹²

En términos generales, puede decirse que no hay grandes diferencias en las magnitudes estimadas con los dos índices empleados, de modo que en ambos casos la PTF media durante todo el período considerado ha sufrido una pequeña reducción (al descomponer la PTF se observa que utilizando el índice normal esta reducción se explicaría por la disminución de la eficiencia técnica, la eficiencia técnica pura y la debida a la escala; por el contrario, al utilizar el índice ambiental es el cambio tecnológico el responsable de esta aminoración de la PTF). Si bien los resultados finales no son dispares, según sea la medida utilizada de PTF las conclusiones preliminares y por tanto las recomendaciones de política, así como de incentivos, pueden ser distintas.

Al analizar el período completo, se observa que en los subperíodos 1981-1982 y 1982-1983 son de crecimiento en la PTF (cercano al 10%) en ambos escenarios, aunque en el caso del índice ambiental el incremento es superior, especialmente en el subperíodo 1981-1982. El subperíodo 1986-1987 es el de mayor pérdida de PTF (cercana al 7%) y también en ambos índices, lo que parece indicar cierta evolución negativa de los principales indicadores macroeconómicos en lo que se ha dado en llamar la “década perdida”. Al contrario, en el decenio de 1990 se advierten pérdidas importantes en la PTF en el subperíodo 1996-1997 y recuperación en el subperíodo 1998-1999. Esto parece coincidir con los procesos de

¹⁰ Las emisiones de dióxido de carbono son aquellas derivadas del empleo de combustibles fósiles y de la fabricación de cemento. Se incluye el dióxido de carbono producido durante el consumo de combustibles en estado sólido, líquido o gaseoso.

¹¹ Los autores agradecen expresamente a estas instituciones su amabilidad al facilitar el acceso a las bases de datos Indicadores del desarrollo mundial y Finanzas del desarrollo mundial.

¹² Una interpretación sencilla de los resultados es considerar a los valores superiores a la unidad como mejoras experimentadas en su crecimiento, y los menores que uno como retrocesos en ese crecimiento.

crisis financieras y bancarias y su superación tanto a nivel latinoamericano como mundial.

Llama la atención que tanto en los subperíodos de ganancia como de pérdida de productividad la mayor influencia proviene del cambio tecnológico o, lo que es igual, la variación del cambio tecnológico es mucho más pronunciada que la variación del cambio de la eficiencia.

A fin de profundizar en el análisis, en el cuadro 2 se aprecia la descomposición del crecimiento de la PTF para cada uno de los países considerados y para el conjunto de ellos. En este caso, se comprueba la inexistencia de grandes diferencias en las magnitudes estimadas con los dos índices empleados de manera similar a los datos del cuadro 1. Sin embargo, hay algunos países cuyo comportamiento requiere algunos comentarios. Utilizando el índice normal, en el Estado Plurinacional de Bolivia se observa un pequeño incremento medio de

la PTF, y utilizando el índice ambiental, la PTF registra una disminución.

En el caso del Ecuador y de la República Bolivariana de Venezuela la situación es la siguiente: en el Ecuador los incrementos en la PTF se producen en ambos escenarios; sin embargo, el índice ambiental muestra un claro comportamiento ascendente con una tasa media del 2,3% para todo el período y muy superior a la medición a través del PIB, lo que parece indicar un esfuerzo importante por parte del Ecuador en materia de eficiencia cuando se tienen en cuenta las externalidades ambientales. Mientras que en la República Bolivariana de Venezuela si bien se observa una disminución de la PTF en ambos escenarios, su comportamiento es mucho mejor cuando se incorporan las emisiones, ya que la caída de la PTF es del 2,8% considerando únicamente el PIB y solo del 0,7% cuando se incorpora el índice ambiental.

CUADRO 1

Descomposición del crecimiento de la PTF por año: crecimiento medio anual, 1980-2004

Período	Resumen índice Malmquist (índice normal)					Resumen índice Malmquist (índice ambiental)				
	EFFCH	TECHCH	PECH	SECH	TFPCH	EFFCH	TECHCH	PECH	SECH	TFPCH
1980-1981	1,032	0,958	0,983	1,05	0,989	1,023	0,972	1,007	1,016	0,995
1981-1982	0,959	1,141	0,96	0,999	1,093	0,961	1,157	0,977	0,983	1,112
1982-1983	0,942	1,169	0,958	0,983	1,101	0,918	1,207	0,911	1,008	1,108
1983-1984	1,038	0,938	1,061	0,978	0,974	1,117	0,871	1,097	1,018	0,973
1984-1985	0,955	1,05	0,977	0,978	1,003	0,99	1,006	1,02	0,971	0,997
1985-1986	1,028	0,951	1,037	0,991	0,977	0,986	0,971	0,977	1,009	0,957
1986-1987	0,965	0,956	0,986	0,979	0,923	0,986	0,943	1	0,986	0,93
1987-1988	0,861	1,179	0,922	0,934	1,016	0,906	1,141	0,945	0,959	1,035
1988-1989	0,916	1,123	0,836	1,095	1,029	0,807	1,287	0,789	1,022	1,038
1989-1990	1,081	0,895	1,182	0,914	0,967	1,03	0,947	1,146	0,899	0,975
1990-1991	1,332	0,713	1,153	1,155	0,95	1,348	0,705	1,164	1,158	0,95
1991-1992	0,976	0,958	0,998	0,978	0,935	1,068	0,884	1,043	1,024	0,944
1992-1993	0,992	0,98	0,97	1,023	0,971	0,911	1,076	0,932	0,977	0,981
1993-1994	0,77	1,255	0,888	0,868	0,966	0,759	1,274	0,873	0,869	0,966
1994-1995	1,189	0,823	1,096	1,085	0,978	1,188	0,818	1,103	1,076	0,971
1995-1996	0,962	1,086	1,01	0,952	1,044	0,963	1,09	1,019	0,945	1,049
1996-1997	1,078	0,855	1,029	1,047	0,922	1,214	0,76	1,09	1,113	0,922
1997-1998	1,047	0,909	1,019	1,028	0,952	1,058	0,908	1,035	1,022	0,96
1998-1999	0,957	1,155	1,035	0,925	1,105	0,91	1,207	0,998	0,912	1,098
1999-2000	1,002	1,014	0,955	1,05	1,016	1,041	0,963	1,002	1,039	1,002
2000-2001	0,98	1,028	0,954	1,027	1,008	1,014	0,994	0,968	1,047	1,008
2001-2002	0,843	1,205	0,874	0,964	1,016	0,87	1,164	0,935	0,93	1,012
2002-2003	1,12	0,911	1,127	0,994	1,02	0,988	1,043	0,966	1,023	1,031
2003-2004	1,035	0,945	0,999	1,036	0,978	1,126	0,862	1,082	1,041	0,971
Media	0,996	1	0,997	0,999	0,996	1	0,998	1	1	0,998

Fuente: elaboración propia sobre datos de las bases World Development Indicator (WDI) y Global Development Finance (GDF) del Banco Mundial.

PTF: productividad total de los factores.

EFFCH: cambio en la eficiencia técnica.

TECHCH: cambio tecnológico.

PECH: cambio en la eficiencia técnica pura.

SECH: cambio en la eficiencia de escala.

TFPCH: cambio en la productividad total de los factores.

CUADRO 2

**Descomposición del crecimiento de la PTF por país:
crecimiento medio anual, 1980-2004**

País	Resumen índice Malmquist (índice normal)					Resumen índice Malmquist (índice ambiental)				
	EFFCH	TECHCH	PECH	SECH	TFPCH	EFFCH	TECHCH	PECH	SECH	TFPCH
Argentina	1	0,997	1	1	0,997	1	0,998	1	1	0,998
Bolivia (Est. Plur. de)	1,007	0,995	1	1,007	1,001	1	0,996	1	1	0,996
Brasil	0,994	1,009	1	0,994	1,003	0,999	1,001	1	0,999	1
Chile	0,999	1,004	0,999	1	1,002	0,997	1,002	1	0,997	1
Colombia	0,997	1	0,996	1,001	0,997	0,995	1,001	0,995	1	0,996
Costa Rica	0,985	1,004	0,989	0,996	0,989	0,985	1,002	0,99	0,995	0,986
República Dominicana	0,998	0,997	1	0,998	0,996	1,005	0,992	1,004	1,001	0,997
Ecuador	1,001	1,006	1,005	0,996	1,006	1,013	1,009	1,012	1,001	1,023
El Salvador	0,987	0,998	0,987	1	0,986	0,99	0,997	0,99	1	0,987
Guatemala	0,991	0,998	0,991	1	0,989	0,997	0,995	0,995	1,002	0,992
Honduras	0,99	0,998	0,982	1,009	0,988	1	0,994	0,994	1,006	0,994
México	1,006	0,99	1	1,006	0,995	1,004	0,984	1	1,004	0,989
Nicaragua	0,997	0,991	1	0,997	0,988	1	0,995	1	1	0,994
Panamá	0,994	1,009	1	0,994	1,003	0,995	1,006	1	0,995	1,001
Paraguay	1,009	1,002	1,012	0,996	1,011	1,011	1,003	1,014	0,997	1,014
Perú	0,994	0,997	0,999	0,995	0,991	0,998	0,993	1	0,999	0,991
Uruguay	1,006	1,009	1,002	1,004	1,015	1,006	1,01	1,002	1,004	1,015
Venezuela (Rep. Bol. de)	0,984	0,989	0,986	0,997	0,972	1	0,993	1	1	0,993
Media	0,996	1	0,997	0,999	0,996	1	0,998	1	1	0,998

Fuente: elaboración propia sobre datos de las bases World Development Indicator (WDI) y Global Development Finance (GDF) del Banco Mundial.

PTF: productividad total de los factores.

EFFCH: cambio en la eficiencia técnica.

TECHCH: cambio tecnológico.

PECH: cambio en la eficiencia técnica pura.

SECH: cambio en la eficiencia de escala.

TFPCH: cambio en la productividad total de los factores.

Al descomponer la PTF se observa un patrón de comportamiento diferente del comentado en el cuadro 1. En el caso del Ecuador, se observa que parte de la mejora se debe especialmente al cambio de eficiencia, que a su vez se explica en mayor medida por el cambio de la eficiencia técnica pura en el caso del índice ambiental; mientras que teniendo en cuenta el índice normal, el cambio positivo (aunque mucho menor) obedece básicamente al progreso técnico. En el caso de la República Bolivariana de Venezuela se llega a la misma conclusión, en el índice normal la caída se justifica tanto por eficiencia como por tecnología, mientras que a la hora de usar el índice ambiental la eficiencia (eficiencia pura) compensa la caída del cambio técnico.

En el caso de la República Dominicana la situación también es bastante clara: en el índice ambiental el buen comportamiento de la eficiencia técnica (pura) ayuda a compensar la caída del cambio técnico, mientras que en el índice normal el comportamiento de ambos elementos es muy parecido.

En resumen, puede decirse que los resultados obtenidos para la totalidad del período considerado muestran, en general, bastante consistencia al comparar las dos medidas utilizadas (con la salvedad ya señalada del Estado Plurinacional de Bolivia). Cabe mencionar que los países en que la PTF experimenta un mayor incremento en la evolución son el Uruguay (obtiene 1,015 en los dos índices) y el Ecuador (1,006 en el índice normal y 1,023 en el índice ambiental); por su parte, en la República Bolivariana de Venezuela la PTF experimenta una disminución de 0,972 con el índice normal y tan solo de 0,993 con el índice ambiental.

Concluyendo, se puede decir que el comportamiento de la región ha sido más bien débil en cuanto a crecimiento de la PTF durante estos años, tanto desde el punto de vista del cambio tecnológico como de la eficiencia técnica, aunque esta última juega un papel mucho más importante a la hora de utilizar el índice ambiental. Esto último se comprueba con mayor nitidez en el caso de países que se encuentran más alejados de la media.

2. Análisis agregado de la eficiencia técnica en América Latina

El empleo de técnicas no paramétricas para analizar el crecimiento de la PTF permite disponer de información sobre la evolución que ha experimentado la eficiencia técnica en América Latina (véase el gráfico 2). La comparación entre las magnitudes obtenidas con los dos índices permite ver una tendencia muy similar a lo largo del tiempo, si bien en términos generales el índice ambiental arroja unas cifras algo superiores al índice normal.

En el gráfico 2 se observan varias etapas en la trayectoria de esta variable, siendo los años 1989 y 1994 donde ambas medidas coinciden y vienen precedidas de una disminución importante en la PTF. Sin el propósito de hacer un análisis detallado, se puede decir que el primer cambio de tendencia coincide con el final de la década y la aplicación de políticas vinculadas al Consenso de Washington, mientras que el cambio de tendencia en el año 1994 podría explicarse por políticas expansivas que desembocan en 1995 con la crisis financiera. Otro cambio de tendencia se da en 2002, donde el comportamiento de América Latina coincide con indicadores macroeconómicos estables en la mayor parte de la región. Otro punto a considerar es que la diferencia entre el índice ambiental y el normal es mayor en la década de 1990 que en la de 1980, por lo que puede pensarse que el esfuerzo de eficiencia en materia de emisiones ha sido mucho más relevante a

consecuencia de ciertas regulaciones y coincide con una mayor preocupación por mejorar los estándares en materia ambiental, aunque en todo caso cabe recordar que esas mejoras (o menores pérdidas) obedecen más a la eficiencia técnica (especialmente la eficiencia técnica pura) que al progreso técnico.

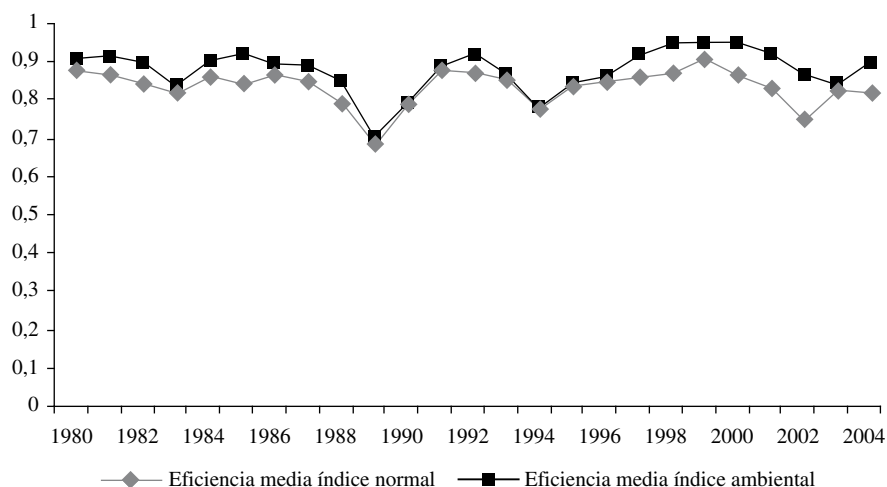
Analizada la evolución de la eficiencia técnica, suscita interés comprobar si esta ha favorecido la asimilación de la tecnología ya existente de los países más próximos a la frontera (proceso de convergencia) y, por tanto, la convergencia en eficiencia.

A fin de conocer la dispersión existente, en el gráfico 3 se recoge la sigma-convergencia a partir de la desviación típica del logaritmo del indicador de eficiencia.

En el gráfico 3 se comprueba que en estos años se han producido marcados cambios de tendencia en la evolución de la eficiencia técnica. Al comparar las magnitudes obtenidas con los dos índices, nuevamente se observa una tendencia muy similar a lo largo del tiempo, si bien en términos de convergencia el índice ambiental arroja unas cifras levemente superiores al índice normal. En dicha tendencia se refleja cómo durante los períodos 1983-1987, 1989-1992 y 1994-1998 se viven etapas de mejora de eficiencia que favorecieron la reducción de las diferencias entre los países. Entre esos períodos se produce un aumento de la eficiencia de los países más próximos a la frontera, lo que vuelve a acentuar las desigualdades.

GRÁFICO 2

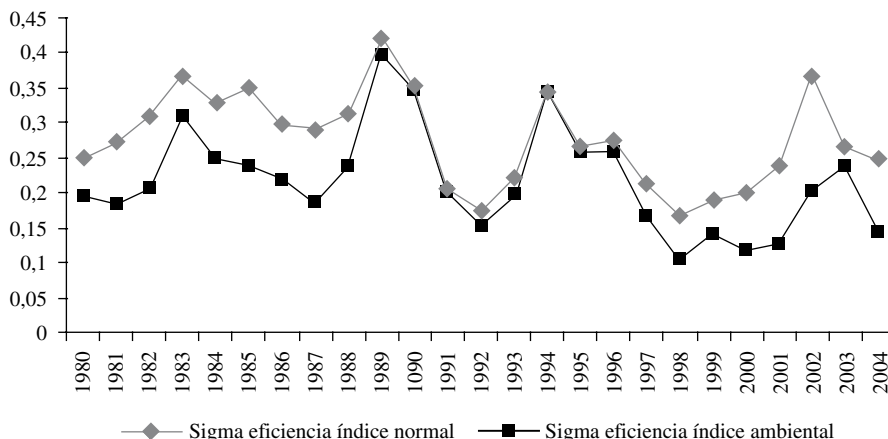
Evolución del índice de eficiencia media por año, 1980-2004



Fuente: elaboración propia sobre datos de las bases World Development Indicator (wdi) y Global Development Finance (GDF) del Banco Mundial.

GRÁFICO 3

Evolución de la convergencia sigma del índice de eficiencia media por año, 1980-2004



Fuente: elaboración propia sobre datos de las bases World Development Indicator (WDI) y Global Development Finance (GDF) del Banco Mundial.

Un punto a destacar es que, en todo el período, la convergencia con el índice ambiental es mayor que con el índice normal y que en los períodos de mayores niveles de convergencia (1987, 1992, 1998); contando un intervalo de cinco años (dos años anteriores y dos posteriores), la diferencia entre la convergencia ambiental y normal se amplía: por consiguiente, a mayor nivel de convergencia mayor diferencia entre los índices, lo que parece indicar que el proceso de convergencia se produce con mayor facilidad con el índice de convergencia ambiental que con el índice de convergencia normal.

Teniendo en cuenta no solo las medidas de convergencia, sino también la distribución de la eficiencia técnica (cambio en la forma de la distribución y dinámica distributiva en el interior de esa distribución) (Quah, 1993 y 1997),¹³ a continuación se presenta la dinámica de la distribución de la eficiencia técnica mediante la estimación de funciones de densidad kernel siguiendo la propuesta de Lucy, Aykroyd y Pollard (2002). Con las especificaciones señaladas, en el gráfico 4 se denota la convergencia (divergencia) y la persistencia (movilidad) en el nivel de eficiencia técnica alcanzado por los países latinoamericanos durante los períodos parciales 1980-1992, 1992-2004 y 1980-2004.

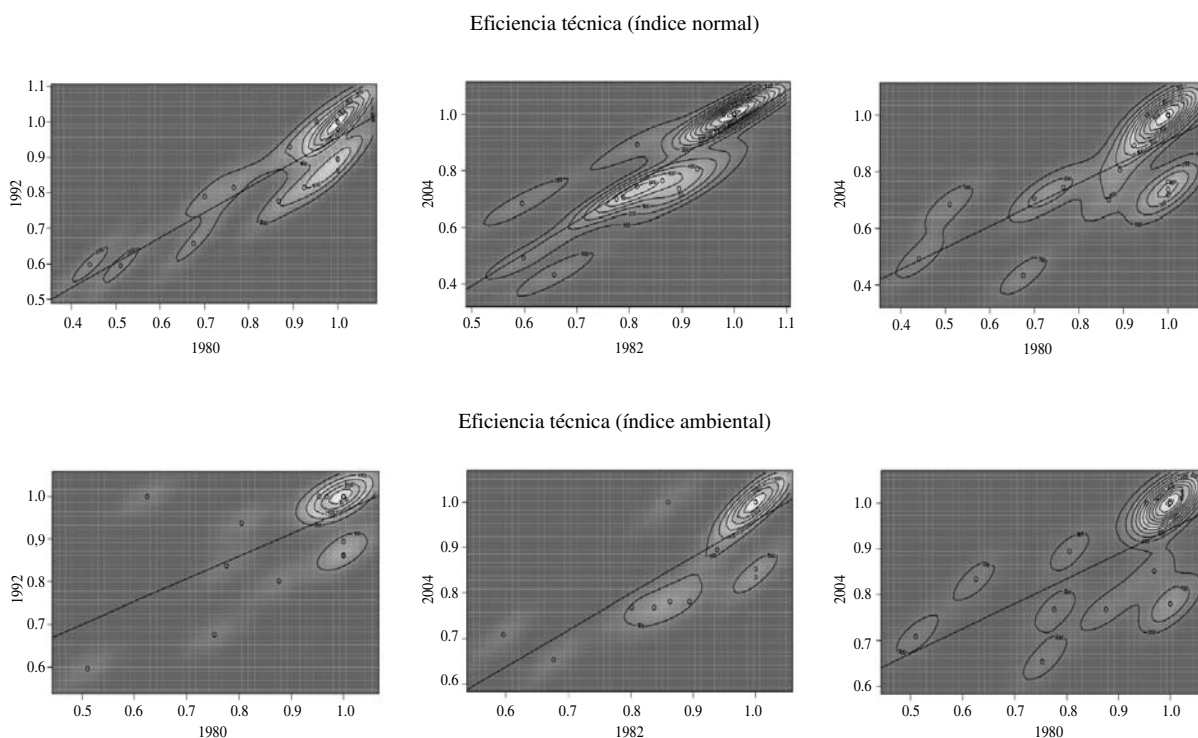
Para facilitar la interpretación del citado gráfico, una estrategia es ilustrar los casos extremos en que toda la distribución presenta respectivamente movilidad, persistencia y convergencia. En esta situación, la persistencia se traduciría en que toda la distribución mantiene sus características entre los períodos t y $t+s$, los países eficientes siguen siendo eficientes y los poco eficientes siguen siéndolo; en el caso de la movilidad tendríamos una reversión total en las condiciones iniciales de los países, de manera que los considerados como poco eficientes en el período t se convertirían en eficientes en el período $t+s$, mientras que los considerados eficientes se convertirían en poco eficientes.¹⁴ Finalmente, si con el paso del tiempo la distribución se concentra alrededor de un plano paralelo al eje t , mientras que inicialmente la eficiencia se distribuía normalmente en la totalidad de la sección cruzada (es decir, el agrupamiento se presenta alrededor del valor $t+s=1$), se dice que la distribución converge hacia la misma igualdad en los niveles de eficiencia de los países.

Si bien es difícil generalizar dado que el comportamiento del conjunto de países es bastante heterogéneo durante el período considerado, parece detectarse una

¹³ Según Quah (1997), pueden existir coaliciones o clubes de convergencia formados endógenamente a través de todos los países, y las dinámicas de convergencia diferentes dependerán de la distribución inicial de las características de los países.

¹⁴ Según Birchenal y Murcia (1997) una forma sencilla de apreciar los anteriores fenómenos es observando si las líneas de contorno de la distribución se concentran sobre la línea de 45 grados trazada en el plano $t-t+s$ (en este caso, la distribución persiste durante los períodos). Ahora, si las líneas de contorno de la distribución se concentran sobre una línea perpendicular a la de 45 grados, estaremos ante movilidad total dentro de la distribución.

GRÁFICO 4

Dinámica de la distribución de la eficiencia: funciones de densidad por kernel

Fuente: elaboración propia sobre datos de las bases World Development Indicator (WDI) y Global Development Finance (GDF) del Banco Mundial.

pauta de movilidad respecto del nivel de eficiencia alcanzado con el paso de los años con cierto grado de convergencia hacia niveles más altos de eficiencia (este fenómeno se refleja en el progresivo acercamiento al eje trazado en los gráficos de las puntuaciones que definen las distintas curvas de nivel).

Cuando consideramos el índice de eficiencia técnica normal durante todo el período se detecta un patrón de convergencia con cierta polarización hacia valores más elevados de eficiencia técnica. Al distinguir entre subperíodos se observa movilidad en la distribución, sobre todo en el período 1992-2004.

Por otra parte, cuando se considera el índice de eficiencia técnica ambiental durante todo el período, se constata un patrón de convergencia con una polarización hacia valores más elevados de eficiencia técnica; esta polarización no es pronunciada como en el caso anterior. Al distinguir entre períodos, también se observa nuevamente más movilidad en la distribución en el período 1992-2004. Para finalizar, resulta interesante observar cómo los países ubicados en la parte alta de la

distribución no convergen claramente hacia la igualdad en los niveles de eficiencia, especialmente en el caso de utilizar el índice de eficiencia técnica ambiental.

3. Análisis desagregado de la eficiencia técnica en América Latina a nivel de país

A fin de contar con información individual sobre la eficiencia técnica de cada uno de los 18 países de América Latina analizados, en los cuadros II y III del apéndice estadístico se recogen los índices normal y ambiental respectivamente para cada uno de los 25 años considerados durante el período comprendido entre 1980-2004. En los citados cuadros es posible señalar a la Argentina como el país situado en la frontera de eficiencia durante todo el período, de manera que los acercamientos a la frontera del resto de países van a estar relacionados con el desarrollo tecnológico de este país.

La estimación de la eficiencia desagregada por años y por países y para los índices considerados permite analizar si realmente las dos medidas propuestas

CUADRO 3

**Contraste de Wilcoxon de diferencias entre la medición
de la eficiencia técnica (ET) normal y ambiental por país, 1980-2004**

	ET normal	ET ambiental	ET normal	ET ambiental	Contraste estadístico de Wilcoxon	Valor P
Argentina	–	–	–	–	–	–
Bolivia (Est. Plur. de)	1,0	1,0	20,9	30,1	427,5	0,00613147 ^a
Brasil	–	–	–	–	–	–
Chile	0,833	0,938	22,4	28,6	390,0	0,133593
Colombia	0,78	0,852	23,44	27,56	364,0	0,321335
Costa Rica	0,869	0,882	24,54	26,46	336,5	0,640475
República Dominicana	0,704	0,847	18,62	32,38	484,5	0,000874616 ^a
Ecuador	0,481	0,735	17,38	33,62	515,5	0,0000851074 ^a
El Salvador	0,968	0,968	25,08	25,92	323,0	0,836961
Guatemala	0,814	0,832	24,36	26,64	341,0	0,586772
Honduras	0,566	0,679	22,76	28,24	381,0	0,182123
México	–	–	–	–	–	–
Nicaragua	1,0	1,0	24,5	26,5	337,5	0,580007
Panamá	–	–	–	–	–	–
Paraguay	0,56	0,564	24,94	26,06	326,5	0,793175
Perú	0,719	0,722	25,02	25,98	324,5	0,823365
Uruguay	–	–	–	–	–	–
Venezuela (Rep. Bol. de)	–	–	–	–	–	–

Fuente: elaboración propia sobre datos de las bases World Development Indicator (WDI) y Global Development Finance (GDF) del Banco Mundial.

W test: Contraste estadístico de Wilcoxon.

^a Nivel de confianza del 95,0%.

presentan diferencias significativas a nivel de país. Con tal fin se propone la utilización del contraste de Wilcoxon como aproximación no paramétrica para muestras apareadas.¹⁵

Los resultados del contraste de Wilcoxon presentados en el cuadro 3 permiten inferir que para el caso del Estado Plurinacional de Bolivia, la República Dominicana y el Ecuador se rechaza la hipótesis de que los dos índices produzcan las mismas estimaciones de la eficiencia técnica durante los años considerados.

¹⁵ En el presente caso se dispone de n parejas de valores (x_i, y_i) que se pueden considerar como una variable medida en cada sujeto con dos métodos diferentes. Para ello se considera el conjunto de las diferencias entre los pares muestrales, se ordenan sus valores absolutos de menor a mayor y se les asignan rangos. Finalmente, se asocia a cada rango el

signo de la diferencia correspondiente y el estadístico W es el menor de los valores: suma de los rangos positivos y suma de los rangos negativos (rechazándose H_0 si W es demasiado pequeño).

V

Conclusiones

En este trabajo se ha tratado de aportar evidencia que permita determinar si la consideración de medidas de la eficiencia y la productividad que incorporen elementos medioambientales tienen diferencias significativas en la valoración de las economías de la región. En primer lugar, se ha reflexionado sobre la importancia de utilizar estas medidas en el análisis del crecimiento económico e incluir en él el empleo de medidas que consideren las externalidades ambientales con miras al objetivo de eficiencia y convergencia.

Para ello se ha analizado el crecimiento de la PTF de un conjunto de países de América Latina entre 1980 y 2004, construyendo índices de productividad de Malmquist en que se incorporan factores ambientales, calculados mediante técnicas no paramétricas de programación lineal.

Esta aproximación ha permitido obtener información sobre el comportamiento de cada una de las economías latinoamericanas cuando se trata no solo de maximizar un producto deseable como el PIB, sino también de minimizar las externalidades vinculadas a este proceso de crecimiento, como es la contaminación ambiental.

Concretamente, se ha observado que la incorporación de factores ambientales en la medición de la eficiencia y el cambio productivo hace que algunos países de la región vean mejorar sus estimaciones de manera significativa en comparación con las obtenidas por métodos más tradicionales donde solo se tiene en cuenta el PIB generado como magnitud de crecimiento.

También es importante destacar la diferencia entre “eficiencia técnica pura” y “progreso técnico” a la hora de considerar modificaciones en la PTF calculada con y sin la variable ambiental.

Pensamos que esta nueva perspectiva incorpora un elemento de sostenibilidad que sería importante tener en cuenta cuando se valora el crecimiento de la eficiencia y la productividad en la región, y se definen políticas de actuación en este ámbito.

Por otra parte, estas medidas se completan con un análisis de convergencia sigma, que permite analizar el comportamiento de las dos medidas (índices ambiental y

normal) teniendo en cuenta la evolución de la convergencia en materia de eficiencia. También se ha incluido análisis de kernel estocásticos que hace posible concluir que los patrones de convergencia son distintos en ambos casos.

Finalmente, se concluye con una reflexión sobre el concepto de sensibilidad ambiental, haciendo uso de algunas ideas previas recogidas en trabajos como los de Prieto y Zofío (1996), en que se modelizan los efectos de la regulación ambiental como fronteras tecnológicas construidas mediante funciones de producción no paramétricas estimadas mediante DEA, que permiten definir lo que se podría denominar como Índice de Sensibilidad de Eficiencia Ambiental (ISEA):

$$ISEA = \frac{E_A}{E_N} \quad (7)$$

En el citado índice, la eficiencia ambiental E_A se mide como la capacidad para incrementar los productos deseados como el Producto Nacional Bruto (PNB) y disminuir los no deseados (CO_2), y la eficiencia normal E_N como la capacidad de incrementar los productos deseados (PNB), ignorando los no deseados.

El ISEA nos muestra el efecto sobre el nivel de eficiencia al ignorar los productos no deseados. En el cuadro IV del apéndice estadístico se observa que en numerosas ocasiones el índice toma un valor igual a 1, lo que nos indica que la eficiencia normal y ambiental es la misma y por tanto ignorar el impacto de las externalidades negativas no ha tenido efectos en la medición de la eficiencia utilizando estas dos aproximaciones propuestas.

Sin embargo, cuando el índice toma un valor mayor que 1 indica que no contemplar las externalidades negativas conduce a resultados de eficiencia normal y ambiental muy diferentes (tanto mayor cuanto más elevado sea dicho valor). Un ejemplo de disparidad importante entre las dos mediciones de la eficiencia propuesta sería el caso del Ecuador donde el ISEA reviste valores superiores a 2 en los años 1982, 1984 y 2002.

APÉNDICE ESTADÍSTICO

CUADRO I

Estadísticas básicas de outputs e inputs por país, 1980-2004

País	PIB (en dólares a precio constante de 2000)			CO ₂ emisiones (kt)			Formación bruta de capital (en dólares a precio constante de 2000)			Fuerza laboral, total			
	Media	Desviación estándar	Mínimo	Media	Desviación estándar	Mínimo	Media	Desviación estándar	Mínimo	Media	Desviación estándar	Mínimo	
Argentina	2,33x10 ¹⁰	3,85x10 ¹⁰	2,97x10 ¹¹	117 898,1	13 100,74	141 659,2	3,79x10 ¹⁰	9,46 x10 ⁹	5,65x10 ¹⁰	2,14x10 ¹⁰	13 669 895	2 429 348	17 935 785
Bolivia (Est. Plur. de)	6,72x10 ⁹	1,41x10 ⁹	9,36 x10 ⁹	6 413,327	2 175,794	10 315,01	1,03x10 ⁹	3,93 x10 ⁸	2,02 x10 ⁹	4,98 x10 ⁹	2 790 266	662 825,5	4 030 275
Brasil	5,44x10 ¹¹	9,22x10 ¹⁰	7,17x10 ¹¹	245 350,2	58 048,56	331 856,8	8,97x10 ¹⁰	1,83 x10 ¹⁰	1,18x10 ¹¹	5,22x10 ¹⁰	68 240 356	14 048 140	90 112 347
Chile	5,19x10 ¹⁰	2,12x10 ¹⁰	8,82x10 ¹⁰	39 921,13	15 394,37	63 311,29	1,05x10 ¹⁰	5,99 x10 ⁹	2,02x10 ¹⁰	2,25 x10 ⁹	5 199 154	881 040,1	6 440 791
Colombia	6,9x10 ¹⁰	1,58x10 ¹⁰	9,44x10 ¹⁰	54 977,97	7 340,267	67 882,72	1,26x10 ¹⁰	3,55 x10 ⁹	2,03x10 ¹⁰	8,87 x10 ⁹	15 005 980	3 938 424	21 624 471
Costa Rica	1,14x10 ¹⁰	3,74x10 ⁹	1,84x10 ¹⁰	3 943	1 506,379	6 468,858	2,11x10 ⁹	1,02 x10 ⁹	4,12 x10 ⁹	7,12 x10 ⁸	1 270 419	324 250,8	1 890 374
República Dominicana	1,37x10 ¹⁰	4,34 x10 ⁹	2,14x10 ¹⁰	13 064,6	5 457,289	21 476,17	2,59 x10 ⁹	1,26 x10 ⁹	4,91 x10 ⁹	1,18 x10 ⁹	2 912 533	598 930,2	3 922 804
Ecuador	1,42x10 ¹⁰	2,48 x10 ⁹	1,96x10 ¹⁰	20 042,91	3 980	29 241,73	3,95x10 ⁹	7,24 x10 ⁸	5,65 x10 ⁹	2,49 x10 ⁹	4 141 844	1 154 034	6 094 389
El Salvador	1,01x10 ¹⁰	2,48 x10 ⁹	1,42x10 ¹⁰	3 835,894	1 748,742	6 373,62	1,51x10 ⁹	6,41 x10 ⁸	2,45 x10 ⁹	7,01 x10 ⁸	2 054 709	347 329,5	2 652 950
Guatemala	1,5x10 ¹⁰	3,57 x10 ⁹	2,17x10 ¹⁰	6 415,232	2 821,467	12 208,78	2,39 x10 ⁹	9,12 x10 ⁸	4,08 x10 ⁹	1,24 x10 ⁹	3 037 231	514 338,6	4 007 775
Honduras	5,72x10 ⁹	1,33E+09	8,41 x10 ⁹	3 501,681	1 661,561	7 608,051	1,36 x10 ⁹	5,85 x10 ⁸	2,36 x10 ⁹	5,22 x10 ⁸	1 804 894	478 641,7	2 780 670
México	4,55x10 ¹¹	8,76E+10	6,18x10 ¹¹	38 626,26	4 4395,27	437 629,6	9,52x10 ¹⁰	2,66 x10 ¹⁰	1,39x10 ¹¹	5,8 x10 ¹⁰	31 956 418	6 875 134	41 947 700
Nicaragua	3,38x10 ⁹	4,73x 10 ⁸	4,41x10 ⁹	2 719,997	769,3747	4 003,659	8,96E+08	2,46 x10 ⁸	1,43 x10 ⁹	4,89 x10 ⁸	1 473 547	297 830,1	2 005 893
Panamá	8,91x10 ⁹	2,19 x10 ⁹	1,34x10 ¹⁰	4 202,047	1 389,2	6 996,33	1,75x10 ⁹	8,13 x10 ⁸	3,09 x10 ⁹	3,13 x10 ⁸	1 010 102	240 724,1	1 429 199
Paraguay	6,17x10 ⁹	1,13 x10 ⁹	7,8E+09	2 851,133	1 138,477	4 498,164	1,41x10 ⁹	3,01 x10 ⁸	2 x10 ⁹	9,55 x10 ⁸	1 841 108	482 349,4	2 710 230
Perú	4,54x10 ¹⁰	7,53 x10 ⁹	6,13x10 ¹⁰	24 014,04	3 109,941	31 465,17	9,13 x10 ⁹	2,44 x10 ⁹	1,31x10 ¹⁰	5,02 x10 ⁹	9 061 440	2 179 845	12 711 846
Uruguay	1,7x10 ¹⁰	2,84 x10 ⁹	2,16x10 ¹⁰	4 585,343	789,5953	6 161,166	2,39 x10 ⁹	7,42 x10 ⁸	3,68 x10 ⁹	1,23 x10 ⁹	1 422 088	166 220,8	1 658 579
Venezuela (Rep. Bol. de)	1,02x10 ¹¹	1,36 x10 ¹⁰	1,21x10 ¹¹	133 977,7	33 705,71	182 325,8	1,8 x10 ¹⁰	6,95 x10 ⁹	3,22x10 ¹⁰	7,87 x10 ⁹	8 100 614	2 181 901	12 389 620

Fuente: elaboración propia sobre datos de las bases World Development Indicator (wdi) y Global Development Finance (gdf) del Banco Mundial.

Estimación de la eficiencia técnica por año a nivel de país: índice normal, 1980-2004

País	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004		
Argentina	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Bolivia (Est. Plur. de)	1	1	1	1	1	0,558	1	1	0,626	0,566	0,988	0,943	0,98	0,994	1	1	1	0,86	0,768	0,93	0,962	1	0,663	1	1	1	
Brasil	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Chile	0,924	0,886	1	1	0,997	0,966	1	0,939	0,917	0,608	0,606	0,774	0,815	0,677	0,68	0,673	0,687	0,721	0,749	0,833	0,748	0,816	0,947	0,912	0,893	0,806	
Colombia	0,892	0,85	0,696	0,554	0,613	0,755	0,775	0,87	0,827	0,61	0,59	0,939	0,93	0,683	0,504	0,557	0,604	0,843	0,918	1	1	0,685	0,78	0,858	0,764	0,764	
Costa Rica	1	1	1	1	1	1	0,829	0,753	0,81	0,847	0,848	0,83	0,863	0,869	0,895	1	1	0,994	0,807	1	0,889	0,749	0,855	0,858	0,764	0,764	
República Dominicana	0,7	0,85	0,801	0,649	0,86	0,787	0,701	0,681	0,726	0,487	0,553	0,862	0,789	0,799	0,651	0,814	0,719	0,778	0,745	0,622	0,604	0,582	0,449	0,591	0,704	0,704	
Ecuador	0,441	0,481	0,4	0,348	0,416	0,424	0,45	0,438	0,5	0,316	0,326	0,525	0,598	0,541	0,373	0,499	0,503	0,6	0,584	0,974	0,692	0,487	0,311	0,459	0,493	0,493	
El Salvador	1	1	1	0,968	1	1	1	1	0,794	0,511	0,901	1	0,894	0,893	0,714	0,803	1	1	1	1	0,884	0,76	0,589	0,653	0,736	0,736	
Guatemala	0,867	0,815	0,728	0,71	0,814	0,874	0,949	0,802	0,84	0,63	0,77	0,875	0,776	0,89	0,706	0,934	1	1	0,915	0,85	0,779	0,72	0,515	0,641	0,699	0,699	
Honduras	0,675	1	1	1	1	1	1	1	0,489	0,398	0,596	0,663	0,657	0,536	0,467	0,549	0,56	0,566	0,703	0,559	0,547	0,53	0,399	0,466	0,434	0,434	
México	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Nicaragua	1	0,463	0,447	0,367	0,365	0,33	0,395	0,426	0,353	0,304	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Panamá	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Paraguay	0,51	0,51	0,504	0,478	0,51	0,482	0,528	0,53	0,493	0,361	0,451	0,56	0,595	0,633	0,507	0,622	0,581	0,578	0,913	1	1	0,794	0,779	0,767	0,683	0,683	
Perú	0,765	0,693	0,621	0,637	0,801	1	0,862	0,816	0,821	0,612	0,476	0,748	0,815	0,742	0,454	0,537	0,516	0,692	0,719	0,688	0,722	0,745	0,541	0,674	0,743	0,743	
Uruguay	0,953	0,997	0,948	0,923	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Venezuela, (Rep. Bol. de)	1	0,989	0,894	1	0,979	0,907	0,949	0,943	0,903	1	1	0,995	0,898	1	1	1	1	0,773	0,762	0,721	0,665	0,698	0,704	0,948	0,716	0,716	
Media	0,874	0,863	0,836	0,813	0,853	0,838	0,858	0,844	0,783	0,681	0,784	0,873	0,867	0,848	0,775	0,833	0,843	0,856	0,866	0,899	0,861	0,827	0,746	0,819	0,815	0,815	

Fuente: elaboración propia sobre datos de las bases World Development Indicator (wdi) y Global Development Finance (gdf) del Banco Mundial.

Estimación de la eficiencia técnica por año a nivel de país: índice ambiental, 1980-2004

País	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Argentina	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bolivia (Est. Plur. de)	1	1	1	1	1	1	1	0,902	0,764	0,988	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Brasil	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Chile	1	0,938	1	1	1	1	1	0,95	0,981	0,608	0,619	0,776	0,86	0,677	0,68	0,731	0,771	0,809	0,835	0,952	0,901	0,922	0,988	0,965	1
Colombia	0,968	0,94	0,88	0,554	0,716	0,809	0,802	0,888	0,897	0,61	0,59	0,941	1	0,683	0,504	0,557	0,604	0,926	1	1	1	1	0,804	0,787	0,852
Costa Rica	1	1	1	1	1	1	0,85	0,753	0,81	0,847	0,848	0,83	0,863	0,873	0,916	1	1	0,995	0,871	1	0,99	0,787	0,867	0,882	0,78
República Dominicana	0,805	0,939	0,81	0,683	0,967	1	0,872	0,847	0,856	0,487	0,553	0,931	0,938	0,801	0,651	0,814	0,759	1	0,986	0,8	0,868	0,885	0,752	0,614	0,895
Ecuador	0,625	0,779	0,888	0,625	0,917	0,783	0,576	0,588	0,752	0,437	0,341	0,554	1	0,735	0,373	0,531	0,559	0,758	0,824	1	1	0,966	0,699	0,496	0,834
El Salvador	1	1	1	0,968	1	1	1	1	0,794	0,511	0,901	1	0,894	0,894	0,714	0,803	1	1	1	1	0,902	0,818	0,686	0,659	0,78
Guatemala	0,876	0,815	0,728	0,71	0,814	0,9	0,97	0,832	0,845	0,63	0,77	0,883	0,801	0,891	0,706	0,934	1	1	0,969	0,851	0,844	0,784	0,599	0,646	0,768
Honduras	0,753	1	1	1	1	1	1	1	0,507	0,398	0,596	0,679	0,676	0,536	0,467	0,549	0,568	0,639	0,764	0,639	0,689	0,696	0,697	0,574	0,654
México	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Nicaragua	1	0,744	0,669	0,375	0,43	0,457	0,549	0,722	0,53	0,304	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Panamá	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Paraguay	0,51	0,51	0,504	0,478	0,511	0,503	0,547	0,558	0,501	0,361	0,451	0,564	0,596	0,633	0,507	0,622	0,586	0,638	0,925	1	1	0,794	0,861	0,767	0,709
Perú	0,776	0,695	0,621	0,637	0,801	1	0,862	0,816	0,831	0,612	0,476	0,749	0,837	0,742	0,454	0,537	0,516	0,7	0,735	0,688	0,722	0,745	0,542	0,675	0,768
Uruguay	0,953	0,997	0,948	0,923	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Venezuela (Rep. Bol. de)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Media	0,904	0,909	0,892	0,831	0,898	0,914	0,89	0,886	0,845	0,698	0,785	0,884	0,915	0,859	0,776	0,838	0,854	0,915	0,939	0,941	0,94	0,911	0,861	0,837	0,891

Fuente: elaboración propia sobre datos de las bases World Development Indicator (wdi) y Global Development Finance (gdf) del Banco Mundial.

CUADRO IV

**Estimación del Índice de Sensibilidad de Eficiencia Ambiental (ISEA) por año a nivel de país:
Cociente entre índices normal y ambiental, 1980-2004**

País	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Argentina	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bolivia (Est. Plur. de)	1	1	1	1	1	1,792	1	1	1,441	1,350	1	1,060	1,020	1,006	1	1	1	1,163	1,302	1,075	1,040	1	1,508	1	1
Brasil	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Chile	1,082	1,059	1	1	1,003	1,035	1	1,012	1,070	1	1,021	1,003	1,055	1	1	1,086	1,122	1,122	1,115	1,143	1,205	1,130	1,043	1,058	1,120
Colombia	1,085	1,106	1,264	1	1,168	1,072	1,035	1,021	1,085	1	1	1,002	1,075	1	1	1	1	1,098	1,089	1	1	1	1,174	1,009	1,057
Costa Rica	1	1	1	1	1	1	1,025	1	1	1	1	1	1	1,005	1,023	1	1	1,001	1,079	1	1,114	1,051	1,014	1,028	1,021
República Dominicana	1,150	1,105	1,011	1,052	1,124	1,271	1,244	1,244	1,179	1	1,080	1,080	1,189	1,003	1	1	1,056	1,285	1,323	1,286	1,437	1,521	1,675	1,039	1,271
Ecuador	1,417	1,620	2,220	1,796	2,204	1,847	1,280	1,342	1,504	1,383	1,046	1,055	1,672	1,359	1	1,064	1,111	1,263	1,411	1,027	1,445	1,984	2,248	1,081	1,692
El Salvador	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,001	1	1	1	1	1	1	1,020	1,076	1,165	1,009	1,060
Guatemala	1,010	1	1	1	1	1,030	1,022	1,037	1,006	1	1	1,009	1,032	1,001	1	1	1	1	1,059	1,001	1,083	1,089	1,163	1,008	1,099
Honduras	1,116	1	1	1	1	1	1	1,037	1	1	1	1,024	1,029	1	1	1	1,014	1,129	1,087	1,143	1,260	1,313	1,747	1,232	1,507
México	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Nicaragua	1	1,607	1,497	1,022	1,178	1,385	1,390	1,695	1,501	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Panamá	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Paraguay	1	1	1	1	1,002	1,044	1,036	1,053	1,016	1	1	1,007	1,002	1	1	1	1,009	1,104	1,013	1	1	1	1,105	1	1,038
Perú	1,014	1,003	1	1	1	1	1	1	1,012	1	1	1,001	1,027	1	1	1	1	1,012	1,022	1	1	1	1,002	1,001	1,034
Uruguay	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Venezuela (Rep. Bol. de)	1	1,011	1,119	1	1,021	1,103	1,054	1,060	1,107	1	1	1,005	1,114	1	1	1	1	1,294	1,312	1,387	1,504	1,433	1,420	1,055	1,397
Media	1,034	1,053	1,067	1,022	1,053	1,091	1,037	1,050	1,079	1,025	1,001	1,013	1,055	1,013	1,001	1,006	1,013	1,069	1,084	1,047	1,092	1,102	1,154	1,022	1,093

Fuente: elaboración propia sobre datos de las bases World Development Indicator (wdi) y Global Development Finance (gdf) del Banco Mundial.

Bibliografía

- Abramovitz, M. (1986), "Catching up, forging ahead and falling behind", *Journal of Economic History*, vol. 46, Nº 2, Cambridge, Cambridge University Press.
- Atkinson, G., S. Dietz y E. Neumayer (comps.) (2007), *Handbook of Sustainable Development*, Cheltenham, Reino Unido, Edward Elgar.
- Ball, E. y otros (2005), "Accounting for externalities in the measurement of productivity growth: the Malmquist cost productivity measure", *Structural Change and Economic Dynamics*, vol. 16, Nº 3, Amsterdam, Elsevier.
- Barro, R.J. (1991), "Economic growth in a cross section of countries", *Quarterly Journal of Economics*, vol. 106, Nº 2, Cambridge, Massachusetts, The MIT Press.
- Barro, R.J. y X. Sala-i-Martin (1992), "Convergence", *Journal of Political Economy*, vol. 100, Nº 2, Chicago, University of Chicago Press.
- Baumol, W.J. (1986), "Productivity growth, convergence and welfare: what the long-run data show", *American Economic Review*, vol. 76, Nº 5, Nashville, Tennessee, American Economic Association.
- Baumol, W.J. y E.N. Wolff (1988), "Productivity growth, convergence, and welfare: reply", *American Economic Review*, vol. 78, Nº 5, Nashville, Tennessee, American Economic Association.
- Birchenal, J.A. y G.E. Murcia (1997), "Convergencia regional: una revisión del caso colombiano", *Archivos de macroeconomía*, Nº 69, Bogotá, D.C., Departamento Nacional de Planeación.
- Boulding, K.E. (1966), *The Economics of the Coming Spaceship Earth*, Armonk, M.E. Sharpe.
- Carlson, R. (1962), *Silent Spring*, Boston, Houghton Mifflin Company.
- Caves, D.W., L.R. Christensen y W.E. Diewert (1982), "The economic theory of index numbers and the measurement of input, output, and productivity", *Econometrica*, vol. 50, Nº 6, Washington, D.C., The Econometric Society.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2008), *La transformación productiva 20 años después: viejos problemas, nuevas oportunidades* (LC/G.2367(SSES.32/3)), Santiago de Chile.
- Cole, M. (2007), "Economic growth and the environment", *Handbook of Sustainable Development*, G. Atkinson, S. Dietz y E. Neumayer (comps.), Cheltenham, Reino Unido, Edward Elgar.
- Cole, M., R. Elliot y K. Shimamoto (2005), "A note on the trends in European industrial pollution intensities: a Divisia index approach", *Energy Journal*, vol. 26, Nº 3, Cleveland, International Association for Energy Economics.
- Ching-Cheng, C. y L. Yir-Hueih (1999), "Efficiency change and growth in productivity: the Asian growth experience", *Journal of Asian Economics*, vol. 10, Nº 4, Amsterdam, Elsevier.
- CMMAD (Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo) (1987), *Nuestro futuro común* (A/42/47), Nueva York, Naciones Unidas.
- De la Fuente, A. (2007), "Modelos de convergencia/divergencia y un breve panorama de la evidencia empírica", *Crecimiento económico, desigualdades y distribución de la renta*, J.F. Tezanos (comp.), Madrid, Editorial Sistema.
- Denison, E.F. (1979), *Accounting for Slower Economic Growth: The United States in the 1970's*, Washington, D.C., The Brookings Institution.
- Dowrick, S. y D. Nguyen (1989), "OECD comparative economic growth 1950-1985: catch up and convergence", *American Economic Review*, vol. 79, Nº 5, Nashville, Tennessee, American Economic Association.
- Ekins, P. (1993), "Limits to growth and sustainable development: grappling with ecological realities", *Ecological Economics*, vol. 8, Nº 3, Amsterdam, Elsevier.
- Elías, V. (2001), "Convergencia económica en América Latina: 1960-1995", *Convergencia económica e integración: la experiencia en Europa y América Latina*, T. Mancha y D. Sotelsek (comps.), Madrid, Ediciones Pirámide.
- Färe, R. y D. Primont (1995), *Multi-output Production and Duality: Theory and Applications*, Boston, Kluwer Academic Publishers.
- Färe, R., S. Grosskopf y F. Hernández-Sancho (2004), "Environmental performance: an index number approach", *Resource and Energy Economics*, vol. 26, Nº 4, Amsterdam, Elsevier.
- Färe, R. y otros (1994), "Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries", *American Economic Review*, vol. 84, Nº 1, Nashville, Tennessee, American Economic Association.
- Färe, R., S. Grosskopf y P. Roos (1998), "Malmquist productivity indexes: a survey of theory and practice", *Index Numbers: Essays in Honour of Sten Malmquist*, R. Färe, S. Grosskopf y R.R. Russell (comps.), Boston, Kluwer Academic Publishers.
- Färe, R., S. Grosskopf y C. Pasurka (2007), "Pollution abatement activities and traditional productivity", *Ecological Economics*, vol. 62, Nº 3-4, Amsterdam, Elsevier.
- Fisher, I. (1992), *The Making of Index Numbers*, Boston, Houghton Mifflin Company.
- Grossman, G.M. y A.B. Krueger (1995), "Economic growth and the environment", *Quarterly Journal of Economics*, vol. 110, Nº 2, Cambridge, Massachusetts, The MIT Press.
- Hofman, A. (2001), "Long run economic development in Latin America in a comparative perspective: proximate and ultimate causes", *serie Macroeconomía del desarrollo*, Nº 8 (LC/L.1665-P), Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Publicación de las Naciones Unidas, Nº de venta: E.01.II.G.199.
- Kim, J.I. y L.J. Lau (1996), "The sources of Asian Pacific economic growth", *Canadian Journal of Economics*, vol. 29, Quebec, Canadian Economics Association.
- Krugman, P. (1994), "The myth of Asia's miracle", *Foreign Affairs*, vol. 73, Nº 6, Nueva York, Council on Foreign Relations.
- Kumar, S. (2006), "Environmentally sensitive productivity growth: a global analysis using Malmquist-Luenberger index", *Ecological Economics*, vol. 56, Nº 2, Amsterdam, Elsevier.
- Lanteri, L.N. (2002), "Productividad, desarrollo tecnológico y eficiencia. La propuesta de los índices Malmquist", *Anales de la Asociación Argentina de Economía Política*, XXXVII Reunión Anual, Tucumán, Argentina [en línea] www.aaep.org.ar
- Lucy, D., R.G. Aykroyd y A.M. Pollard (2002), "Nonparametric calibration for age estimation", *Applied Statistics*, vol. 51, Nº 2, Londres, Royal Statistical Society.
- Maddison, A. (1987), "Growth and slowdown in advanced capitalist economies: techniques of quantitative assessment", *Journal of Economic Literature*, vol. 25, Nº 2, Nashville, Tennessee, American Economic Association.
- Mankiw, N.G., D. Romer y D. Weil (1992), "A contribution to the empirics of economic growth", *Quarterly Journal of Economics*, vol. 107, Nº 2, Cambridge, Massachusetts, The MIT Press.
- Maudos, J., L. Serrano y J. Pastor (1999), "Total factor productivity measurement and human capital in OECD", *Economics Letters*, vol. 63, Nº 1, Amsterdam, Elsevier.
- Markandya, A. (1992), "Sustainable development: from concept to action: the international economic framework", Cambridge, Massachusetts, Harvard Institute for International Development, inédito.
- Meadows, D.H. y otros (1972), *The Limits to Growth*, Londres, Universe Books.
- Prieto, A.M. y J.L. Zofío (1996), "Modelización de los efectos de la regulación ambiental con fronteras tecnológicas DEA", *Revista española de economía agraria*, Nº 175, Madrid, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

- Quah, D. (1997), "Empirics for growth and distribution: stratification, polarization, and convergence clubs", *Journal of Economic Growth*, vol. 2, N° 1, Nueva York, Springer.
- (1996), "Empirics for economic growth and convergence", *European Economic Review*, vol. 40, N° 6, Amsterdam, Elsevier.
- (1993), "Galton's fallacy and tests of the convergence hypothesis", *Scandinavian Journal of Economics*, vol. 95, N° 4, Hoboken, Blackwell Publishing.
- Robinson, J.C. (1995), "The impact of environmental and occupational health regulation on productivity growth in U.S. manufacturing", *The Yale Journal on Regulation*, vol. 12, N° 2, New Haven, Connecticut, Yale Law School.
- Romer, P. (1986), "Increasing returns and long-run growth", *Journal of Political Economy*, vol. 94, N° 5, Chicago, University of Chicago Press.
- Sala-i-Martin, X. (1999), *Apuntes de crecimiento económico*, Barcelona, Antoni Bosch Editor.
- Schuschny, A.R. (2007), "El método DEA y su aplicación al estudio del sector energético y las emisiones de CO₂ en América Latina y el Caribe", *serie Estudios estadísticos y prospectivos*, N° 46 (LC/L.2657-P), Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Publicación de las Naciones Unidas, N° de venta: S.07.II.G.8.
- Shafik, N. (1994), "Economic development and environmental quality: an econometric analysis", *Oxford Economic Papers*, vol. 46, Oxford, Oxford University Press.
- Solimano, A. y R. Soto (2005), "Economic growth in Latin America in the late 20th century: evidence and interpretation", *serie Macroeconomía del desarrollo*, N° 33 (LC/L.2236-P), Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Publicación de las Naciones Unidas, N° de venta: E.04.II.G.156.
- Solow, R. (1957), "Technical change and the aggregate production function", *Review of Economics and Statistics*, vol. 39, N° 3, Cambridge, Massachusetts, The MIT Press.
- Stern, D.I. (2002), "Explaining changes in global sulfur emissions: an econometric decomposition approach", *Ecological Economics*, vol. 42, N° 1-2, Amsterdam, Elsevier.
- Taskin, F. y O. Zaim (1997), "Catching-up and innovation in high and low-income countries", *Economics Letters*, vol. 54, N° 1, Amsterdam, Elsevier.
- Wessa, P. (2009), "Free Statistics Software, Office for Research Development and Education, version 1.1.23-r3" [en línea] <http://www.wessa.net/>
- Young, A. (1994), "Lessons from the East Asian NICs: a contrarian view", *European Economic Review*, vol. 38, N° 3-4, Amsterdam, Elsevier.