

ARTÍCULO ORIGINAL

La medición de la eficiencia energética y su contribución en la mitigación de las emisiones de CO₂ para 26 países de América Latina y el Caribe

Energy Demand and Energy Efficiency in 26 Latin American and Caribbean Countries: a Stochastic Demand Frontier Approach

José Somoza Cabrera,¹ José Antonio Baños Pino² y Manuel Llorca Riego³

¹ Centro de Estudio de Medio Ambiente (CEMA), Universidad de La Habana, Cuba.

² Universidad de Oviedo, España.

³ Universidad de Oviedo, España.

RESUMEN

A partir de la aplicación de modelos de frontera estocástica, se obtuvo la estimación de la demanda de energía final, así como la eficiencia para los países de la muestra (de América Latina y el Caribe), entre 1970 y 2010. Se construyó un ranking por países de la eficiencia energética y

se contrastó con el patrón que se obtiene cuando es utilizada la intensidad energética como aproximación de la eficiencia. Se evidenció que no siempre la intensidad energética ofrece un resultado confiable para evaluar la eficiencia del uso final de la energía. Se estimó la demanda ideal de energía y el volumen de emisiones de CO₂ correspondientes y se determinó finalmente el potencial de ahorro de energía y de mitigación de emisiones resultante del mejoramiento de la eficiencia energética para cada país, información que puede resultar un referente importante en la determinación de metas voluntarias de mitigación.

Palabras clave: demanda energética, eficiencia, modelos de frontera.

ABSTRACT

As to the application of stochastic demand frontier, an estimate of final power demand was obtained, as well as the efficiency of the sample countries (Latin America and the Caribbean) in the period 1970-2010. A power efficiency ranking among countries was developed, and it was possible to compare it with the pattern obtained when power intensity is used as an approach of the efficiency. The fact that power intensity does not always offer a reliable result to evaluate the efficiency of power final usage was proved. Ideal energy demand, as well as the corresponding CO₂ emission volumes, and the energy saving potential, and the lessening of emissions resulting from the improvement of energy efficient of each country was determined, an information that may prove an important reference in determining voluntary goals of lessening.

Keywords: power demand, efficiency, frontier patterns.

Introducción

Las interrelaciones entre la energía y la dimensión económica del desarrollo sustentable se sitúan en varios planos. En el plano político, el

sector de la energía es objeto de muchas preocupaciones en relación con la situación de dependencia y desequilibrio de poderes que se puede expresar a nivel de países (exportadores o importadores netos); a nivel de grupos económicos (productores y consumidores), entre reguladores y regulados, y hasta a nivel de Estado y empresas importantes del sector. En el plano macroeconómico, tiene una fuerte incidencia en los temas de balanza de pagos y situación del sector externo y de los ingresos fiscales, así como en los gastos e inversiones del sector público. Si bien es cierto que las expectativas sobre él (sector de la energía) como motor principal del crecimiento no se cumplieron, en la actualidad, su aporte al desarrollo económico es notable, pues además de poner a su disposición la energía suficiente en cantidad y calidad, genera beneficios e inversiones que incorporan el progreso técnico y articulan con otros sectores con el aumento del valor agregado global de la economía. A nivel microeconómico, su desempeño resulta crucial, sobre todo por su rol de suministrador confiable de portadores energéticos (en cantidad, calidad y oportunidad), a partir de un funcionamiento óptimo, lo que significa que se alcanza la eficiencia productiva (mínimo costo), asignativa (precio igual a costo marginal), así como la eficiencia energética en los productores y consumidores finales.

Generalmente, se utiliza la intensidad energética como indicador agregado para los análisis de eficiencia y diseño de política de ahorro y uso racional de la energía. Sin embargo, la intensidad energética proporciona información no necesariamente exacta sobre la forma en que se utiliza la energía a nivel de la economía, dado que su variación puede obedecer al menos a dos factores: por una parte, a cambios estructurales en la economía y, por otra, a cambios tecnológicos que impactan directamente sobre la eficiencia en el uso de la energía, por lo que una reducción de la intensidad energética no siempre obedece a un mejoramiento de la eficiencia en el uso de la energía, y es difícil llegar a conclusiones de política energética basada en este indicador sintético.

Existe una variedad de medidas de eficiencia que tienen en cuenta la influencia del conjunto de los factores de producción que inciden en el comportamiento de la actividad agregada. En Coelli (1995), se presenta la aproximación de frontera estocástica como uno de los procedimientos alternativos para la estimación de la eficiencia.

En este trabajo se emplea el método de frontera estocástica para estimar la demanda de energía agregada de la economía y la eficiencia energética subyacente para una muestra de 26 países de América Latina y el Caribe. En la literatura reciente de estimación de la demanda de energía que utilizan las funciones de frontera estocásticas, no se encuentran estudios que aborden de conjunto los países pertenecientes a la región latinoamericana, y apenas se analiza algún país aislado en estudios de este tipo como, por ejemplo, en los trabajos de Filippini y Hunt (2009) y de Evans et al. (2010), sobre demanda y eficiencia energética de los países de la Organización de Países para la Cooperación y el Desarrollo (OCDE), en donde se incluye México.

También se construye un ranking por países de la eficiencia de uso de la energía y se contrasta con el patrón que se obtiene cuando es utilizada, como aproximación de la eficiencia, la intensidad energética. Se evidencia que no siempre dicha intensidad ofrece un resultado confiable para evaluar la eficiencia del uso de la energía en un sistema socioeconómico dado. Se estima la demanda ideal de energía y, con ello, se obtiene el volumen de las emisiones de CO₂ correspondiente al consumo y se determina, finalmente, el potencial de ahorro y de mitigación de emisiones de CO₂ resultante del mejoramiento de la eficiencia energética agregada de la economía para cada país de la muestra.

Modelo de frontera estocástica para estimar la demanda agregada de energía

La idea central en la aproximación de frontera es que, en general, la función da el nivel máximo o mínimo de un indicador económico alcanzable por un agente económico. En el caso de la demanda agregada de energía, esta aproximación daría el nivel mínimo de consumo energético necesario para que una economía determinada produzca algún nivel de servicio energético. En este caso, el objetivo es aplicar el concepto de función de frontera con el fin de estimar la demanda de energía de base o referencia (línea de base), la cual es la frontera que refleja la demanda de los países que utilizan

eficientemente los equipos y procesos productivos; con ello además se puede identificar si un país está o no sobre esta frontera estimada. Por ejemplo, si un país no está sobre la frontera, la distancia a esta mide el nivel de consumo de energía por encima de la línea base, o sea, el nivel de ineficiencia energética. De esta forma, es posible estimar los niveles de eficiencia energética de cada país y estudiar sus variaciones con respecto a la frontera de demanda de energía (demanda mínima) y la variación de este indicador en el periodo de tiempo seleccionado.

Los beneficios que se reportan al estimar funciones de frontera con relación a los procedimientos que tradicionalmente se usan en los estudios empíricos, mínimos cuadrados ordinario y sus variantes, son al menos dos: a) la estimación por frontera está influenciada por el agente económico de mejor desempeño y, por lo tanto, refleja la tecnología que este utiliza, y b) la propia función de frontera representa las mejores prácticas tecnológicas contra las cuales la eficiencia de los agentes económicos son medidos. Por su parte, el uso de mínimos cuadrados ordinario ofrece un cuadro sobre el tipo de tecnología que utiliza un agente promedio dentro de una industria o un país en caso de que se trate de un estudio empírico de un panel de países.

Los primeros trabajos direccionados a encontrar un método de estimación apropiado para definir una medida simple de eficiencia para las firmas, las cuales usan una multiplicidad de insumos diferentes, fueron los de Koopmans (1951) y Farrell (1957). Ellos concluyeron que la eficiencia de la firma dependía de dos factores: a) el tecnológico o de eficiencia tecnológica, el cual refleja la capacidad de la firma para obtener el nivel máximo de producción dado un determinado conjunto de insumos; y b) la eficiencia asignativa, que se refiere a la capacidad de la firma para utilizar los insumos en una proporción óptima dado sus respectivos precios. Estos dos factores se combinaban para ofrecer una medida de la eficiencia total de la firma (Coelli, 1995).

En este trabajo, al aplicar el modelo de frontera estocástica, intentamos aislar la eficiencia energética subyacente; para ello controlamos explícitamente los efectos precio e ingreso, otros específicos de cada país (como los climáticos), uno común que capture el progreso tecnológico exógeno y otros efectos de este tipo, a partir de

un término de tendencia de demanda energética subyacente (UEDT, por sus siglas en inglés). Es así que los impactos del progreso tecnológico endógeno se controlan a través del precio; mientras que el del progreso técnico exógeno, a través del término UEDT.

Los datos y la especificación econométrica

El estudio se basa en un panel balanceado de una muestra amplia de naciones (26 países), pertenecientes a la región latinoamericana y caribeña, en el periodo que transcurre entre 1970 y 2010. Se utilizan, fundamentalmente, las bases de datos del Sistema de Información Estadísticas de la Energía (SIEE) y de la Organización Latinoamericana de la Energía (OLADE). De aquí se tomaron los datos correspondientes al consumo final de energía, en ktoe; los precios nominales de los portadores energéticos por sectores, con el fin de estimar un precio en términos reales, y de la energía por año para cada país del panel; la población media en miles de habitantes; y los valores del producto agregado, el producto interno bruto (PIB) y sectorial para la industria y los servicios (en dólares constantes) con el fin de estimar la participación de estos sectores en el PIB. De la base de datos de la Pennsylvania World Table 7.1 (PWT 7.1), se emplearon los datos de PIB per cápita a paridad de poder de compra (PPP, por sus siglas en inglés) en dólares constantes del año 2005; la población media y los precios implícitos del PIB (p , p_2), y el precio implícito del consumo (pc) como deflatores para la estimación de los precios reales de la energía (PWT 7.1, 2008). Las dummies de temperatura fueron elaboradas a partir de la clasificación propuesta por Köppen-Geiger, mientras que los datos de área de los países (en km^2) fueron obtenidos de la base de datos de la CEPAL (tabla 1).

La especificación econométrica propuesta por Aigner et al., 1968 (utilizada por Evans et al., 2010), y empleada en este trabajo para 26 países de América Latina, en su versión global per cápita, es la siguiente:

$$e_{it} = \alpha + \beta^y y_{it} + \beta^p p_{it} + \beta^{\text{pop}} \text{pop}_{it} + \delta_t D_t + \beta^a \text{Area}_i + \beta^I \text{ISH}_{it} + \beta^S \text{SSH}_{it} + \beta^{\text{tro}} D_{\text{tro}_{it}} + \beta^{\text{temp}} D_{\text{temp}_{it}} + \beta^{\text{frio}} D_{\text{frio}_{it}} + v_{it} + \mu_{it} \quad (1)$$

$$e_{it} = \alpha + \beta^y y_{it} + \beta^p p_{it} + \delta_t D_t + \beta^a Area_i + \beta^l ISH_{it} + \beta^S SSH_{it} + \beta^{tro} Dtro_{it} + \beta^{tem} Dtemp_{it} + \beta^{frio} Dfrio_{it} + v_{it} + \mu_{it} \quad (2)$$

Donde e_{it} y epc_{it} son el logaritmo natural del consumo y el consumo per cápita de energía final, respectivamente, para cada año t ($t = 1$ hasta 41) y país i ($i = 1$ hasta 26); p el logaritmo del precio real de la energía (en este caso es un índice real de precios donde el del año 2000 es igual a 100) (ver explicación del resto de las variables en la leyenda de la tabla 1). Los términos de error en estas ecuaciones capturan los efectos de ruido blanco no relacionados con la eficiencia energética v_{it} y se supone que tenga una distribución simétrica y normal (iid). Por su parte, μ_{it} representa el nivel subyacente de eficiencia energética, el término que Aigner et al., 1968 interpreta como el nivel de ineficiencia en el uso de la energía o «energía desperdiciada»; es un término de error aleatorio no negativo de un solo lado (distribución media-normal), que puede variar en el tiempo. Este supuesto resulta clave para poder identificar los niveles de eficiencia para cada país separadamente.

Resultados y discusión

En la tabla 2 se presentan los resultados de las estimaciones de los modelos de frontera estocástica a partir de la ecuación 2, para las metodologías als77 (Aigner Lovell Schmidt) y mvb77 (Meeusen and van der Boeck), y se contrastan con los resultados obtenidos por Evans et al. (2010) para 29 países de la OECD.

Las especificaciones ofrecen resultados consistentes; los coeficientes estimados en todos los casos son significativos y con el signo esperado. Sin embargo, los valores de lambda obtenidos para el caso de mvb77 son muy superiores a los que se consideran aceptables; lambda da información sobre la contribución relativa de u_{it} y v_{it} y sobre la descomposición del término de error ξ_{it} . Los valores de lambda obtenidos para als77 y mvb77 están en el rango considerado admisible en este tipo de estudio empírico.

Con relación a los resultados de Evans et al. (2010) en su modelo per cápita, los valores obtenidos en este estudio para América Latina y el Caribe, para elasticidades ingreso de la demanda, son algo mayores

(0,9 versus 1,17; 1,18; 1,2, respectivamente); por su parte, en el estudio de Evans et al. (2010) la elasticidad precio fue inferior al estimado para el panel de 29 países de OECD entre 1978-2006 (-0,16; -0,18 contra -0,275).

Los resultados para América Latina y el Caribe son consistentes en relación con otros trabajos que estiman la demanda de energía final comercial, como es el estudio de Somoza (2009), en el que se contrasta los resultados de Galli (1998) para la relación demanda nivel de desarrollo, dirigidos a las economías de rápido crecimiento de Asia Oriental y los países de América Latina y el Caribe.

Los valores medios de eficiencia energética subyacente estimados por als77 y mvb77 son inferiores a los que presenta Evans et al. (2010): 59,9 % y 67,9 % en als77 y mvb77, respectivamente, y 78,1 % en Filippini y Hunt (2009). Este resultado no es sorprendente cuando se consideran ambas muestras, debido a que por una parte, América Latina y el Caribe agrupa un conjunto de economías en pleno proceso de recuperación, en particular desde el año 2009, pero con limitaciones importantes en materia tecnológica (investigación, desarrollo e innovación), con estructuras productivas en muchos casos débilmente eslabonadas, restricciones en el acceso a los servicios de educación y salud, debilidad en mercados de capital, marcos institucionales y regulatorios de incipiente desarrollo y consolidación, infraestructura insuficientemente desarrollada y serios problemas en la distribución del ingreso; y, por otra, se trata de países, por lo general, con niveles altos o muy altos de desarrollo, líderes tecnológicos mundiales y con estructuras de mercados maduros y eficientes.

Entre 1970 y 2010, la región de América Latina y el Caribe en su conjunto apenas tuvo cambios en la evolución de la eficiencia energética, situación diagnosticada ya en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible, Río+20 (Río de Janeiro, junio de 2012). La región en 41 años mantuvo constante su nivel de eficiencia, o lo deterioró muy ligeramente, según el modelo utilizado para la estimación; mientras la intensidad energética se incrementó apenas 0,5 tep por millón de US\$. Tal situación de estancamiento en el desenvolvimiento de la eficiencia indica los limitados resultados en cuanto a la implementación de políticas de ahorro y uso racional de la energía, desplegadas por la mayoría de los países.

En el periodo de 1990 a 1997, la región, en su conjunto, acusó una ligera mejoría en la eficiencia energética, incrementó de 0,085 a 0,094 tep /1 000 US\$, un 10 %. Finalmente, en el periodo 1998-2010, redujo la eficiencia energética pero la intensidad se mantuvo prácticamente constante.

En el periodo 1970-2010, los países que mejoraron su nivel de eficiencia energética subyacente en relación con el periodo 1970-1989 fueron: Argentina, Barbados, Chile, Colombia, Cuba, Granada, Guyana, Jamaica, México, Panamá, Perú, República Dominicana, Surinam y Uruguay. De ellos también incrementaron su intensidad energética: Barbados, Colombia, Granada, Panamá y República Dominicana, mientras que Argentina, México, Perú y Surinam mantuvieron constante sus niveles de intensidad.

Por otra parte, los resultados de las estimaciones de la eficiencia energética subyacente muestran niveles de correlación negativa con relación a la intensidad energética; esto es, en la medida en que aumenta la eficiencia energética, se reduce el índice de intensidad en el uso de la energía, aunque con algunas excepciones, como se vio en el párrafo anterior. Sin embargo, si la intensidad energética fuera a ser utilizada como una herramienta útil para la medición de la eficiencia energética (como proxy de la eficiencia energética), debería esperarse, en primer lugar, una relación inversa entre intensidad y eficiencia, y, además, dicho coeficiente de correlación tendría que ser la unidad (correlación perfecta) o bien próxima a ella. Los resultados de la matriz de correlación para el periodo 1970-2010 evidencian coeficientes altos y negativos entre los valores estimados de eficiencia energética y la intensidad, superior a 0,81. Sin embargo, a nivel de países individuales hay excepciones.

En el estudio para América Latina y el Caribe es posible identificar tres comportamientos en la relación eficiencia-intensidad. En los resultados del periodo 1970-1989, se observa una correlación positiva en ambos modelos estocásticos de frontera, o sea, hay incrementos de la intensidad energética acompañados de aumentos de la eficiencia o reducción de la intensidad aparejada a la reducción de la eficiencia en los casos de Barbados, Colombia, Granada, Panamá y República Dominicana. Un comportamiento similar, pero con la eficiencia estimada

por uno de los dos modelos estocásticos, ocurre en Salvador, Guatemala y Nicaragua. Para Argentina, México y Surinam, mientras la intensidad energética permanece constante con relación a los resultados del periodo 1970-1989, la eficiencia crece. Finalmente, en el caso de Venezuela se observa un resultado completamente opuesto a los tres países anteriores, pues crece la intensidad energética mientras la eficiencia permanece constante, clásico ejemplo de cambio estructural de la economía a favor de actividades más exigentes en el uso de la energía, que en ningún momento se puede calificar de ineficiente.

En Cuba es posible observar cómo la reducción de la intensidad energética va acompañada de un proceso de mejoramiento de la eficiencia en el uso de la energía. Por otra parte, la correlación entre ambos indicadores es alta y negativa (-0,9831), por lo que en este caso la intensidad energética parece ser un buen proxy para medir el desenvolvimiento energético de la economía. No obstante, los resultados de la estimación de la eficiencia sitúan al país en la posición 13-17 entre los 26 países de la muestra, mientras los resultados del uso de la energía –medidos por la intensidad– lo sitúan en el lugar 12, un tanto sobrevalorado. Además de Cuba, presentan coeficientes de correlación superiores al 90 % (y con el signo esperado), Ecuador, Guyana, Haití, Honduras, Jamaica, Panamá, Perú, Trinidad y Tobago y Uruguay.

Así que, si bien en principio hay una correlación negativa entre eficiencia e intensidad para el periodo 1970-2010 para todos los países de la muestra, el uso de este último indicador como medidor de la eficiencia en el empleo de la energía debería tomarse con mucha precaución, sobre todo si se utiliza como base para los diagnósticos, diseño y monitoreo de políticas energéticas (tabla 3).

En las figuras 1 (a y b) se presentan los rankings de países según la eficiencia estimada por als_{77} ; en la primera con una distribución exponencial del término u_{it} , y en la siguiente con una distribución media-normal. La figura 2 muestra el ranking, pero a partir de la intensidad energética.

Inicialmente se observa que, a partir de los datos obtenido por el modelo EEXP, se obtienen valores superiores a los estimados por el Modelo de distribución de errores de media-normal (EALS). En el

primer caso (figura 1a) las eficiencias están en el rango de 0,9 a 0,2, mientras que en el segundo (figura 1b) van de 0,83 a 0,22.

Por otra parte, el orden del ranking es bastante sorprendente, en primer lugar por los países cabeceras en cuanto a niveles de eficiencia estimados en ambas especificaciones. Por ejemplo, los que ocupan los cinco primeros lugares en ambos modelos son, con alguna variación en el orden: Guatemala, Perú, Barbados, Haití, Costa Rica y El Salvador (figuras 1 y 2 y tabla 4).

En la tabla 4 se resumen las ubicaciones por países. Para la eficiencia, el ordenamiento se hace de los valores mayores a los menores, mientras que para la intensidad energética es a la inversa. En general, se observa que no existe una correspondencia exacta entre la ubicación de los países con relación a su eficiencia, con el lugar que ocupan de acuerdo a la intensidad energética.

Al contrastar la eficiencia estimada con la especificación exponencial y la intensidad energética, vemos que solo existe una correspondencia exacta en el caso de Surinam; con una correspondencia muy cercana hay seis países: Guatemala, Barbados, Haití y Costa Rica, primeros en el ranking tanto en eficiencia como en intensidad energética, y Trinidad y Tobago y Guyana son los últimos. Por otra parte, al realizar el contraste a partir de las estimaciones del modelo EALS, se observa en general una mayor correspondencia entre las ubicaciones de los países según los valores de eficiencia y de intensidad energética. Por ejemplo, hay una correspondencia exacta en el orden que ocupan en el ranking de eficiencia y de intensidad, en siete países: El Salvador, Bolivia, Ecuador, Chile, México, Surinam y Venezuela. Una correspondencia muy próxima en los casos de Guatemala, Barbados, Haití, Costa Rica, República Dominicana, Cuba, Trinidad y Tobago y Guyana. Los resultados más divergentes se dan en tres países: Brasil, Panamá y Paraguay.

Cuba mejoró su eficiencia energética significativamente más que el resto de los veintiséis países estudiados. Mientras que a nivel promedio en el periodo 1970-2010 ocupaba el lugar 17, con una eficiencia de 0,671, en el periodo final estudiado (1998-2010) se ubicó en el lugar 9, con una eficiencia de algo más del 0,8. Por su parte, los valores

obtenidos por el modelo EEXP son mayores que los obtenidos por el modelo EALS. En este caso, se mantienen en los primeros lugares del ranking tres de los cinco países (Barbados, El Salvador y Costa Rica), que aparecen en esta ubicación en el periodo 1970-2010; ahora, Granada y Cuba completan el ranking de los cinco primeros países en cuanto a niveles de eficiencia en el uso final de la energía.

Potencial de ahorro de energía y contribución a la mitigación de emisiones de CO₂

Entre los diez primeros emisores de CO₂ a nivel mundial, no hay ningún país perteneciente a la región estudiada, mientras entre los veinte principales emisores se encuentran México (lugar 13) y Brasil (lugar 17), con 459 y 374 millones de toneladas de CO₂ (en el año 2009), respectivamente. Ya entre los cincuenta países mayores emisores se hallan otras cuatro grandes economías regionales: Venezuela (lugar 27), Argentina (lugar 28), Colombia (lugar 44) y Chile (lugar 47), con niveles de emisiones de 190, 179, 75 y 67 millones de toneladas de CO₂, respectivamente. No obstante, desde el punto de vista de las emisiones per cápita, estos países se ubican en los lugares 80, 108, 50, 77, 116 y 83, en ese orden, con niveles que van desde 6,5 tCO₂/hab en Venezuela hasta los 1,6 tCO₂/hab en Colombia. En este sentido, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y, en particular de CO₂, no constituyen un problema de contaminación global. De acuerdo a las negociaciones de las últimas conferencias de las partes (COP), es de prever la adopción de metas de reducción de emisiones que al parecer pueden convertirse en metas obligatorias según lo propuesto por la Unión Europea en Durban (adopción de un nuevo acuerdo global vinculante de reducción de emisiones de GEI, aplicable a todos los países), por lo que se deberían tomar provisiones por parte de los responsables de políticas y negociadores de los países de la región en cuanto a los niveles respetables de reducción, es decir, el establecimiento de puntos de partida o nivel base sobre los cuales negociar, ya sea los compromisos individuales o los compromisos como región. No obstante, todo parece indicar que en las rondas de negociaciones no está contemplado que los pequeños estados insulares en desarrollo tengan que asumir algún tipo de compromiso en cuanto a la reducción de emisiones de GEI (Martínez et al., 2011).

En la tabla 5 se presentan los resultados de la estimación de los potenciales de ahorro energético y reducción de emisiones de CO₂ en el decenio 2000-2010. Tanto los niveles promedio de ahorro energético y la reducción de emisiones son superiores a los obtenidos en el periodo completo (1970-2010), lo cual está indicando cierto deterioro de los niveles de eficiencia promedio en los 26 países de la región que participaron en el estudio. Mientras los potenciales identificados en el periodo 1970-2010 son del orden de los 3 y 11 millones de tep y tCO₂ respectivamente, en el último periodo (2000-2010) estos se duplican y alcanzan niveles del orden de los 7 y 23 millones de tep y tCO₂, respectivamente.

En cuanto a los posibles compromisos de reducción que parecen tomar forma en las próximas negociaciones internacionales, sean obligatorios o no para los países de la región, habrá que buscar un nivel base diferente a los utilizados para los países del anexo I de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), el cual está formado por los estados con economías desarrolladas y por algunos países con economías en transición (los excomunistas de Europa Oriental y la ex URSS). Utilizar los niveles de emisiones registrados en 1990, significaría una meta muy difícil de cumplir a menos que se restrinja el crecimiento económico de la región en su conjunto o de los países individualmente.

En el anexo 1 se observan los niveles de emisiones en el periodo 2000-2010 para los seis mayores emisores de la región, así como los niveles de emisiones «ideales» calculados a partir de las eficiencias energéticas subyacentes, estimadas por varios modelos de frontera estocástica. Se presentan, además, las metas de emisiones según los valores medios aplicados por estos países en el Protocolo de Kyoto a cumplir para el periodo 2008-2012 (5,2 % por debajo de las emisiones de 1990) y los nuevos compromisos resultantes de las futuras negociaciones internacionales.

De los gráficos presentados en el anexo 1, puede observarse que las emisiones, que pudieran reducirse si cada economía estuviera funcionando sobre la frontera de eficiencia energética, apenas serían suficientes para lograr las metas de su reducción de tomarse el año 1990 como referencia. Por ejemplo, solo se lograron niveles de

emisiones inferiores a la meta de reducción del 6,5 % de las emisiones de 1990, en Argentina y Brasil, hasta 2007; Chile, hasta 2005 y Venezuela, hasta 2007. A partir de esos años, las emisiones «ideales» resultaron superiores a los niveles metas del 6,5 % de 1990 a cumplimentarse para 2010-2012. Los casos de Colombia y México presentan comportamientos menos limitados. En el primer caso, las emisiones «ideales» están por debajo del nivel meta hasta casi el final del periodo de análisis (2009), mientras que para México puede distinguirse dos periodos en que dichas emisiones estuvieron por debajo del nivel meta, de 2001 a 2006 y de 2009 en adelante. Por su parte, las reducciones de emisiones de CO₂ –resultante del uso de la energía correspondiente a una operación eficiente de la economía– fueron insuficientes para alcanzar las metas de reducción de los niveles de emisión de CO₂ inferior en un 17 % de las emisiones de 1990, en los casos de Brasil y Chile. En el resto de los países, las emisiones «ideales» apenas estuvieron por debajo del nivel meta unos pocos años, con excepción de Venezuela.

Por su parte, para Cuba, utilizar el año 1990 como base para establecer algún tipo de compromiso de mitigación de emisiones, puede resultar una meta razonable sobre todo porque es en este año donde se producen los mayores volúmenes de emisiones correlacionadas con niveles del producto agregado y la estructura productiva correspondiente a la inserción de la economía nacional al Consejo de Ayuda Mutua Económica (CAME). Como se puede apreciar en la figura 3, los niveles metas de reducción de emisiones en ambos casos son superiores a los niveles de emisiones observados en el periodo 2000-2015, así como el nivel de emisiones «ideal» correspondiente a niveles de eficiencia sobre la frontera.

Del análisis anterior es posible entender que en el caso de Cuba el aporte de la eficiencia energética sobre el nivel de emisiones de CO₂ es significativo y, en cualquier caso, ha sido muy importante para garantizar el cumplimiento de algún tipo de compromiso de reducción de emisiones de CO₂ (casi el 80 % de los gases de efecto invernadero directo), en el marco de las futuras negociaciones internacionales de mitigación del cambio climático. En Cuba, por ejemplo, los niveles de emisiones que corresponderían a un funcionamiento eficiente darían un rango de flexibilidad importante en cuanto a las emisiones, en relación con la meta supuesta del 17 % de reducción de emisiones respecto del año

1990; con ello hay un incremento de las emisiones provenientes del uso de la energía en unos 10 millones de t CO₂.

En los estudios sobre alternativas de mitigación emprendidos en el marco de la elaboración de la segunda comunicación nacional a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, se lograron identificar unas 22 opciones de mitigación, que tienen implícito el mejoramiento de la eficiencia energética, de las cuales 9 corresponden a opciones de mitigación en el uso de la energía en el sector residencial; 10, en la generación de electricidad y 3, en el sector del transporte. En su conjunto, estas opciones evitarían anualmente emisiones de GEI, en especial de CO₂, en el orden de los 7,3 millones de toneladas, con beneficios adicionales del orden de los 53 a 174 US\$/t CO₂ evitado (INSMET, 2013). El estudio citado no incluye todas las potencialidades de mitigación de GEI por mejoramiento de la eficiencia energética en la economía cubana.

Conclusiones

Los resultados de las estimaciones indican que, aunque para un grupo de países el cambio en la intensidad energética puede ser un indicador «razonable» del mejoramiento o deterioro de la eficiencia a nivel agregado de la economía, esto no siempre es así. Se observan comportamientos donde los incrementos o reducciones de la eficiencia energética están acompañados de variaciones similares de la intensidad energética. No obstante, en Cuba la elevada correlación, la «eficiencia» medida por la intensidad, sobrevalora los resultados en comparación a lo que indica la eficiencia energética estimada por el modelo de frontera, muy probablemente como resultado del cambio en la estructura productiva ocurrida en el país en los últimos años.

El aporte potencial a las reducciones de emisiones de CO₂ del mejoramiento de la eficiencia en el uso de la energía en el sistema socioeconómico nacional, es considerable; en el periodo comprendido entre los años 2000 y 2010, hubo un ahorro energético anual para el conjunto de los 26 países de unos 7 millones de tep, mientras que las emisiones de CO₂ evitadas estuvieron en el orden de los 23 millones de t CO₂.

Para los seis mayores emisores de la región, una meta de reducción basada en el año 1990 no resultaría conveniente, pues se estaría partiendo de niveles de emisiones «artificialmente» bajos, resultantes de un periodo de estancamiento económico. Una meta de 6,5 % de reducción de emisiones de CO₂, respecto a 1990 para 2012, sería difícilmente alcanzable por estos países, con excepción de México; mientras que con un compromiso de reducción de emisiones de CO₂ del 17 % por debajo de las emisiones de 1990, el potencial aporte de la eficiencia energética sería claramente insuficiente.

Sin embargo, en el caso de Cuba, tomar 1990 como año base para el establecimiento de un supuesto compromiso de reducción de emisiones de CO₂, sería conveniente. El aporte de un potencial mejoramiento de la eficiencia energética sobre la reducción de emisiones de CO₂ resultaría suficiente para honrar tanto una meta del 6,5 % como la del 17 % de reducción de emisiones respecto a 1990.

Anexo 1. Emisiones promedios «observadas» e «ideales» provenientes del uso de la energía para los países de la región que se ubican entre los 50 mayores emisores de CO₂ a nivel mundial. Periodo 2000-2010. (a. Argentina, b. Brasil, c. Chile, d. Colombia, e. México, f. Venezuela)

Fuente: elaborado a partir de los resultados de las corridas de los modelos de fronteras.

BIBLIOGRAFÍA

- Aigner, D. J. y S. F. Chu (1968): «On Estimating the Industry Production Function», *American Economic Review*, vol. 58, pp. 826-839.
- CEPAL (2010): «La hora de la igualdad: brechas por cerrar, caminos por abrir», Santiago de Chile.
- CEPAL (2012): «La sostenibilidad del desarrollo a 20 años de la Cumbre para la Tierra. Avances, brechas y lineamientos estratégicos para América Latina y el Caribe», New York, mayo.
- Coelli, T. J. (1995): «Recent Developments in Frontier Modelling and Efficiency Measurement», *Australian Journal of Agricultural Economics*, vol. 39, n.º 3, diciembre, pp. 219-245.
- Evans, J., M. Filippini y L. C. Hunt (2010): «Energy Demand and Energy Efficiency in the OECD Countries: a Stochastic Demand Frontier Approach», Surrey Energy Economics Centre (SEEC) Department of Economics University of Surrey SEEDS 135, ISSN 1749-8384.
- Farrell, M. J. (1957): «The Measurement of Productive Efficiency», *Journal of The Royal Statistical Society, A CXX*, Part. 3, pp. 253-290.
- Filippini, M. y L. C. Hunt (2009): «Energy Demand and Energy Efficiency in the OECD Countries: a Stochastic Demand Frontier Approach», Centre for Energy Policy and Economics Swiss Federal Institutes of Technology, CEPE working paper n.º 68, octubre.
- Galli, R. (1998): «The Relationship Between Energy Intensity and Income Level: Forecasting Long Term Energy Demand in Asian Emerging Countries», *The Energy Journal*, vol. 19, n.º 4, pp. 52-67.
- INSMET (2013): «Segunda comunicación de Cuba a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre cambio climático», inédito, La Habana, febrero.
- Koopmans, T. C. (1951): «An Analysis of Production as an Efficiency Combination of Activities», en T. C. Koopmans (ed.), *Activity Analysis*

of Production and Allocation, Cowles Commission for Research in Economics, monografía, n.º 13, Wiley, New York, pp. 85-100.

Martínez, O. et al. (2011): Crisis económica y financiera global. Interpretaciones e impactos, Editorial de Ciencias Sociales, La Habana.

Peel, M. C.; B. I. Finlayson y T. A. McMahon (2007): «Updated World Map of the Köppen-Geiger Climate Classification», Hydrology and Earth System Sciences, vol. 11, pp. 1633-1644.

PWT 7.1 (2007): «Pennsylvania World Table 7.1», Centre for International Comparisons at the University of Pennsylvania, <<https://knoema.com/PWT2012/penn-world-table-7-1>> [2013-11-10].

SIEE-OLADE (2012): «Sistema económico energético de la Organización Latinoamericana de la Energía», <<http://olade.org/es/productos/siee>> [2013-12-14].

Somoza. J. (2009): «Energía y desarrollo económico. Cuba en el contexto de América Latina y el Caribe», tesis de doctorado, Centro de Estudios Demográficos (CEDEM), La Habana.

RECIBIDO: 9/1/2014
ACEPTADO: 17/3/2014

José Somoza Cabrera. Centro de Estudio de Medio Ambiente (CEMA), Universidad de La Habana, Cuba. Correo electrónico: pepes@rect.uh.cu

José Antonio Baños Pino. Universidad de Oviedo, España. Correo electrónico: jbanos@uniovi.es

Manuel Llorca Riego. Universidad de Oviedo, España. Correo electrónico: llorcamanuel@gmail.com

NOTAS ACLARATORIAS

- 1 Ciertamente, a partir de la segunda mitad de 2009, el desempeño económico de la región se situó por encima de los países más desarrollados, gracias al manejo prudente de las políticas fiscales y monetarias –una de las lecciones aprendidas durante el manejo de la crisis de los ochenta– y a los benignos efectos comerciales y financieros del crecimiento chino antes comentado. No obstante, la región aún no ha logrado cerrar las brechas de productividad con los países desarrollados, ni ha podido transformar su estructura productiva, que en un grupo importante de países está todavía fuertemente basada en sectores intensivos en recursos naturales (lo que genera gran presión sobre los recursos naturales, suelos y atmósfera), o en sectores manufactureros de bajo valor agregado, lo que limita el potencial de crecimiento y de mejora en los indicadores de pobreza e igualdad.
- 2 Las emisiones conjuntas de los seis mayores emisores de CO₂ de la región solo representaron el 17 % de las emisiones de China en el año 2009. Con relación a las emisiones de los Estados Unidos (segundo mayor emisor en ese año), la de estos seis países representó solamente el 25 %, mientras que representaron el 63 % de las emisiones de CO₂ de la India y el 85% de las emisiones de Rusia, todas en el año 2009.
- 3 En la COP de Durban (2011) se acordó lanzar un proceso negociador para lograr un acuerdo global de mitigación para 2015, que sería puesto en vigor en 2020. Los términos concretos de este acuerdo están por definirse, pero deben de estar dirigidos no solo a países industrializados, sino también a países en desarrollo.

- ⁴ Se entenderá por consumo «ideal» al consumo de energía de una economía que se ubica sobre la frontera de posibilidades de su utilización (de la energía), o sea, sobre el nivel de consumo mínimo necesario para brindar los servicios energéticos, que en términos de eficiencia se corresponde con el 100 %. Por su parte, las emisiones de CO₂ «ideales» son las emisiones que se corresponden con el nivel de consumo «ideal».
- ⁵ La COP17 (Durban) logró poner en marcha una «hoja de ruta», propuesta por la Unión Europea (UE), para la adopción de un nuevo acuerdo global vinculante de reducción de emisiones de GEI, aplicable a todos los países. Las negociaciones se propusieron para el primer semestre de 2012; el nuevo marco legal se adoptaría en el 2015 para implementarse a partir de 2020.