

**Programa: CAMBIO CLIMÁTICO EN CUBA,
IMPACTOS, MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN**

Proyecto: “Estimación de la eficiencia energética y el potencial de mitigación de emisiones de CO₂ asociado, para sectores claves de la economía regional y cubana”.

Código: Código asignado al proyecto

Institución ejecutora: Centro de Investigaciones Marinas (CIM)

Periodo: año 2015; diciembre del 2016

Fecha de terminación: septiembre del 2016

Índice	Página
Informe técnico. Resumen	3
Introducción	4
Materiales y métodos	8
Resultados alcanzados: Análisis y discusión	21
La medición de la eficiencia energética y su contribución en la mitigación de las emisiones de CO ₂ para 26 países de América Latina y el Caribe	22
La medición de la eficiencia energética en el sector transporte de América Latina y el Caribe	43
Eficiencia eléctrica del sector residencial en Cuba y su contribución a la mitigación de dióxido de carbono	55
Eficiencia productiva en la actividad lechera del municipio Jimaguayú, Camagüey	72
Conclusiones	86
Recomendaciones	90
Anexos	92
Bibliografía	97

Resumen (no más de 250 palabras)

A partir de la aplicación de modelos de frontera estocástica, se obtuvo la estimación de la demanda agregada de energía a nivel de la economía, así como la eficiencia para 26 países de América Latina y el Caribe, entre 1970 y 2010; para el sector transporte y el Residencial cubano por provincias. Se construyó un ranking por países-provincias 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 en cada caso 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-provincia, información que puede resultar un referente importante en la determinación de metas voluntarias de mitigación. En colaboración con el proyecto BASAL se aplicaron los modelos de frontera estocástica a la estimación de la eficiencia productiva de un grupo de vaquerías del municipio Jimaguayú, el cual aporta el 60% de la leche de la provincia mayor productora del país. Se ofrecen los resultados parciales de este estudio que resulto ser más complejo que lo previsto.

Introducción Objetivos generales y específicos

Problema al cual se le pretendió dar respuesta con este proyecto es a las insuficiencias en el conocimiento existente, y que es requerido, para la estimación de la demanda final de energía comercial y la eficiencia subyacente a través de la aplicación de la metodología de panel de datos y especificaciones de frontera estocástica y clases latentes para incorporar los efectos de la heterogeneidad no observada, que en muchas ocasiones son fuentes importantes de sesgos en las estimaciones de los parámetros del modelo de demanda y la propia eficiencia subyacente. Tales modelos permiten estimar los niveles de eficiencia en el uso final de la energía (o en el uso de insumos en general para actividades no energéticas) con relación a la tecnología óptima o frontera tecnológica. Permite por otra parte contrastar la eficiencia estimada con otros indicadores utilizados como proxy imperfectos de eficiencia y la determinación de los potenciales de ahorro de energía y de mitigación de emisiones de CO₂ asociados a los niveles de ahorro antes mencionados. Los resultados son relevantes como información de apoyo al diseño e implementación de la política energética sobre inversión y desarrollo de tecnologías de generación-utilización de la energía, mitigación de las emisiones asociadas y adaptación a los efectos del cambio climático, tanto de carácter global como en los principales sectores de la economía.

Antecedentes

Los antecedentes de este proyecto están ubicados en los trabajos pioneros de Aigner, Meeusen and van den Broeck, 1977 (Formulation and estimation of stochastic frontier production function model. *Journal of Econometrics* 6(1): 21-37 y Efficiency estimation from Cobb-Douglas production function with composed errors. *International Economic Review* 18(2): 435-444, respectivamente); Battese and Coelli, 1988 (Prediction of firm-level technical efficiencies with a generalized frontier production function and panel data. *Journal of Econometrics* 38: 387-399), la mayoría de los cuales fueron aplicaciones para la estimación de la eficiencia productiva en el sector agropecuario de diferentes regiones del mundo desarrollado y en desarrollo. Más recientemente se identifican los trabajos de Filippini y Hunt (2009 y 2010) en la estimación de la eficiencia energética subyacente de la demanda final de energía comercial en un panel de 19 países de la OCDE (“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 No. 68, octubre, y “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 127; ISSN 1749-8384, respectivamente y “US residential Energy Demand and Energy Efficiency: a Stochastic Demand Frontier Approach”; SEED 130, ISSN 1749-8384, November 2010); y los estudios sobre explotaciones lecheras en Asturias de Suarez Pinilla y del Corral Cuervo (¿Ineficiencia o diferencias tecnológicas en el sector lechero?; *Revista de Economía Aplicada*, Número 48 (vol. XVI), 2008, págs. 69 a 88), muy adecuado para el estudio de la eficiencia de la actividad agropecuaria en particular en actividades priorizadas como la propia producción lechera, la de arroz y cultivos varios, entre otras.

En el caso de la estimación de la demanda y eficiencia energética, el tema resulta de la mayor relevancia, pues por lo general se utilizan indicadores aproximados (proxys), simplificados para medir el desempeño y dinámica del uso de la energía, un insumo caro y estratégico sobre el cual el diseño de políticas y las decisiones de inversión tienen impactos

(positivos o negativos) de larga data.

Así se tiene que 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 macroeconómico, dado el hecho que la variación de la misma 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, por lo que es difícil llegar a conclusiones de política energética basada en este indicador sintético. Algo similar ocurre cuando se trata de medir la eficiencia de una explotación agropecuaria a partir de indicadores sintéticos como por ejemplo, litros de leche por cabeza de ganado o por hectárea, en tal sentido se está tratando de concluir sobre un comportamiento a partir de una parte de los factores de producción e insumos que entran a formar parte del proceso productivo y por tanto inciden sobre la eficiencia del mismo.

Justificación

En la práctica del análisis energético y el diseño de política, el indicador que tradicionalmente se utiliza es el de intensidad energética, definida como la cantidad de energía consumida para generar una unidad de producto (por lo general de PIB a su nivel más agregado). Este indicador proporciona información no necesariamente exacta sobre la forma en que se utiliza la energía a nivel de la economía. Por ejemplo, una alta intensidad energética estaría indicando una baja productividad de la economía a nivel agregado que sin embargo no es posible a priori adjudicarla a una baja eficiencia en el uso de la misma, dado que dicho indicador es función de al menos dos factores, el relacionado con la estructura productiva, factor estructural y el directamente relacionado con la eficiencia energética (factor tecnológico).

En este sentido, la debilidad de este indicador simple de consumo energético agregado por unidad de PIB está dado por el hecho de que no es capaz de medir el nivel de eficiencia energética subyacente que caracteriza una economía por lo que es difícil llegar a conclusiones de política energética basada en este indicador (Filippini y Hunt, 2009).

Una alternativa para estimar el nivel de eficiencia energética agregada de una economía, es a partir de la estimación de la función de frontera de la demanda de energía.

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 es éste 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 ordinarios estará ofreciendo 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 por su parte usan una

multiplicidad de insumos diferentes, comenzaron con Koopmans (1951) y Farrell (1957).

Ellos propiciaron que la eficiencia de la firma dependía de dos factores: a) factor tecnológico, o eficiencia tecnológica, la cual refleja la capacidad de la firma para obtener el nivel máximo de producción dado un conjunto de insumos determinado; y b) eficiencia asignativa, que se refiere a la capacidad de la firma para utilizar los insumos en una proporción óptima dado sus respectivos precios. Estas dos medidas se combinaban para ofrecer una medida de la eficiencia total de la firma (Coelli, 1995). Farrell ilustró esta idea utilizando una muestra de firmas que utilizaban dos insumos para obtener un solo producto, bajo el supuesto de la existencia de retornos constantes de escala.

Los trabajos de Farrell fueron ajustados y extendidos por una buena cantidad de investigadores, Aigner y Chu (1968) consideraron la estimación de una función de frontera de producción paramétrica en el espacio insumo producto. Ellos especificaron una función de producción tipo Cobb Douglas:

$$\ln(y_i) = F(x_i; \beta) - \mu_i \quad i = 1, 2, \dots, N$$

Donde F es la función de producción en este caso una Cobb-Douglas; y_i es el nivel de producción de la firma I; x_i es el vector de insumos usados por la firma I; β es el vector de parámetros desconocidos a ser estimados; y μ_i es una variable no negativa que representa la ineficiencia de la producción.

Los parámetros del modelo fueron estimados por programación lineal, donde $\sum \mu_i$, es minimizada sujeta a que μ_i es mayor o igual que cero.

La relación de la producción observada de la firma i -ésima en relación a la producción potencial estimada por la función de frontera dado el vector de insumos x_i , fue interpretada como la eficiencia técnica de esta firma:

$$TE_i = y_i / \exp[F(x_i; \beta)] = \exp(-\mu_i)$$

La eficiencia estimada por Aigner y Chu, tiene un equivalente a la definida por Farrell mientras que las firmas cumplan con el supuesto de retornos constantes de escala (Coelli, 1995).

Una de las primeras críticas a la frontera de Aigner y Chu es que sus estimadores de frontera determinística no tienen en cuenta la posible influencia de errores de medición y otros errores sobre la forma y posicionamiento de la frontera estimada a partir de que todas las desviaciones de los niveles de producción observados con relación a los resultados obtenidos de la estimación de la función de frontera son asumidos como resultados de la ineficiencia técnica.

Timmer (1971) intentó ajustar el sesgo por errores de medida y otros del método de Aigner y Chu a partir de la eliminación de un porcentaje de las firmas más próximas a la frontera estimada y reestimar la frontera usando esta muestra reducida. Sin embargo el carácter arbitrario de la selección de las firmas a omitir de la muestra es motivo de que esta aproximación de Timmer no haya sido ampliamente utilizada.

Aigner, Lovell y Schmidt (1977) y Meeusen y van den Broeck (1977) de forma independiente propusieron la estimación de una función de producción de frontera

estocástica, en la cual los ruidos son contabilizados a partir de la adición de un término de error simétrico no negativo v_i :

$$\ln(y_i) = F(x_i; \beta) + v_i - \mu_i \quad i = 1, 2 \dots, N$$

donde se hace el supuesto tradicional de que v_i es IID, y μ_i tiene una distribución de tipo media normal o exponencial.

Esta especificación no solo da solución al problema de los errores de medición asociado con las fronteras determinísticas, sino que también permite la estimación de los errores estándar y de las pruebas de hipótesis sin violar ciertas regularidades propias de los estimadores de máxima verosimilitud (ML).

La principal crítica que se le hace a la frontera estocástica propuesta por Aigner et, al. 1977 y Meeusen et. al, 1977, consiste en que no hay una justificación a priori para seleccionar alguna forma distribucional para μ_i .

Las especificaciones más generales de forma de distribución para μ_i que han ayudado a mitigar este problema es la normal truncada (Stevenson, 1980) y la gamma (Greene, 1990 y 2005).

El concepto central en la aproximación de frontera estocástica es que la función da el nivel máximo o mínimo de un indicador económico alcanzable por un agente económico. En el caso de una función de producción, por ejemplo, el modelo de frontera ofrece el nivel máximo de producción alcanzable por una firma para un nivel dado de insumos. En el caso de la demanda agregada de energía, esta aproximación estaría dando el nivel mínimo de consumo energético necesario para que una economía determinada produzca algún nivel de servicios energético. En este caso, el objetivo es aplicar el concepto de función de frontera estocástica con el fin de estimar la demanda de energía “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, dando además la posibilidad de identificar si un país está o no sobre esta frontera estimada, o lo que se conoce en la literatura como la demanda “ideal” de energía final. Así, la diferencia de la demanda observada con esta demanda estimada “ideal” estaría dando el potencial de ahorro de energía vinculado al mejoramiento de la eficiencia energética. Por otra parte, es posible asociar a la demanda “ideal” de energías, un nivel “ideal de emisiones de CO₂ o de GEI en general y como diferencia entre esas emisiones y las emisiones observadas (producto del nivel de consumo observado y el factor de emisión particular), es posible estimar un potencial de mitigación de emisiones de estos gases asociado a los esfuerzos de ahorro provenientes de la mejora de la eficiencia.

OBJETIVO GENERAL: Desarrollar una aplicación de las herramientas metodológicas disponibles que permita la estimación de la demanda energética y la eficiencia subyacente como indicador adecuado para la medición, control y monitoreo del uso de la energía tanto a nivel agregado como en los sectores seleccionados del uso final de la energía (transporte; industrial, residencial, entre los fundamentales según las participaciones respectivas en la demanda final).

OBJETIVO ESPECIFICOS:

1. Estimar demanda y eficiencia subyacente, y contrastar con los valores de intensidad energética. Construir un ranking para eficiencia subyacente e intensidad

energética para los países de la región, o regiones de un país en caso que corresponda.

2. Estimar potenciales de ahorro de energía y de mitigación de emisiones asociados, proveniente de los esfuerzos para el mejoramiento de la eficiencia en el uso de la energía.

3. Identificar niveles base o de referencia para establecer metas de reducción de emisiones de GEI, voluntarias o no, en el marco de las negociaciones internacionales post-Kyoto.

4. Apoyar a los responsables de política energética y ambiental en el análisis, diseño, implementación, control y monitoreo del desempeño de las acciones de ahorro, mitigación y adaptación.

Materiales y métodos

En este sentido, se hizo uso de las bases de datos disponibles, algunas de ellas como la del SIEE de OLADE con fuertes limitaciones en el acceso (ahora hay que pagar por la información), por lo cual el estudio se vio limitado en su alcance temporal (1970-2010). Se utilizaron además otras bases como la de CEPAL para obtener agregados económicos (como el valor agregado de los sectores principales de la economía, datos de población), la Penn World Table 7.1 para obtener los datos del PIB per cápita a paridad del poder de compra (PPP en sus siglas anglosajonas), y de manera complementaria las bases que ofrecen las organizaciones OIEA (Organización Internacional de la Energía Atómica) y AIE (Agencia Internacional de la Energía), las que son de libre acceso pero tienen limitaciones con el grado de desagregación que ofrecen).

Se hicieron esfuerzos importantes para la adquisición del software necesario, aprovechando el financiamiento asignado por la 2CN a estos fines pero, como ya se comentó, no fue posible, así que se utilizaron los programas STATA 12 y LIMDEP donados por la colaboración asturiana de los amigos del Grupo de Eficiencia Energética de la Universidad de Oviedo. El primer paquete de programas permite la aplicación de los modelos de frontera estocástica, mientras que el segundo es fundamental para la aplicación de Clases Latentes (y cualquier especificación econométrica), sin embargo LIMDEP tiene algunos detalles que “complejizan” algo su aplicación.

La metodología de investigación que se adoptó para enfrentar esta investigación es de tipo cualitativa a partir de una amplia revisión de literatura internacional y nacional, y cuantitativa a partir de la aplicación de modelos estocásticos de frontera a la información recolectada, y que aportan ventajas sustanciales al estudio de la producción-demanda, con relación al resto de las especificaciones para estimar funciones de producción y demanda de energía. Hay que enfatizar que el proceso de recolección de información procesamiento y manejo de la misma constituye el elemento crítico de este tipo de investigación y este proyecto lamentablemente no fue la excepción.

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 es éste 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 ordinarios estará ofreciendo un cuadro sobre el tipo de tecnología que utiliza un agente promedio dentro de una industria o un país-provincia en caso de que se trate de un estudio empírico de un panel de países, provincias, ciudades.

Marco teórico. Modelos de frontera estocástica y clases latentes para estimar la demanda agregada y eficiencia energética y de producción

En la práctica del análisis energético y el diseño de política, el indicador que tradicionalmente se utiliza es el de intensidad energética definida como la cantidad de energía consumida para generar una unidad de producto (por lo general de PIB a su nivel más agregado). Este indicador proporciona información no necesariamente exacta sobre la forma en que se utiliza la energía a nivel de la economía. En este sentido, la debilidad del indicador simple de consumo energético agregado por unidad de PIB está dado en que no es capaz de medir el nivel de eficiencia energética subyacente que caracteriza una economía por lo que es difícil llegar a conclusiones de política energética basada en este indicador (Filippini y Hunt, 2009).

Una alternativa para estimar el nivel de eficiencia energética agregada de una economía, es a partir de la estimación de la función de frontera de la demanda de energía.

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 es éste 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 ordinarios estará ofreciendo 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 por su parte usan una multiplicidad de insumos diferentes, comenzaron con Koopmans (1951) y Farrell (1957). Ellos propiciaron que la eficiencia de la firma dependía de dos factores: a) factor tecnológico, o eficiencia tecnológica, la cual refleja la capacidad de la firma para obtener el nivel máximo de producción dado un conjunto de insumos determinado; y b) eficiencia asignativa que se refiere a la capacidad de la firma para utilizar los insumos en una proporción óptima dado sus respectivos precios. Estas dos medidas se combinaban para ofrecer una medida de la eficiencia total de la firma (Coelli, 1995). Farrell ilustró esta idea utilizando una muestra de firmas que utilizaban dos insumos para obtener un solo producto, bajo el supuesto de la existencia de retornos constantes de escala.

Los trabajos de Farrell fueron ajustados y extendidos por una buena cantidad de investigadores, Aigner y Chu (1968) consideraron la estimación de una función de frontera de producción paramétrica en el espacio insumo producto. Ellos especificaron una función de producción tipo Cobb Douglas:

$$\ln(y_i) = F(x_i; \beta) - \mu_i \quad i = 1, 2, \dots, N$$

donde F es la función de producción en este caso una Cobb-Douglas; y_i es el nivel de

producción de la firma I ; x_i es el vector de insumos usados por la firma I ; β es el vector de parámetros desconocidos a ser estimados; y μ_i es una variable no negativa que representa la ineficiencia de la producción.

Los parámetros del modelo fueron estimados por programación lineal, donde $\sum \mu_i$, es minimizada sujeta a que μ_i es mayor o igual que cero.

La relación de la producción observada de la firma i -ésima en relación a la producción potencial estimada por la función de frontera dado el vector de insumos x_i , fue interpretada como la eficiencia técnica de esta firma:

$$TE_i = y_i / \exp[F(x_i; \beta)] = \exp(-\mu_i)$$

Una de las primeras críticas a la frontera de Aigner y Chu apuntaban a que sus estimadores de frontera determinística no tienen en cuenta la posible influencia de errores de medición y otros errores sobre la forma y posicionamiento de la frontera estimada a partir de que todas las desviaciones de los niveles de producción observados con relación a los resultados obtenidos de la estimación de la función de frontera son asumidos como resultados de la ineficiencia técnica.

Aigner, Lovell y Schmidt (1977) y Meeusen y van den Broeck (1977) de forma independiente propusieron la estimación de una función de producción de frontera estocástica, en la cual los ruidos son contabilizados a partir de la adición de un término de error simétrico no negativo v_i :

$$\ln(y_i) = F(x_i; \beta) + v_i - \mu_i \quad i = 1, 2, \dots, N$$

donde se hace el supuesto tradicional de que v_i es IID, y μ_i tiene una distribución de tipo media normal o exponencial.

Esta especificación no solo da solución al problema de los errores de medición asociado con las fronteras determinísticas, sino que también permite la estimación de los errores estándar y de las pruebas de hipótesis sin violar ciertas regularidades propias de los estimadores de máxima verosimilitud (ML). Sin embargo, la principal crítica que se le hace a la frontera estocástica propuesta por Aigner et. al. 1977 y Meeusen et. al, 1977, consiste en que no hay una justificación a priori para seleccionar alguna forma distribucional para μ_i .

Las especificaciones más generales de forma de distribución para μ_i que han ayudado a mitigar este problema es la normal truncada (Stevenson, 1980) y la gamma (Greene, 1990 y 2005).

En el Cuadro 1, se presenta el resumen de los diferentes métodos de estimación de funciones de frontera estocástica desarrollados a partir de los trabajos seminales de Meeusen y van der Broeck y Aigner, Lovell y Schmidt (1977) (Beloti et. al, 2012).

En este trabajo, al aplicar el modelo de frontera estocástica lo que se trata es de aislar la eficiencia energética subyacente controlando explícitamente los efectos precio e ingreso y otros efectos específico de cada país, efectos climáticos y un efecto común que capture el efecto del progreso tecnológico exógeno y otros efectos exógenos, a partir de un término de tendencia de demanda energética subyacente (UEDT, en sus siglas en inglés). Es así que los impactos del progreso tecnológico endógeno se controlen a través del precio y el

del progreso técnico exógeno a través del termino UEDT.

La demanda energética agregada de la economía es derivada de la demanda de servicios energéticos. Para producir estos servicios es necesario utilizar una combinación de combustibles (energía) y equipamiento (capital) como electrodomésticos, automóviles, maquinarias, aislamiento, entre otros, lo cual implica que el nivel de demanda de energía está influenciado por la eficiencia tanto del equipamiento como de los procesos que utiliza. Por otra parte, además de los factores tecnológicos y económicos que influyen en la demanda de energía, hay otros factores de carácter exógenos como los institucionales y regulatorios que son importantes en la explicación del nivel de consumo pero que es poco probable que su variación impacte de forma consistente en el tiempo.

Cuadro 1. Resumen de los métodos de estimación de funciones de fronteras estocásticas

Referencias	Artículo	Modelo	Distribución de μ	Método de estimación
Modelos de sección cruzada				
Aigner et. al, 1977	Formulation and estimation of stochastic frontier production function model. Journal of Econometrics 6(1): 21-37	als77	HN (media Normal)	ML (Máxima Verosimilitud)
Meeusen and van den Broeck, 1977	Efficiency estimation from Cobb-Douglas production function with composed errors. International Economic Review 18(2): 435-444	mvb77	E (Exponencial)	ML (Máxima Verosimilitud)
Stevenson, 1980	Likelihood functions for generalized stochastic frontier functions. Journal of Econometrics 13: 57-66	stev80	TN (Normal truncada)	ML (Máxima Verosimilitud)
Greene, 2003	Simulated likelihood Estimation of the Normal-Gamma Stochastic Frontier Function. Journal of Productivity Analysis 19: 179-190	gree00	G (Gamma)	SML (Máxima Verosimilitud Simulada)
Modelos de panel de datos				
Schmitd and Sickles, 1984	Productions frontiers and Panel Data. Journal of Business Economics and Statistics 2(4): 367-374.	fe	-	W (Within Group)
Schmitd and Sickles, 1984	Productions frontiers and Panel Data. Journal of Business Economics and Statistics 2(4): 367-374.	regls	-	GLS (Mínimos Cuadrados Generalizados)
Pitt and Lee, 1981	The measurement and sources of technical inefficiency in the Indonesian weaving industry. Journal of Development Economics 9: 43-64	mlti	HN (media Normal)	ML (Máxima Verosimilitud)
Battese and Coelli, 1988	Prediction of firm-level technical efficiencies with a generalized frontier production function and panel data. Journal of Econometrics 38: 387-399.	mlti	TN (Normal truncada)	ML (Máxima Verosimilitud)
Cornwell et. al, 1990	Production frontiers with cross-sectional and time-series variation in efficiency levels. Journal of Econometrics 46: 185-200	fecss	-	MW (Within Group Modificados)
Lee and Schmidt, 1993	The measurement of productive efficiency: techniques and applications, chap. A production frontier model with	fels	-	ILS (Mínimos Cuadrados Iterativos)

	flexible temporal variation in technical inefficiency. Oxford University Press.			
Kumbhakar, 1990	Production Frontiers, Pannel Data and time-varying technical inefficiency. Journal of Econometric 46: 201-212	kumb90	HN (media Normal)	ML (Máxima Verosimilitud)
Battese and Coelli, 1992	Frontier production functions, technical efficiency and panel data: with application to paddy farmers in India. Journal of Productivity Analysis 3(1/2): 153-169.	bc92	TN (Normal truncada)	ML (Maxima Verosimilitud)
Battese and Coelli, 1995	A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data. Empirical Economics 20: 325-332.	bc95	TN (Normal truncada)	ML (Máxima Verosimilitud)
Greene, 2005	Reconsidering heterogeneity in panel data estimators of the stochastic frontier model. Journal of Econometrics 126: 269-303	tfe	E (Exponencial)	MLDV (Máxima Verosimilitud con variables Dummy)
Greene, 2005	Reconsidering heterogeneity in panel data estimators of the stochastic frontier model. Journal of Econometrics 126: 269-303	tfe	HN (media Normal)	MLDV (Máxima Verosimilitud con variables Dummy)
Greene, 2005	Reconsidering heterogeneity in panel data estimators of the stochastic frontier model. Journal of Econometrics 126: 269-303	tfe	TN (Normal truncada)	MLDV (Máxima Verosimilitud con variables Dummy)
Greene, 2005	Reconsidering heterogeneity in panel data estimators of the stochastic frontier model. Journal of Econometrics 126: 269-303	tre	E (Exponencial)	SML (Máxima Verosimilitud Simulada)
Greene, 2005	Reconsidering heterogeneity in panel data estimators of the stochastic frontier model. Journal of Econometrics 126: 269-303	tre	HN (media Normal)	SML (Máxima Verosimilitud Simulada)
Greene, 2005	Reconsidering heterogeneity in panel data estimators of the stochastic frontier model. Journal of Econometrics 126: 269-303	tre	TN (Normal truncada)	SML (Máxima Verosimilitud Simulada)

El concepto 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 una función de producción, por ejemplo, el modelo de frontera ofrece el nivel máximo de producción alcanzable por una firma para un nivel dado de insumos. En el caso de la demanda agregada de energía, esta aproximación estaría dando el nivel mínimo de consumo energético necesario para que una economía determinada produzca algún nivel de servicios 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, dando además la posibilidad de 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, esto es, el nivel de ineficiencia energética.

De esta forma, es posible estimar los niveles de eficiencia energética de cada país y estudiar las variaciones de este con respecto a la frontera de demanda de energía y la variación de este indicador en el periodo de tiempo seleccionado.

La función genérica de demanda de energía depende de manera positiva del ingreso e inversamente en relación a los precios puede ser representada en forma logarítmica de la siguiente forma:

$$\ln Q = \ln f(P, Y, X, \beta) + \varepsilon \quad (1)$$

donde Q representa la cantidad de energía demandada, P es el precio de la energía, Y representa el ingreso (que a nivel agregado es representado como el PIB a precios constantes y paridad de poder de compra), X se refiere a otras variables de control, explicativas o exógenas, β son los parámetros asociados con las variables que son incluidas en el modelo y que pueden ser interpretadas directamente como elasticidades, y ε es el error aleatorio el que se asume comúnmente que sigue una distribución normal con media cero y varianza constante, σ_ε^2 .

Este supuesto para la parte estocástica de la función indica que los investigadores asumen que cualquier desviación en la demanda de energía que es predictada por la parte determinista del modelo es el resultado de un shock aleatorio tal como un error de medición o incertidumbre. Por tanto, este modelo puede ser estimado utilizando estimadores Mínimos Cuadrados Ordinarios (OLS por sus siglas en inglés), los cuales son los mejores estimadores consistentes e insesgados.

Aunque esta aproximación ha sido tradicionalmente utilizada en los trabajos empíricos, ella no ofrece información directa sobre uno de los principales temas en el campo del consumo de energía en las décadas recientes, esto es, la eficiencia energética. Como se ha comentado a principio de esta sección, ha habido un debate alrededor de la definición y medición de la eficiencia. En esencia, este concepto intenta capturar la relación entre el consumo de energía y la producción o el servicio que es derivado de este consumo. Esta eficiencia podría ser medida de tal forma que un mejoramiento en el

indicador implicara un menor uso de la energía para producir cierta cantidad de producto o servicio energético en una economía dada.

Sin embargo, en contraste a lo estudiado en la literatura de economía energética, en el campo de la economía de la producción se han desarrollado varias aproximaciones que permiten la inclusión de la eficiencia de la actividad productiva de las compañías (o países) en la parte aleatoria del modelo sin necesidad de añadir nuevas variables o depender de otros indicadores. Basado en la literatura de la eficiencia y productividad, Filippini y Hunt (2011, 2012) sugieren el uso de una aproximación paramétrica de frontera estocástica para estimar funciones agregadas de demanda de energía que son derivadas de una función de costos de la provisión de servicios energéticos. En esta función de costo, la energía es un insumo. Por lo tanto, siguiendo el lema de Shephard y derivando la función basada en los precios de la energía, la función de demanda de este insumo (la energía) puede ser obtenida. El objetivo principal de estos autores es obtener mediciones de la eficiencia energética que puedan ser utilizadas como alternativa al típico indicador utilizado con estos fines, la intensidad energética. Esta medida de la eficiencia está basada en la comparación del consumo de energía de los países con respecto a un consumo mínimo de energía previsto por la frontera, la cual toma en cuenta el comportamiento optimizador de las compañías y los individuos.

El modelo básico estimado por estos autores es el modelo estándar de fronteras estocásticas planteado por Aigner, Lovell y Schmidt (1977) (ALS en adelante), aunque también presentan otros modelos desarrollados en la literatura de eficiencia y productividad como el modelo True Random Effects (TRE) de Greene (2004, 2005a) o la formulación de Mundlak (1978) propuesta para un estimador de efectos aleatorios por Farsi et al. (2005). El modelo ALS puede representarse para el caso de una demanda energética como:

$$\ln Q = \ln f(P, Y, X, \beta) + v + u \quad (2)$$

donde ahora el término aleatorio puede ser descompuesto en v , que sigue una distribución normal análoga a la representada por ε en la ecuación (1) y u que es un error asimétrico que sigue una distribución seminormal positiva para capturar la ineficiencia en la demanda energética. En la literatura de fronteras estocásticas se asume habitualmente que u es una seminormal (o normal truncada) negativa si la función estimada es una función de producción en la que existe una producción máxima alcanzable, o positiva si la función estimada es una función de costes, donde por el contrario existe un coste mínimo alcanzable. En el caso de una demanda frontera como la propuesta por Filippini y Hunt (2011, 2012), la demanda energética eficiente representa un consumo mínimo factible, por lo que el enfoque utilizado es el mismo que si se tratara de una función de costes.

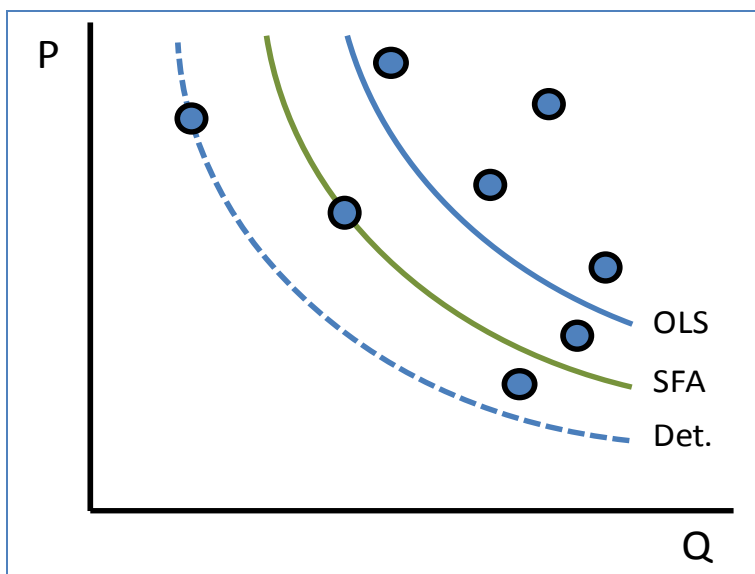
A partir de la media condicional del término de ineficiencia propuesto por Jondrow et al. (1982), el nivel de eficiencia para cada observación puede obtenerse aplicando la siguiente expresión:

$$EF_{it} = \frac{Q_{it}^*}{Q_{it}} = \exp(-\hat{u}_{it}) \quad (3)$$

donde Q_{it}^* representa la demanda energética agregada del país i en el período t sobre la frontera, es decir, el nivel mínimo de energía necesario para que esa economía produzca su nivel de output; Q_{it} es la demanda energética agregada que se produce realmente en ese país y EF_{it} , por tanto, es una medida de eficiencia acotada entre cero y uno. La diferencia entre 1 y esta medida de ineficiencia, nos muestra en cuánto podría reducirse el consumo energético de ese país en tanto por uno, manteniendo el mismo volumen de servicios de transporte. Estas son por tanto medidas relativas que, a diferencia de los indicadores de intensidad energética, permiten comparaciones directas entre países a lo largo del tiempo.

Para explicar el concepto de frontera estocástica, en la Figura 4 se comparan distintos enfoques que pueden ser utilizados en la estimación econométrica de funciones de demanda de energía. La línea azul muestra una función de demanda de energía como la planteada en la ecuación (1) estimada utilizando MCO. Con este enfoque se obtiene una función con pendiente negativa en relación a los precios que pasa por el medio de los valores observados. Un modelo de frontera básico que permitiría identificar la eficiencia de los países, sería simplemente asignar todo tipo de error estimado (es decir, u_{it}) a la ineficiencia tras la aplicación de MCO. Este sencillo enfoque no permite separar ineficiencia de ruido, ya que por definición cualquier desviación respecto al mínimo consumo posible que se pueda alcanzar, es atribuida a ineficiencia. Este tipo de frontera es conocido habitualmente como frontera determinista y puede obtenerse desplazando el intercepto de la estimación de MCO hasta dejar todas las observaciones a la derecha de la frontera estimada. Dicha forma de obtener la frontera es conocida como Mínimos Cuadrados Ordinarios Corregidos (COLS). En otros términos, permite obtener una función que envuelve a todas las observaciones y está representada en este caso por la línea discontinua azul. Aunque no es representada gráficamente por Filippini y Hunt (2011, 2012) la demanda que se estima cuando se utiliza un enfoque de fronteras estocásticas, es una función como la representada por la línea verde. El uso de este tipo de metodología permite que, aunque la mayoría las observaciones estén a la derecha de la frontera estimada debido al efecto de la ineficiencia, puedan existir ciertas observaciones a la izquierda de la frontera debido a la existencia de shocks aleatorios negativos.

Figura 1. Enfoques en la estimación de funciones de demanda de energía



En la Figura 2 se representa el tipo de frontera que se estima cuando se usa un enfoque de fronteras estocásticas para obtener una demanda energética, y cómo el Error Aleatorio Total (EAT), es decir la parte estocástica del modelo ($v+u$), se puede descomponer en ineficiencia y ruido en los distintos casos posibles. Como puede verse para la observación 1, una observación únicamente estará sobre la frontera que hemos representado gráficamente cuando el término de ineficiencia compense el valor negativo del término de ruido (o ambos sean iguales a cero). Al estimarse una frontera estocástica de demanda se asume que una mayor parte de observaciones van a estar situadas a la derecha de la frontera. Esto puede deberse únicamente a un efecto de ineficiencia o ruido (si este es positivo y la ineficiencia es igual a cero) como en 2, o de ambos conjuntamente, como ocurre en 3, donde ambos son positivos, y 4, donde solamente una parte de la ineficiencia es compensada por el valor negativo del término de ruido. No obstante al no tratarse de una frontera determinista, algunas observaciones pueden estar a la izquierda de la frontera que se estima, indicando por tanto que estos países están consumiendo menos energía de la predicha por la frontera para un precio específico. En la observación 5, esto se da porque no existe ineficiencia y el término de error es negativo. Puede darse también el caso de que incluso existiendo ineficiencia, el término de ruido negativo llegue a superar el valor de u , como sucede en la observación 6, haciendo que esta observación sea por tanto “súper-eficiente”.

Figura 2. Descomposición del término de error aleatorio en una demanda frontera estocástica

difícil de justificar para una región tan heterogénea como América Latina y el Caribe. Si existen en la muestra distintos grupos de países con demandas de características distintas, es decir diferentes parámetros asociados a las variables, deberíamos estimar un modelo que nos permita capturar esta circunstancia.

Un enfoque alternativo para controlar la heterogeneidad inobservable y que parece más adecuado en nuestro contexto, es el uso de un Modelo de Fronteras Estocásticas con Clases Latentes (LCSFM), como el sugerido por Orea y Kumbhakar (2007) y Greene (2004, 2005) que permite estimar diferentes parámetros para países que pertenecen a grupos distintos y que comparten características similares. Las características de los países en cada grupo son diferentes y por tanto, dado que los países que pertenecen a la misma clase comparten el mismo conjunto de parámetros, con este enfoque se controla la heterogeneidad existente entre grupos. Es decir, utilizar un procedimiento de clases latentes permite controlar por heterogeneidad en las pendientes (los coeficientes de las variables estimados), que es inobservable y está asociada a grupos de países. La estimación de un modelo de este tipo implica la existencia de J grupos de países entre los que existen diferencias que pueden ser apreciables en su función de comportamiento:

$$\ln Q_{it} = \ln f(P_{it}, Y_{it}, X_{it}, \beta_j) + v_{it|j} + u_{it|j} \quad (4)$$

donde el subíndice $j = 1, \dots, J$ hace referencia a la clase, β_j es el vector de parámetros que se estiman para la clase j , y el término aleatorio compuesto al igual que en los modelos previos, está formado por $v_{it|j} \sim N(0, \sigma_v^2 | j)$ y $u_{it|j} \sim N(0, \sigma_u^2 | j)$ que también son específicos de cada clase. La estimación de este modelo implica la maximización de la función de verosimilitud total de la ecuación (4), la cual es la suma de las funciones de verosimilitud en cada punto de la muestra ponderadas por la probabilidad de pertenencia a cada clase, que a su vez está parametrizada como un modelo logit multinomial. Pueden incluirse variables adicionales en las probabilidades de pertenencia a las clases, aunque si no se incluyen, la bondad en el ajuste de cada clase es utilizada por el modelo para identificar los distintos grupos.

Una condición necesaria para la identificación de los parámetros de las probabilidades de pertenencia a los grupos en estos modelos, es que la muestra haya sido generada por diferentes funciones de comportamiento o diferentes términos de error, es decir, J, el número de clases, se considera como dado. Si J es mayor que el número “real” de clases y por tanto tratamos de estimar un modelo con “demasiadas” clases, nuestro modelo estará sobreespecificado y los parámetros del modelo no podrán ser estimados. El número de clases J debe ser por tanto elegido previamente por el investigador. Existen diferentes test estadísticos que pueden ser utilizados para elegir el número apropiado de clases, pero los utilizados más comúnmente son el Akaike Information Criterion (AIC), el Bayesian Information Criterion (BIC), y algunas de sus variantes, eligiéndose aquel

modelo para el que estos criterios presentan un menor valor. Tanto estos criterios como otros que se derivan de ellos, buscan un equilibrio entre la falta de ajuste, al estimar un modelo con pocas clases, y el sobreajuste, al estimar un modelo con excesivas clases. Para ello, además de incorporar el valor de la función de verosimilitud, estos criterios penalizan con diferentes ponderaciones el incremento en el número de parámetros estimados en cada modelo. El BIC penaliza de forma más severa el sobreajuste, por lo que tiende a favorecer modelos más parsimoniosos que el AIC. En este trabajo utilizaremos varios de estos criterios para seleccionar el modelo que se considerará preferido.

Tras la estimación del modelo, las probabilidades a posteriori pueden ser obtenidas para asignar cada país a una clase específica y calcular las medidas de eficiencia. Una estrategia para asignar los países, es asumir que el país se encuentra en la clase a la que puede pertenecer con mayor probabilidad y por tanto solamente una de las demandas es tomada como frontera de referencia para obtener la medida de (in)eficiencia de cada país. Una forma alternativa de actuar, tal como Greene (2005) señala, podría ser tener en cuenta todas las clases al calcular la eficiencia de los países, agregando las eficiencias específicas al pertenecer a cada una de las clases ponderadas por la probabilidad de pertenencia a esas clases. En esta investigación se optó, sin embargo, por utilizar el primer enfoque al entender que realmente existen demandas diferenciadas entre grupos de países.

Valdría la pena comentar algunas diferencias que distinguen la aplicación de los modelos de frontera estocástica y clases latentes a funciones de producción.

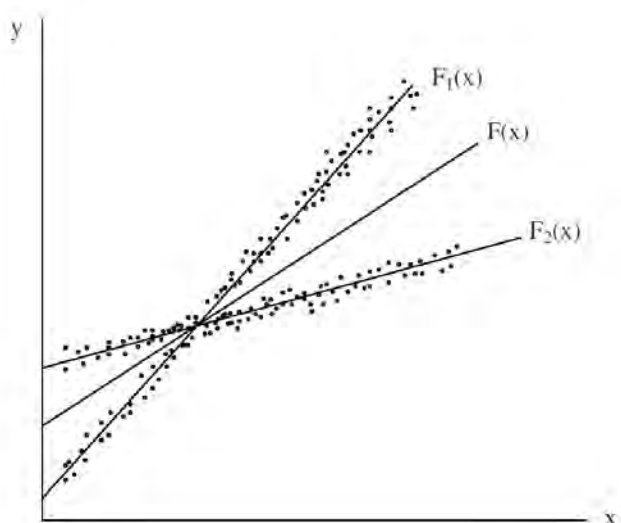
La estimación de funciones de producción, (como las de costes o demanda ya comentadas) suele basarse en el supuesto de que la tecnología subyacente es común para todos los productores. Sin embargo, en realidad puede haber empresas que usen tecnologías diferentes. En ese caso, la estimación de una función común para todas las observaciones no es apropiada ya que se pueden obtener estimaciones sesgadas de las características de la tecnología. Para evitar este problema de especificación, a veces se realiza un proceso en dos etapas. En la primera, las observaciones de la muestra se clasifican en varios grupos. Esta separación se puede hacer de dos formas: a partir de información a priori sobre las empresas, como la localización o mediante un análisis clúster (véase, por ejemplo, Maudos et al., 2002; Álvarez et al., 2007). En la segunda etapa se estima una función distinta para cada grupo (clúster). Una alternativa es el uso de modelos que permiten, en una sola etapa, determinar los grupos y estimar una función distinta para cada grupo. A esta categoría pertenecen los denominados modelos de clases latentes.

Como se comentó anteriormente, la heterogeneidad inobservable entre individuos puede ser una fuente importante de problemas econométricos si no se modela correctamente, ya

que su efecto es equivalente al de una variable omitida. El problema surge cuando las variables relevantes omitidas del análisis están correlacionadas con alguna de las variables explicativas, ya que la estimación será sesgada (Griliches, 1957). El caso más estudiado es cuando la información no observada puede considerarse invariante en el tiempo. Por ejemplo, la habilidad en los modelos de calidad de la tierra en una función de producción agraria. Si se dispone de datos de panel, la solución al problema consiste en modelar la heterogeneidad como un efecto individual (Mundlak, 1961).

Otro tipo de heterogeneidad inobservable se refiere a la relación económica subyacente; es decir, las empresas de la muestra pueden provenir de distintos procesos generadores de datos. Este caso puede véase gráficamente en la Figura 3, donde hay dos grupos de empresas que tienen distintas tecnologías de producción. Si se estima una única función de producción (por ejemplo mediante mínimos cuadrados, MCO), se obtendrá la función $F(x)$, por lo que las características tecnológicas estimadas (elasticidades de producción, economías de escala, elasticidades de sustitución, etc.), estarán sesgadas.

Figura 3. Funciones de producción con diferentes tecnologías



Fuente: Álvarez Antonio y Julio del Corral Cuervo (2015): ¿Ineficiencia o diferencias tecnológicas en el sector lechero? universidad de Oviedo *Revista de economía aplicada*, número 48 (vol. xvi), 2008, págs. 69 a 88

Para superar este problema es necesario usar modelos que estimen parámetros distintos para cada uno de los grupos. Algunos de estos modelos son continuos en el sentido de que permiten la existencia de una tecnología distinta para cada empresa. Los modelos de parámetros aleatorios (Hildreth y Houck 1968) y la estimación por máxima verosimilitud local (Kumbhakar et al., 2007) son dos ejemplos. Otros métodos son discretos, ya que forman varios grupos, estimando una referencia tecnológica para cada grupo. A esta categoría pertenecen el análisis clúster y los modelos de clases latentes.

Ahora, el análisis clúster permite clasificar la muestra en varios grupos, y a continuación

estimar una representación de la tecnología para cada grupo. Sin embargo, este procedimiento tiene dos limitaciones, la primera está asociada con la primera etapa (la determinación de los clúster), ya que como el algoritmo no tiene en cuenta la relación de las variables separadoras con la variable dependiente, las empresas pueden separarse por un criterio distinto al deseado (el de la tecnología). La segunda limitación está asociada a la eficiencia en la estimación, ya que este procedimiento no usa la información contenida en una clase para estimar la tecnología de las empresas pertenecientes a otras clases, y en la práctica, esta información puede ser importante porque las tecnologías, aunque sean diferentes, pueden tener rasgos comunes. Por lo tanto, la estimación de distintas referencias tecnológicas usando los grupos obtenidos mediante un algoritmo de clúster es un proceso estadísticamente ineficiente puesto que no se aprovecha toda la información disponible.

Por otra parte, los modelos de clases latentes suponen que hay un número finito de estructuras subyacentes (clases) en los datos, de forma que cada una de los individuos (en este caso las empresas) pertenece a una de las clases aunque la clase a la que pertenece cada empresa es desconocida para el analista (Greene, 2004). Estos modelos permiten estimar para cada individuo (empresa) la probabilidad de pertenecer a cada grupo.

Existe un detalle que diferencia los modelos de frontera estocásticos aplicados a funciones de producción y los aplicados a las funciones de demanda. Una función de producción frontera estocástica puede escribirse como:

$$\ln y = f(x) + \varepsilon ; \varepsilon = v - u \quad 5$$

donde y representa el output de cada empresa, x es un vector de inputs, $f(x)$ es la representación de la tecnología, y ε es una perturbación aleatoria compuesta por dos términos de error: uno simétrico, v , que refleja la aleatoriedad del proceso productivo y que se supone que se distribuye como una normal con esperanza cero y desviación típica σ_v , y otro asimétrico, u , que recoge la ineficiencia de las empresas, y que se suele modelar mediante una distribución seminormal, por lo que $u \geq 0$. Además, se supone que los componentes u y v son independientes. Para estimar estos modelos hay que utilizar determinados supuestos que no están exentos de problemas, como la elección de la forma funcional y las distribuciones de las perturbaciones aleatorias¹.

Si se comparan las ecuaciones 3 y 5 se puede observar la sutileza del asunto en la primera, función de demanda la relación entre las componentes del término de error se suman ($\varepsilon = v + u$), mientras que en la función de producción se restan ($\varepsilon = v - u$).

Resultados alcanzados: Análisis y discusión (puede utilizarse gráficos, tablas, y otros elementos que se considere necesario)

¹ Alternativamente, existen métodos no paramétricos que no necesitan ninguno de estos supuestos para ser estimados. Sin embargo, tampoco están exentos de limitaciones puesto que atribuyen todo el error a la ineficiencia de las unidades productivas y se ven más afectados por valores atípicos.

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

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, se intenta 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 período 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 (miles de toneladas de petróleo equivalente, base 10000 kcal/kg), ktoe (en sus siglas en inglés); los precios nominales de los portadores energéticos por sectores, con el fin de estimar un precio en términos reales, de la energía por año y 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 temperature fueron elaboradas a partir de la clasificación propuesta por Köppen-Geiger, mientras que los datos de área de los países (en km²) fueron obtenidos de la base de datos de la CEPAL (tabla 1).

Tabla 1. Sumario de las estadísticas descriptivas

VARIABLES	OBSERVACIONES	MEDIA	DESVIACIÓN. ESTÁNDAR	MÍNIMO	MÁXIMO
<i>year</i>	1 066	1 990	11,84	1 970	2 010
<i>cfpc</i>	1 066	0,6518	0,9208	0,00968	10,972
<i>cf</i>	1 066	11 103,57	23 799,7	11	170 051
<i>pop</i>	1 066	16 592,4	31 716,4	89	195 498
<i>ypc</i>	1 066	6 814,7	4 242,2	1 331	31 680
<i>y</i>	1 066	123 317	270 799	266	1 800 000
<i>pelec</i>	1 066	95,6	57,95	2,1	518,7
<i>Área</i>	1 066	785 599,8	1 687 651	344	8 500 000
<i>ISH</i>	1 066	0,2	0,114	0,019	1,0
<i>SSH</i>	1 066	0,516	0,206	0,13	1,0
<i>Dtro</i>	1 066	0,731	0,444	0,0	1,0
<i>Dtemp</i>	1 066	0,1923	0,3943	0,0	1,0
<i>Dfrio</i>	1 066	0,07308	0,2666	0,0	1,0

Fuente: elaboración propia

Leyenda:

year: año (de 1970 a 2010).

cfpc: consumo de energía en los consumidores finales, en toneladas equivalentes de petróleo por habitantes (tep/hab).

cf: consumo final de energía en miles de toneladas equivalentes de petróleo (ktep).

pop, 1 000 personas: población media en miles de personas.

ypc: es el producto interno bruto por habitantes, medido en millones de US\$/hab (a PPP constante 2005).

Área: superficie territorial de cada país, medida en (km²).

ISH e *SSH*: fracción de valor agregado y del sector de servicios con respecto al producto interno bruto

(*y*).

pelec: precio real, relativo a la electricidad, donde el año 2000 = 100.

Dtro, *Dtemp*, *Dfrio*: variables cualitativas o dummies, de tipo climáticas (regiones tropicales, templadas

y frías, respectivamente), en la que se sitúan los 26 países de la muestra y que toman valores de 0-1.

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

$$eit = \alpha + \beta_{yyit} + \beta_{ppit} + \beta_{popitpopit} + \delta tDt + \beta_{aAreai} + \beta_{IISHit} + \beta_{SSSHit} + \beta_{troDtroit} + \beta_{temDtempit} + \beta_{frioDfrioit} + vit + \mu it$$

(ec. 1)

$$epcit = \alpha + \beta_{yyicit} + \beta_{ppit} + \delta tDt + \beta_{aAreai} + \beta_{IISHit} + \beta_{SSSHit} + \beta_{troDtroit} + \beta_{temDtempit} + \beta_{frioDfrioit} + vit + \mu it$$

(ec. 2)

Donde *eit* y *epcit* 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 *vit* y se supone que tenga una distribución simétrica y normal (*iid*). Por su parte, *μit* 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, Filippini y Hunt (2010) para 29 países de la OECD.

Tabla 2. Resultado del Modelo de frontera estocástica (SFM) con *dummies* de tiempo

	AGNIER LOVELL SCHMIDT (ALS77)		MEEUSEN AND VAN DER BOECK (MVB77)		EVANS, FILIPPINI Y HUNT (AIGNER ALS77) OECD 1978-2006	
	COEF	PROB	COEF	PROB	COEF	STD DESV
<i>lypc</i>	1,2204	0,000	1,1734	0,000	0,9	38,98
<i>lippc</i>	-0,1715	0,000	-0,1829	0,000	-0,275	-4,77
<i>larea</i>	0,0822	0,000	0,0979	0,000	0,021	3,44
<i>ISH</i>	0,3879	0,000	0,2915	0,019	0,017	9,08
<i>SSH</i>	-0,2055	0,129	-0,1134	0,358	0,029	11,51
<i>dfrio</i>	0,5357	0,000	0,4907	0,000	0,227	12,29
<i>dexpot</i>	0,3041	0,000	0,2559	0,000	-	-
<i>Dummy temporales</i>	Negativas y significativos hasta D20		Negativas y significativos hasta D20		Sí	
<i>cons</i>	-12,237	0,000	-11,556	0,000	-1,916	-6,93
<i>Usigma</i>	-0,5048	0,000	-1,5532	0,000	-	-
<i>Vsigma</i>	-3,5907	0,000	-3,0224	0,000	-	-
<i>Sigma_u</i>	0,7769	0,000	0,4599	0,000	-	-
<i>Sigma_v</i>	0,1661	0,000	0,2206	0,000	-	-
<i>lambda</i>	4,678	0,000	2,085	0,000	2,762	8,71

Fuente: elaboración propia

Leyenda:

lypc: logaritmo natural o neperiano de *ypc*.

lippc: logaritmo del índice de precio de la energía.

larea: logaritmo del área.

dexpot: variable cualitativa o dummies que representa los países netos exportadores de petróleo.

cons: constante.

lambda: expresa la relación entre los errores aleatorios y los errores reales del modelo; identifica el peso que tiene cada error dentro del modelo.

En la Tabla 3, se presentan los resultados de la aplicación de la especificación de Clases Latentes

Tabla 3. Modelo de Frontera Estocástica con Clases Latentes

	LCM 1		LCM 2 (ISH/SSH)		LCM 3 (ISH)		LCM 4 (SSH)	
Grupo 1								
	Coficiente	Prob	Coficiente	Prob	Coficiente	Prob	Coficiente	Prob
Const	1.5066	0.707	1.3726	0.723	1.2356	0.7504	1.4301	0.722
LYPC	1.994	0.000	1.9885	0.000	1.9725	0.000	2.0069	0.000

LPELEC	-0.2002	0.000	-0.1946	0.000	-0.1930	0.000	-0.2029	0.000
ISH	-0.5247	0.0026	-0.4815	0.024	-0.4365	0.0062	-0.5664	0.0012
SSH	0.1786	0.065	0.1747	0.076	0.1959	0.044	0.1530	0.1205
YEAR	-0.0096	0.000	-0.0095	0.000	-0.0094	0.000	-0.0096	0.000
Sigma	0.5691	0.000	0.574	0.000	0.5761	0.000	0.5656	0.000
Lambda	4.1868	0.000	4.304	0.000	4.2985	0.000	4.1185	0.000
Grupo 2								
Const	-64.05	0.000	-64.3898	0.000	-64.786	0.000	-63.2844	0.000
LYPEC	0.8057	0.000	0.7854	0.000	0.7905	0.000	0.8107	0.000
LPELEC	-0.1776	0.000	-0.2314	0.000	-0.2300	0.000	-0.1854	0.000
ISH	2.3364	0.000	2.1393	0.000	2.1532	0.000	2.2932	0.000
SSH	-1.0055	0.000	-0.8901	0.000	-0.9589	0.000	-0.9031	0.000
YEAR	0.0284	0.000	0.0287	0.000	0.0289	0.000	0.0279	0.000
Sigma	0.7171	0.000	0.7249	0.000	0.7183	0.000	0.7243	0.000
Lambda	9.1876	0.000	7.8637	0.000	8.1753	0.000	8.3716	0.000
Clase 1 Prob	0.4173	0.000	0.44821	0.000	0.4684	0.000	0.4027	0.000
Clase 2 Prob	0.5827	0.000	0.55179	0.000	0.5316	0.000	0.5973	0.000

Fuente: elaborado a partir de las corridas de los modelos de frontera estocástica

Los modelos se diferencian por la variable separadora seleccionada. En el modelo LC 1, no se selecciona una variable separadora en particular (default), mientras que en el resto se selecciona alguna variable o dos variables como en el LC 3, como separadoras de cada clase.

En la tabla 4, se presentan los valores de eficiencia obtenidos en cada modelo. Como se observa los valores promedio de la eficiencia subyacente no son muy diferentes, identificándose el ELCM como el valor medio más pequeño.

Tabla 4. Estadísticas descriptivas para los valores de eficiencia de las especificaciones de Clases Latentes

VARIABLES	MEDIA	DESV STD	MINIMO	MAXIMO	OBSERV	MISSING
ELCM 1	0.7297	0.1707	0.21	0.978	1066	0
ELCM 2	0.7236	0.1696	0.227	0.979	1066	0
ELCM 3	0.7277	0.1677	0.223	0.979	1066	0

ELCM 4	0.7299	0.1724	0.217	0.978	1066	0
--------	--------	--------	-------	-------	------	---

Fuente: elaborado a partir de las corridas de los modelos de frontera estocástica

En la Tabla 5, se presentan los coeficientes de correlación entre los valores de eficiencia obtenido en cada especificación y la intensidad energética. Los resultados son los esperados, valores altos y negativos entre eficiencia y energía, lo cual indica que existe una relación alta pero inversa entre la eficiencia y la intensidad, a mayores valores de eficiencia le corresponde menores valores de intensidad (se utiliza menos energía para producir una unidad de servicio energético).

Tabla 5. Correlación eficiencia-intensidad energética

	ELCM 1	ELCK 2	ELCM 3	ELCM 4	INT
ELCM 1	1.000	0.8545	0.9062	0.9159	-0.6363
ELCM 2	0.8545	1.000	0.911	0.8961	-0.6235
ELCM 3	0.9062	0.911	1.000	0.8637	-0.6369
ELCM 4	0.9159	0.8961	0.8637	1.000	-0.6367
INT	-0.636	-0.6235	-0.6369	-0.6367	1.000

Fuente: elaborado a partir de las corridas de los modelos de frontera estocástica

De igual forma los valores menores de correlación se observan en el caso de los valores de ELCM2, tanto en relación con los valores de eficiencia del resto de las especificaciones de clases latentes como con relación a la intensidad energética.

Finalmente, en la Tabla 6, se presentan los estadísticos que permiten seleccionar el número adecuado de clases a incluir en el modelo de frontera estocástica. En este caso todos los modelos tienen dos clases, sin embargo, si nos atenemos a los criterios que se establecen al respecto, el ELCM 3 es el que presenta los menores valores del AIC, mientras que el BIC es ligeramente superior al valor del ELCM 4.

Tabla 6. Test estadísticos para identificar el número óptimo de clases incorporados a los modelos

	ELCM 1	ELCM2	ELCM 3	ELCM 4
INF CRITERION: AIC	1,316	1,592	1,293	1,297
FINITE SAMPLE: AIC	1,317	1,592	1,293	1,297
INF CRITERION: BIC	1,396	1,629	1,381	1,380

Fuente: elaborado a partir de las corridas de los modelos de frontera estocástica

En la Tabla 7, se presentan los países que pertenecen en cada especificación a los grupos definidos.

Tabla 7. Clasificación de los países por Grupos para cada modelo de Clase Latente

	SFM LC 1		SFM LC 3		SFM LC 4	
	CLASE 1	CLASE 2	CLASE 1	CLASE 2	CLASE 1	CLASE 2
ARGENTINA		X	08 al 10	X	08 al 10	X
BARBADOS		X		X		X
BOLIVIA		X		X		X
BRASIL		X		X		X
CHILE		X		X	del 2004 al 2010	X
COLOMBIA	X		X		X	
COSTA RICA		X		X		X
CUBA	X		X		X	1991 al 2004
ECUADOR	X		X		X	hasta 1977
SALVADOR	X	del 98 al 2010	X	08 al 2010	X	
GRENADA		X	93 al 2002	X	93 al 2010	X
GUATEMALA	X		X		X	
GUYUYANA	X		X		X	
HAITI	X		X		X	
HONDURAS		X		X		X
JAMAICA	X		X		X	
MEXICO	hasta el 87	X	2000--al 2010	X	X	
NICARAGUA		X		X		X
PANAMA		X	hasta el 1980	X	X	
PARAGUAY		X		X	hasta 1991	X
PERU	del 2000 al 10	X	del 2000 al 2010	X	desde 97 al 2010	X
REP.DOM	del 2007 al 10	X	del 2006 al 2010	X	2007 hasta 2010	X
SURINAME	X		X		X	
TRINIDAD AND T	X		X		X	
URUGUAY		X	hasta 1991	X	X	
VENEZUELA	X		X		X	

Fuente: elaborado a partir de las corridas de los modelos de frontera estocástica

Como se aprecia en la Tabla 7, hay un total de 11 países que pertenecen definitivamente al Grupo 1 en el modelo de Clases Latente ELCM1, entre ellos esta Cuba; mientras que otros tres pertenecen o pertenecieron hasta determinado año a este Grupo 1 (República Dominicana, Perú y México). En el ELCM 3 se observa una distribución muy similar al del modelo anterior, en este caso, al Grupo 1, además de los vistos en el modelo LCM 1, se incorporaron en algún momento del periodo Uruguay, Panamá, Granada y Argentina. Finalmente, en el LCM 4, la incorporación de México como miembro del Grupo 1, y Chile en el período del 2004 al 2010, es el elemento más distintivo de la distribución de los países. Recordar que los países que pertenecen al Grupo 1, se caracterizan por valores elevados de la elasticidad precio de la demanda de energía, un sector de servicios en expansión (la elasticidad estructura de los servicios en la demanda es positivo), y se puede observar un proceso de cambio tecnológico expresado por el valor negativo de la elasticidad tiempo de la demanda (se considera que esta variable temporal recoge el cambio tecnológico exógeno subyacente en el modelo).

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, Filippini y Hunt (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, Filippini y Hunt (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, Filippini y Hunt (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 eficientes¹².

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,

² 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.

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 una buena aproximación (buen índice “proxy” de la eficiencia) 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 8).

Tabla 8. Coeficiente de correlación intensidad energética (INT) vs eficiencia energética (EEXP) por países y períodos de tiempo

PAÍS	1970 A 1989	1990 A 1997	1998 A 2010	1970 A 2010
Argentina	-0,850	-0,971	-0,715	-0,762
Barbados	-0,426	-0,846	-0,910	-0,655
Bolivia	-0,540	-0,632	-0,869	-0,803
Brasil	0,337	-0,652	-0,156	-0,791
Chile	-0,182	-0,773	-0,831	-0,830
Colombia	-0,876	-0,839	-0,922	-0,876
Costa Rica	-0,927	-0,921	-0,861	-0,887
Cuba	-0,968	-0,966	-0,987	-0,983
Ecuador	-0,933	-0,582	-0,808	-0,914
El Salvador	-0,054	-0,988	-0,909	-0,603
Granada	-0,807	-0,991	-0,861	-0,239
Guatemala	-0,806	-0,976	-0,864	-0,694
Guyana	-0,937	-0,942	-0,754	-0,932
Haití	-0,698	-0,975	-0,963	-0,957
Honduras	-0,771	-0,956	-0,957	-0,919
Jamaica	-0,943	-0,975	-0,931	-0,944
México	-0,392	-0,133	-0,885	-0,751
Nicaragua	-0,845	-0,335	-0,966	-0,802
Panamá	-0,808	-0,987	-0,980	-0,975
Paraguay	-0,948	0,125	-0,999	-0,870
Perú	-0,805	-0,565	0,127	-0,972
Rep. Dominicana	-0,612	-0,920	-0,939	-0,964
Surinam	-0,918	-0,988	-0,857	-0,864
T y T	-0,945	-0,964	-0,345	-0,908
Uruguay	-0,976	-0,979	-0,876	-0,950
Venezuela	-0,877	-0,984	-0,626	-0,504

Fuente: elaborado a partir de las corridas de los modelos de frontera estocástica

En la tabla 9 se resumen los coeficientes de correlación entre eficiencia e intensidad energético por países en los diferentes periodos que abarca el estudio, 1970-2010.

Tabla 9. Coeficiente de correlación intensidad energética (INT) vs eficiencia energética (EEXP) por países y períodos de tiempo

PAÍS	1970 A 1989	1990 A 1997	1998 A 2010	1970 A 2010
Argentina	-0,850	-0,971	-0,715	-0,762
Barbados	-0,426	-0,846	-0,910	-0,655
Bolivia	-0,540	-0,632	-0,869	-0,803
Brasil	0,337	-0,652	-0,156	-0,791
Chile	-0,182	-0,773	-0,831	-0,830
Colombia	-0,876	-0,839	-0,922	-0,876
Costa Rica	-0,927	-0,921	-0,861	-0,887
Cuba	-0,968	-0,966	-0,987	-0,983
Ecuador	-0,933	-0,582	-0,808	-0,914
El Salvador	-0,054	-0,988	-0,909	-0,603
Granada	-0,807	-0,991	-0,861	-0,239
Guatemala	-0,806	-0,976	-0,864	-0,694
Guyana	-0,937	-0,942	-0,754	-0,932
Haití	-0,698	-0,975	-0,963	-0,957
Honduras	-0,771	-0,956	-0,957	-0,919
Jamaica	-0,943	-0,975	-0,931	-0,944
México	-0,392	-0,133	-0,885	-0,751
Nicaragua	-0,845	-0,335	-0,966	-0,802
Panamá	-0,808	-0,987	-0,980	-0,975
Paraguay	-0,948	0,125	-0,999	-0,870
Perú	-0,805	-0,565	0,127	-0,972
Rep. Dominicana	-0,612	-0,920	-0,939	-0,964
Surinam	-0,918	-0,988	-0,857	-0,864
T y T	-0,945	-0,964	-0,345	-0,908
Uruguay	-0,976	-0,979	-0,876	-0,950
Venezuela	-0,877	-0,984	-0,626	-0,504

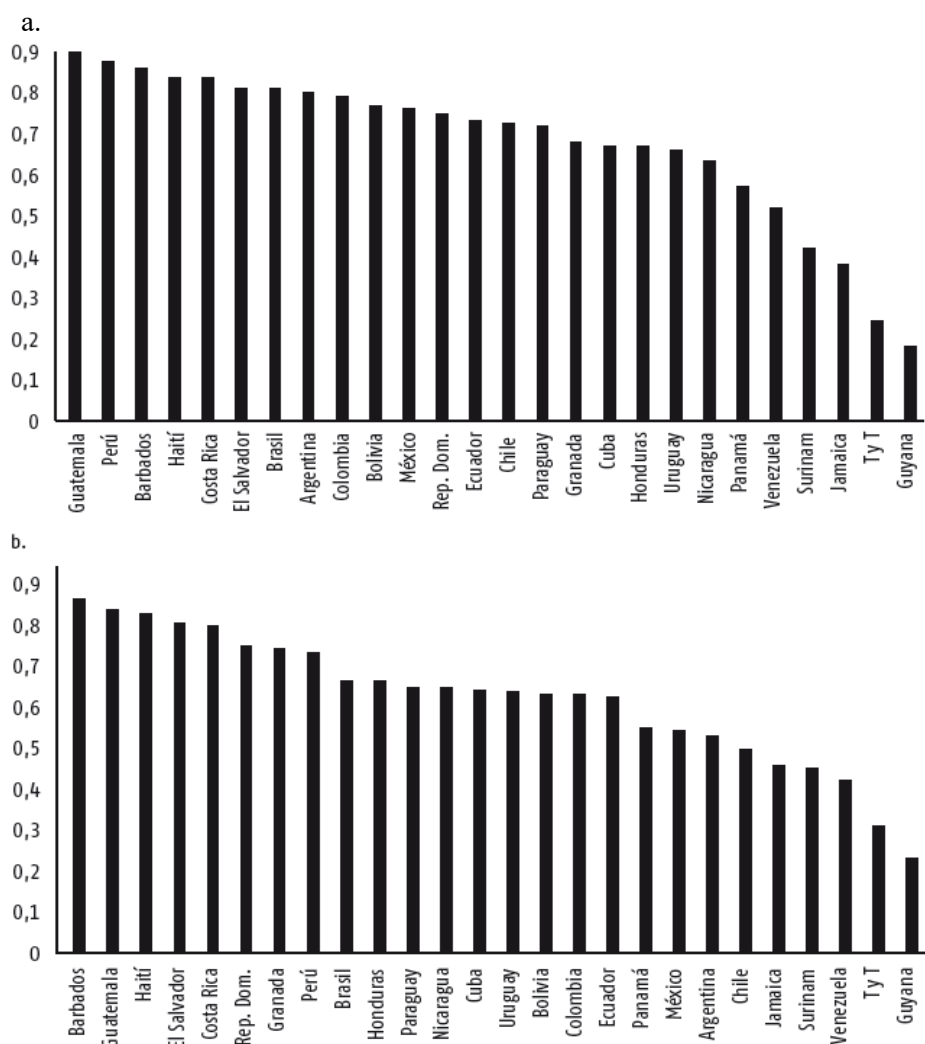
Fuente: elaborado a partir de las corridas de los modelos de frontera estocástica

Son notables los resultados que arrojan e el periodo 1970-89 países como Brasil que muestra correlación positiva entre eficiencia e intensidad energético; Paraguay en el periodo 1990-97 con correlación positiva, y Perú en el periodo 1998-10 también con correlación baja pero positiva. En los tres casos se evidencia que la intensidad energética no es adecuada para describir el proceso de eficiencia energética en esos periodos. Por otra parte México en los periodos correspondientes a 1970-1989 y 1990-1997 mostro coeficientes de correlación si bien negativos, bastante bajos entre la eficiencia y la intensidad.

En las figuras 1 (a. y b.) se presentan los *rankings* de países según la eficiencia estimada por als77; 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 la estimación 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 estimadas están en el rango de 0,9 a 0,2, mientras que en el segundo (figura 1b.), van de 0,83 a 0,22.

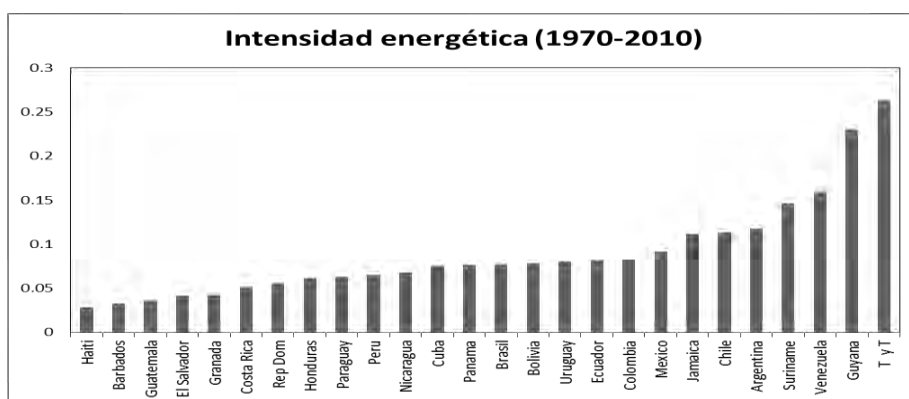
Figura 1. Ranking de la eficiencia energética estimada por modelo de frontera estocástica con distribución de errores ($\mu_{i,t}$) exponencial (a.) y media-normal (b.).



Fuente: resultados de las estimaciones de la eficiencia a partir de las corridas de los modelos de frontera estocástica.

Nota: en el eje de las abscisas se representan los índices de eficiencia estimados

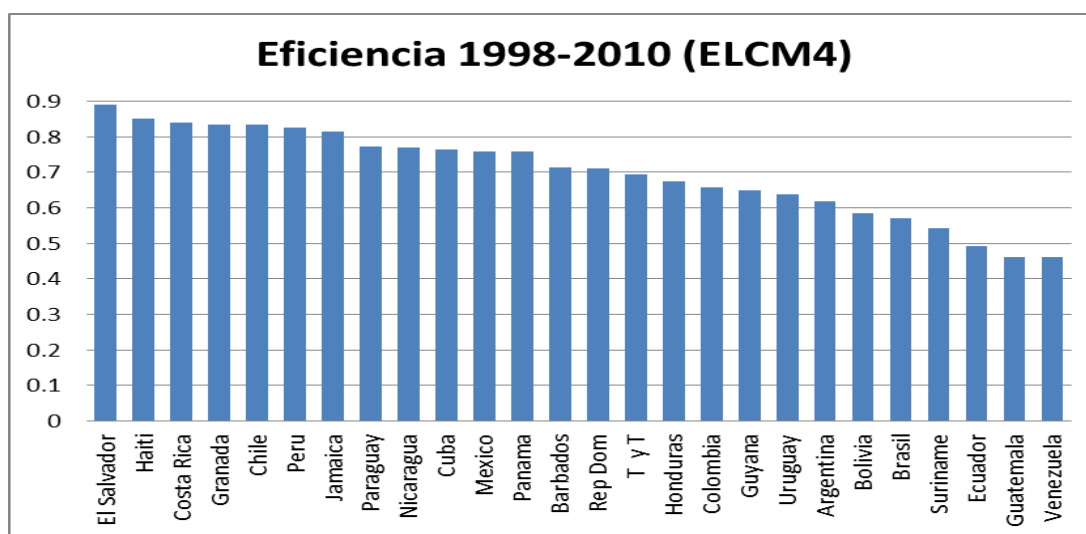
Figura 2. Ranking de Intensidad energética



Fuente: elaborado a partir de las corridas de los modelos de frontera estocástica

Por su parte, en la Figura 3, se presenta el ranking de eficiencia obtenido para el modelo de frontera estocástica con clases latentes (el ELCM4 que tiene como variable separadora la participación de los Servicios en la composición del Producto Interno Bruto (SSH)).

Figura 3. Ranking de eficiencia para modelo de Frontera Estocástica con Clase Latente (variable separadora: SSH)



Fuente: elaborado a partir de las corridas de los modelos de frontera estocástica

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 9).

En la tabla 9, 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.

Tabla 9. Ranking por países en el periodo 1970-2010

RANKING				RANKING			
PAÍSES	EEXP	EALS	INT	PAÍSES	EEXP	EALS	INT
Guatemala	1	2	3	Honduras	18	10	8
Perú	2	8	10	Uruguay	19	14	16
Barbados	3	1	2	Nicaragua	20	12	11
Haití	4	3	1	Panamá	21	18	13
Costa Rica	5	5	6	Venezuela	22	24	24
El Salvador	6	4	4	Surinam	23	23	23
Brasil	7	9	14	Jamaica	24	22	20
Argentina	8	20	22	Ty T	25	25	26
Colombia	9	16	18	Guyana	26	26	25
Bolivia	10	15	15	Paraguay	15	11	9
México	11	19	19	Granada	16	7	5
República Dominicana	12	6	7	Cuba	17	13	12
Ecuador	13	17	17	Honduras	18	10	8

RANKING				RANKING			
PAÍSES	EEXP	EALS	INT	PAÍSES	EEXP	EALS	INT
Chile	14	21	21	Uruguay	19	14	16
Paraguay	15	11	9	Nicaragua	20	12	11
Granada	16	7	5	Panamá	21	18	13
Cuba	17	13	12	Venezuela	22	24	24

Fuente: elaborado a partir de las corridas de los modelos de frontera estocástica

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 seis 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 global³.

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

³ 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.

(adopción de un nuevo acuerdo global vinculante de reducción de emisiones de GEI, aplicable a todos los países), por lo que se deberían tomar previsiones 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)⁴.

En la tabla 10, se presentan los resultados de la estimación de los potenciales de ahorro energético y reducción de emisiones de CO₂ en el decenio 2000-2010⁵.

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.

Tabla 10. Potencial de ahorro de energía y mitigación de emisiones de CO₂, periodo 2000-2010.

PAÍS	2000-2010						
	CONSUMO CF (MILES TOE)	CO ₂ (MILES T CO ₂)	Δ=CO ₂ /ET	CONSUMO IDEAL (MILES DE TOE)	EMISIONES IDEAL (MILLONES DE T CO ₂)	AHORRO ENERGÉTICO	AHORRO DE EMISIONES
Argentina	45 221	140 321	3,103	26 613	82 732	18 607	57 590
Barbados	249	1 202	4,830	202	973	47	229
Bolivia	2 886	10 606	3,675	1 590	5 883	1 296	4 723
Brasil	14 0 460	336 116	2,393	79 163	189 353	61 297	146 763
Chile	17 708	61 044	3,447	8 924	30 762	8 784	30 282
	2000-2010						

⁴ 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.

⁵ 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».

PAÍS	CONSUMO CF (MILES TOE)	CO ₂ (MILES T CO ₂)	$\lambda = \text{CO}_2/\text{ET}$	CONSUMO IDEAL (MILES DE TOE)	EMISIONES IDEAL (MILLONES DE T CO ₂)	AHORRO ENERGÉTICO	AHORRO DE EMISIONES
Colombia	19 410	58 252	3,001	12 285	36 909	7 125	21 342
Costa Rica	2 574	6 630	2,576	1 967	5 069	607	1 561
Cuba	5 892	25 503	4,328	4 260	18 810	1 633	6 693
Ecuador	7 636	26 021	3,408	3 452	11 743	4 184	14 278
El Salvador	2 003	6 482	3,236	1 512	4 905	490	1 578
Granada	61	237	3,896	44	173	17	65
Guatemala	3 307	11 722	3,545	2 638	9 351	669	2 371
Guyana	449	1 593	3,544	115	408	335	1 184
Haití	623	1 986	3,190	415	1 325	208	662
Honduras	1 907	6 679	3,503	1 131	3 960	776	2 719
Jamaica	2 693	10 789	4,006	1 124	4 604	1 569	6 185
México	99 715	404 163	4,053	60 485	245 100	39 230	159 062
Nicaragua	967	4 039	4,175	552	2 303	416	1 737
Panamá	2 326	7 011	3,015	1 202	3 650	1 123	3 360
Paraguay	1 742	4 045	2,322	995	2 307	746	1 737
Perú	9 824	30 852	3,140	7 109	22 368	2 716	8 484
Rep. Dom.	4 375	18 601	4,251	3 258	13 860	1 118	4 741
Surinam	581	2 432	4,187	297	1 235	284	1 196
Ty T	10 519	28 569	2,716	2 014	5 474	8 505	23 095
Uruguay	2 072	5 553	2,681	1 362	3 673	710	1 880
Venezuela	41 635	152 460	3,662	14 940	54 833	26 695	97 627
Total Promedio	16 417	52 420	3,457	9 140	29 299	7 276	23 121

Fuente: elaboración propia

Leyenda

Los indicadores utilizados se definen como se presenta a continuación:

CF (Miles toe): consumo final observado promedio en el periodo 2000-2010 por países.

CO₂ (Miles t CO₂): emisiones observadas de CO₂ promedio en el periodo 2000-2010 por países.

Coefficiente de emisión de CO₂ (λ_i): $\lambda_i = \text{CO}_{2i} / \text{CF}_i$ donde $i = 1$ a 26 países.

Consumo Ideal (Miles de toe): $\text{CF}^*_i = \text{CF}_i \times \text{Efi}$ donde Efi es la eficiencia energética subyacente promedio

entre 2000-2010 estimada por países.

Emisiones Ideales de CO₂*_i (son las emisiones correspondientes al consumo de energía «ideal»):

$\text{CO}_2^*_i = \lambda_i \times \text{E}^*_i$.

Energía ahorrada: $\text{Esave}_i = \text{E}_i - \text{E}^*_i$, es la diferencia entre el CF observado y el «ideal».

Emisiones de CO₂ evitadas: $\text{CO}_2 \text{ save}_i = \text{CO}_{2i} - \text{CO}_2^*_i$, es la diferencia entre las emisiones de CO₂ observadas y las emisiones correspondientes al consumo de energía «ideal».

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 ex comunistas 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 Kioto 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 internacionales⁶.

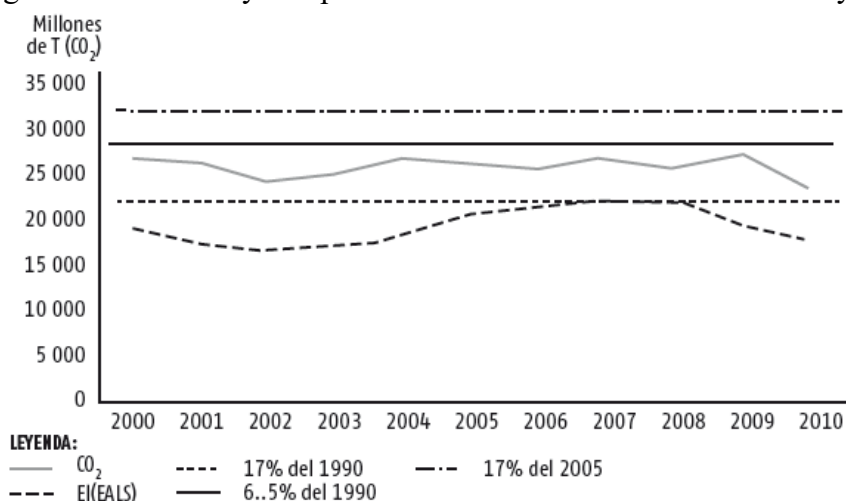
De las figuras presentadas en el anexo 1, puede observarse que las emisiones, que pudieran reducirse si cada economía estuviera funcionando sobre la frontera de eficiencia energética, apenas serían suficientes para lograr las metas de su reducción de tomarse el año 1990 como referencia. Por ejemplo,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

⁶ 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.

Figura 3. Emisiones y compromisos tomando como año base 1990 y 2005 en Cuba



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

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.

LA MEDICIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL SECTOR TRANSPORTE DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

Datos y especificación econométrica

Se muestran los resultados de las estimaciones de los modelos ALS y LCSFM presentados anteriormente. Para ello se ha empleado un panel de datos incompleto, para el periodo 1990-2010, de los siguientes 24 países de América Latina y el Caribe: Argentina, Barbados, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Granada, Guatemala, Guyana, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana, Surinam, Trinidad y Tobago, Uruguay y Venezuela.⁷ La especificación econométrica de nuestro modelo básico (ALS), es la siguiente:

$$\ln Q_{it} = \alpha + \beta_Y \ln Y_{it} + \beta_{POP} \ln POP_{it} + \beta_P \ln P_{it} + \beta_{ST} ST_{it} + \beta_{DEN} \ln DEN_{it} + \beta_t t + \frac{1}{2} \beta_{tt} t^2 + v_{it} + u_{it} \quad (5)$$

donde Q , Y , P , v , u y β se definen como en las ecuaciones anteriores. De forma análoga a Filippini y Hunt (2011, 2012) se incluyen otras variables explicativas de control como son POP , que representa la población; ST , que es la aportación del sector transporte a la economía; DEN , la densidad de población; y t , la tendencia temporal que también es introducida al cuadrado.⁸

En la [Tabla 1](#) se muestran los estadísticos descriptivos de estas variables. Cabe destacar que la variable dependiente, Q , representa el consumo final de energía del sector transporte expresado en miles de toneladas equivalentes de petróleo (tep) y se obtiene al agregar el total del consumo energético en el transporte interior de cada país tanto de viajeros como de mercancías.⁹ Los tipos de energía que incluye este agregado son: gas natural, gas licuado, electricidad, gasolina, queroseno (jet fuel), *diesel oil* y *fuel oil*. Por otra parte, Y , es el PIB de cada país y está medido en millones de dólares de USA de

⁷ La muestra está formada por un total de 503 observaciones. Falta la observación de Barbados para el año 2010 debido a la no disponibilidad de este dato. De los 27 países miembros de OLADE, no se incluye Belice y Haití por falta de información. Cuba tampoco se incluye en la muestra ya que la incorporación de este país en el análisis, no permite la convergencia de las estimaciones en algunos modelos al no cumplirse la propiedad de convexidad de la función estimada, mientras que en otros, los valores obtenidos de la eficiencia son prácticamente cero. Estos resultados han hecho que las observaciones de este país sean consideradas *outliers* y por tanto excluidas de la muestra.

⁸ En nuestro trabajo no se incluyen sin embargo variables meteorológicas ya que al tratarse de una demanda de energía en el sector transporte no resultan variables tan relevantes como en la modelización de una demanda de energía total o del sector residencial de un país. En cualquier caso, posibles diferencias meteorológicas persistentes estarían controladas en el modelo clases latentes, que como hemos comentado permite precisamente tratar la heterogeneidad inobservable.

⁹ El transporte interior incluye la aviación doméstica, la navegación doméstica, carretera y ferrocarril, y excluye por tanto los tráficos marítimos y aéreos internacionales.

2005 en Paridad de Poder Adquisitivo (PPP). En los análisis internacionales resulta imprescindible utilizar este tipo de cambio para comparar adecuadamente los PIB entre países. *POP* es la población media de cada nación medida en miles de habitantes. *P* es un índice del precio de la energía en el sector transporte calculado como la suma ponderada de los precios medios de los tipos de energía utilizados en el sector. Debido a que ningún índice compuesto de precios es proporcionado por OLADE u otros organismos internacionales de energía para los países de América Latina y el Caribe, se ha elaborado un índice de precios multilateral transitivo que permite comparaciones consistentes entre países a lo largo del período de la muestra (Ver Apéndice). *ST* es el ratio del Valor Añadido Bruto (VAB) en transporte y el VAB total de cada economía expresada en porcentaje. Por último, *DEN* refleja el cociente entre la población en miles de habitantes y la extensión de cada país en km². Esta variable y la renta per cápita (*Y/POP*) son incluidas también en el modelo LCSFM dentro de las probabilidades de pertenencia a las clases para ayudar a la segmentación de la muestra.¹⁰ Respecto a las fuentes de obtención de los datos, en el caso de las variables *Q*, *P* y *POP*, esta información proviene del Sistema de Información Económico-Energética de OLADE. En el caso de *ST* y *DEN*, la información se ha obtenido de CEPAL, mientras que para *Y* se han utilizado los datos contenidos en la PENN World Table (PWT 7.1) presentada por Heston *et al.* (2012).

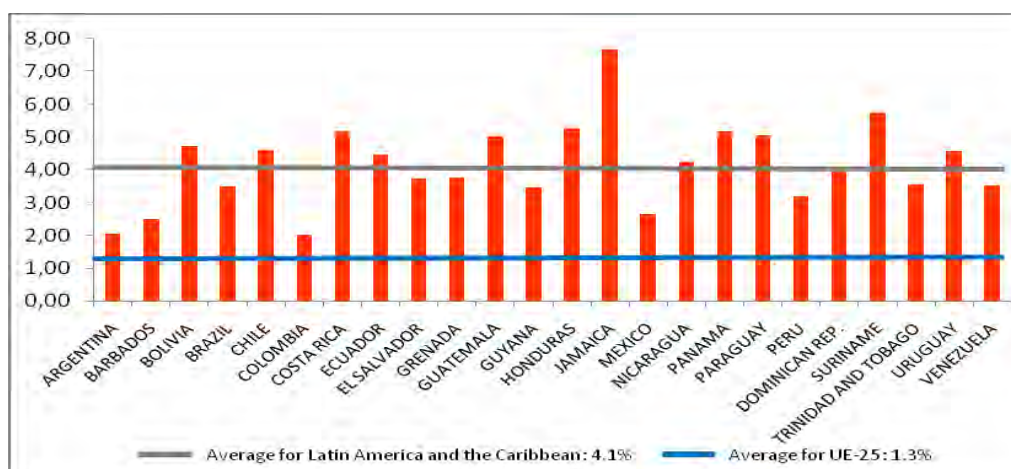
Tabla 1. Estadísticas descriptivas

<i>Variable</i>	<i>Unidades</i>	<i>Media</i>	<i>Desv. Est.</i>	<i>Max.</i>	<i>Min.</i>
Y	Dólares USA (2005)	164,968	339,168	1,800,000	713
POP	Miles de hab.	20,517	38,114	195,498	91
P	Índice	174.56	108.64	850.66	3.76
ST	%	4.02	1.59	12.74	1.07
DEN	Miles de hab. / km ²	0.10	0.14	0.63	0.00

Si prestamos particular atención a la cantidad y al precio de la energía consumida, variables más relevantes en un análisis de demanda junto con la renta, se observan diferencias destacables entre países. En la [Figura 6](#) puede apreciarse que el consumo de energía en transporte para América Latina y el Caribe ha experimentado un importante dinamismo durante el periodo analizado, siendo su crecimiento promedio anual del 4.1%, más del doble del experimentado por la UE-25 (1.3%) para el mismo período. No obstante, las tasas de crecimiento han sido bastante dispares entre países, destacando por encima de la media Jamaica y Surinam, mientras que los crecimientos más reducidos se han registrado en Argentina y Colombia.

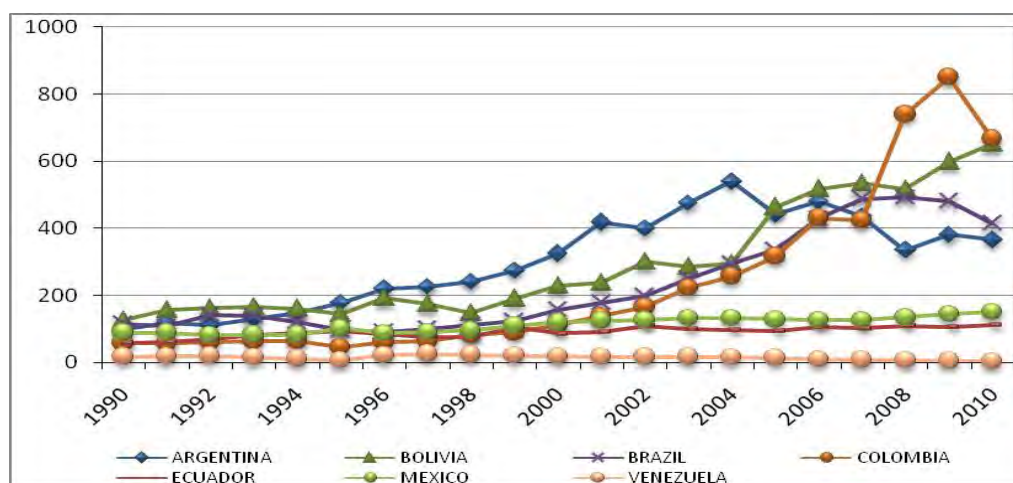
¹⁰ La carencia de información homogénea o de suficiente dimensión temporal sobre las infraestructuras de transporte, el parque de vehículos, las distancias recorridas por los mismos o los indicadores de tráfico de mercancías y viajeros, ha impedido la inclusión de este tipo de variables en las demandas estimadas.

Figura 6. Tasa de crecimiento medio anual del consumo de energía en transporte para América Latina y el Caribe, 1990-2010 (en porcentaje)



Por otra parte, en la [Figura 7](#) se representa la evolución temporal de nuestro índice de precios para el grupo de países entre los que existe mayor diferencia en el año 2010. Cabe resaltar que durante los años analizados, Venezuela mantiene de forma persistente los precios más reducidos. Asimismo, destaca el bajo coste de la energía en Ecuador y México. Por el contrario, los precios más elevados se observan en Colombia, Bolivia, Brasil y Argentina. Además, puede apreciarse que el índice de precios utilizado en este trabajo no impone que el valor del mismo sea igual para todos los países en un año base, lo que sucede cuando se utilizan habitualmente índices como Laspeyres o Paasche. Como se comenta en el Apéndice, esto facilita un mejor ajuste de la función de demanda de energía estimada.

Figura 7. Índice de precios multilateral transitivo de la energía en el sector transporte para América Latina y el Caribe, 1990-2010



Estimaciones y resultados

La [Tabla 2](#) muestra los resultados de la estimación del modelo básico ALS. Como se ha comentado anteriormente este modelo asume la existencia de una única demanda y por tanto no permite obtener elasticidades diferentes para los distintos países de la muestra. Todas las variables incluidas en los modelos son estadísticamente significativas al 99% (excepto la tendencia temporal al cuadrado) y tienen los signos esperados. Los valores de la elasticidades renta y precio que se obtienen son 0.81 y -0.23, respectivamente. Estas elasticidades se encuentran dentro de los rangos de valores obtenidos en los trabajos de demandas de energía en transporte señalados en la Sección 2. El coeficiente de la variable población presenta signo positivo, lo que indica, como es de esperar, que un aumento de la población, *ceteris paribus* el resto de variables, supone un aumento de la demanda de energía. Similar interpretación puede hacerse de la participación del sector transporte en la economía, que puede ser entendida como una *proxy* del grado de desarrollo del transporte y se espera por tanto que un mayor peso del sector redunde en un mayor bienestar de la sociedad que se alcanza a través de un mayor consumo de energía. La densidad presenta sin embargo signo negativo, indicando también que, como se espera a priori, aquellos países más densamente poblados, *ceteris paribus* el resto de variables, van a tener una menor demanda de energía de transporte debido a que las distancias promedio recorridas por empresas e individuos serán menores. El signo positivo de la tendencia nos muestra que el consumo de energía se ha visto incrementado a lo largo del período de la muestra (cómo hemos visto en la [Figura 2](#)) una vez que hemos controlado por el resto de variables incluidas en la estimación, lo que puede indicar la existencia de regreso técnico en el sector.¹¹ El valor medio de la eficiencia que se obtiene es 87.4%, observándose no obstante una gran variabilidad entre observaciones, siendo los valores mínimo y máximo encontrados 66.2% y 94.7%.¹²

¹¹ Este modelo se ha estimado alternativamente incluyendo un conjunto de *dummies* temporales que permiten capturar una evolución no lineal en el consumo de energía. No obstante se ha preferido la inclusión de una tendencia temporal y su cuadrado, ya que permite la estimación de un modelo de clases latentes y ello sin renunciar a incluir el efecto del tiempo en el modelo.

¹² La sugerencia por parte de un comentarista de que la ineficiencia en nuestro modelo tal vez recogiese un comportamiento que fuera consecuencia de los bajos precios de la energía en determinados países nos llevó a la estimación de un modelo heterocedástico del estilo de los propuestos por [Reifschneider y Stevenson \(1991\)](#), [Caudill y Ford \(1993\)](#) y [Caudill, Ford y Gropper \(1995\)](#). Los coeficientes estimados con un modelo de este tipo para las variables de la frontera, son prácticamente idénticos a los que se obtienen en el modelo ALS y el precio no resulta estadísticamente significativo en la ineficiencia. Los valores de las eficiencias que se obtienen con este modelo heterocedástico son también muy similares a los que se obtienen con el modelo ALS, observándose una correlación del 96% entre ambas medidas.

Tabla 2. Modelo básico de demanda frontera

Modelo ALS			
<i>Variable</i>	<i>Coef.</i>		<i>t-ratio</i>
Constante	7.098	***	405.450
ln (Y)	0.810	***	39.720
ln (POP)	0.182	***	8.834
ln (P)	-0.229	***	-15.138
ST	0.047	***	7.103
ln (DEN)	-0.096	***	-12.031
t	0.013	***	6.960
½ t ²	-0.001		-1.537
$\sigma = (\sigma_v^2 + \sigma_u^2)^{(1/2)}$	0.257	***	590.578
$\lambda = \sigma_u / \sigma_v$	0.886	***	7.411
σ_v	0.192		
σ_u	0.170		
Log LF	52.689		

En la [Tabla 3](#) se muestran los resultados de los modelos LCSFM de dos y tres clases¹³ que incluyen variables separadoras en las probabilidades de pertenencia a las clases. Si nos fijamos en las probabilidades a priori del modelo de dos clases, las variables separadores que se incluyen (renta per cápita y densidad) no son estadísticamente significativas por lo que este modelo es equivalente a uno en el cual no se incluye ningún tipo de variable separadora. Sin embargo, estas variables sí resultan significativas en el modelo de tres clases indicando por su signo y magnitud que aquellos países con mayor renta per cápita y menor densidad de población tenderán a ser asignados principalmente a la clase 1 y en menor medida a la clase 2.

¹³ Las estimaciones de modelos con un mayor número de clases no han convergido.

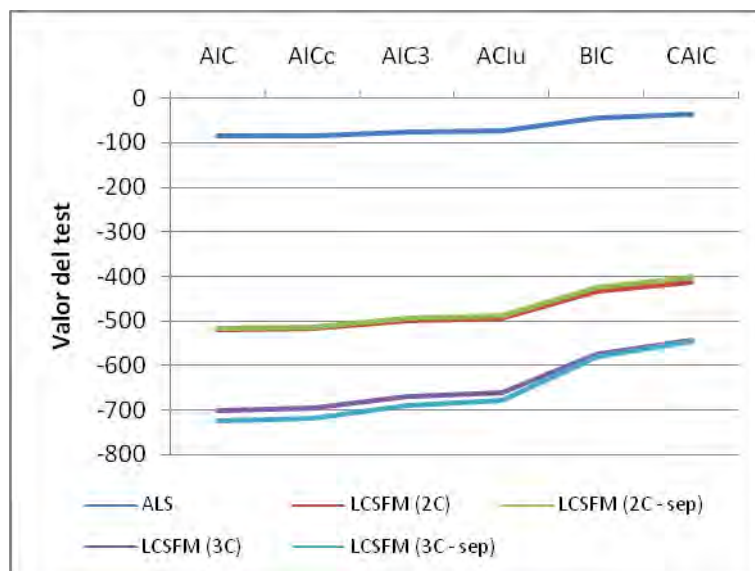
Tabla 3. Demandas frontera con clases latentes incluyendo variables separadoras

Variable	LCSFM con dos clases						LCSFM con tres clases					
	Clase 1		Clase 2		Clase 1		Clase 2		Clase 3			
	Coef.	t-ratio	Coef.	t-ratio	Coef.	t-ratio	Coef.	t-ratio	Coef.	t-ratio		
Constante	7.180 ***	271.915	6.903 ***	371.389	7.367 ***	195.898	7.091 ***	192.733	6.894 ***	522.491		
ln (Y)	0.784 ***	24.069	0.637 ***	35.489	0.566 ***	22.754	0.179 ***	3.687	0.649 ***	35.921		
ln (POP)	0.188 ***	5.491	0.280 ***	17.498	0.431 ***	16.176	0.742 ***	16.154	0.247 ***	11.754		
ln (P)	-0.188 ***	-17.045	-0.175 ***	-5.417	-0.161 ***	-13.869	-0.288 ***	-13.057	-0.407 ***	-10.379		
ST	0.094 ***	8.745	0.037 ***	7.048	0.044 ***	4.966	0.002	0.307	-0.008	-0.811		
ln (DEN)	-0.067 ***	-5.137	-0.046 ***	-6.349	0.007	0.714	0.125 ***	6.868	-0.030 ***	-4.016		
t	0.006 ***	2.774	0.016 ***	8.642	0.009 ***	4.985	0.042 ***	16.986	0.030 ***	12.527		
½ t ²	0.000	0.426	-0.003 ***	-5.835	0.000	-0.505	0.003 ***	5.718	-0.001 ***	-2.720		
$\sigma = (\sigma_v^2 + \sigma_u^2)^{(1/2)}$	0.246 ***	12.009	0.171 ***	11.022	0.166 ***	7.336	0.112 ***	5.391	0.135 ***	12.703		
$\lambda = \sigma_u / \sigma_v$	2.961 ***	2.974	2.320 ***	3.147	1.003 *	1.932	0.999	1.401	3.040 ***	3.937		
σ_v	0.079		0.068		0.117		0.079		0.042			
σ_u	0.233		0.157		0.118		0.079		0.128			
<i>Probabilidad de pertenencia a clase</i>												
Constante	0.236	0.507	-	-	-	1.036	1.237	0.736	0.870	-	-	-
ln (Y/POP)	0.639	0.674	-	-	-	4.293 **	2.250	3.082 *	1.770	-	-	-
ln (DEN)	-0.543	-1.397	-	-	-	-2.090 **	-2.485	-1.005	-1.387	-	-	-

Prior Prob.	0.559	0.441	0.477	0.354	0.169
Log LF	281.782			398.356	

En la **Figura 8** se muestran los distintos criterios de información estadística que utilizamos como pruebas de selección para elegir nuestro modelo preferido: los tradiciones AIC y BIC y algunas variantes, el AIC modificado (AIC3), el AIC corregido (AICC), el AICU y el AIC consistente (CAIC), que puede ser considerado una variación del AIC y del BIC.¹⁴ Como se comentó en la sección anterior todos estos criterios se basan en el valor de la función de verosimilitud que se obtiene al estimar cada modelo y únicamente se diferencian en que penalizan con distintas ponderaciones el incremento en el número de parámetros estimados en cada modelo, debiendo elegirse en todo caso aquel modelo para el que estos criterios presentan un menor valor. Todos los criterios que se presentan muestran una mejora en el ajuste del modelo cuando la heterogeneidad inobservable es tratada a través de un enfoque de clases latentes. Aunque se observa una gran mejoría cuando se pasa del modelo ALS al modelo LCSFM con dos clases (todos los criterios presentan un menor valor), se puede apreciar claramente que esta heterogeneidad es capturada aún mejor por un modelo de tres clases. Debe mencionarse que para el caso de los modelos LCSFM se muestran además los valores de los criterios cuando se estiman estos modelos sin incluir variables separadoras, aunque los parámetros estimados no son mostrados en el artículo. Mientras que en el modelo de dos clases no se aprecia una mejoría del mismo al incluir variables separadoras, en el de tres clases sí que tienen influencia estas variables y es precisamente este modelo el que mejor se ajusta a las características de nuestros datos y el que consideraremos por tanto como preferido.

Figura 8. Tests de selección de modelos



¹⁴ Más detalles sobre estos criterios pueden verse en [Fonseca y Cardoso \(2007\)](#).

Si nos fijamos de nuevo en la [Tabla 3](#), en estos modelos la mayoría de las variables siguen siendo significativas y presentan los signos esperados, al igual que en el modelo ALS. Si nos centramos en el modelo preferido de tres clases, se aprecian diferencias pronunciadas entre las mismas para la mayor parte de variables. Por ejemplo, el coeficiente de la variable población varía entre 0.247 y 0.742, la participación del sector transporte en la sociedad es únicamente significativa para la clase 1, la densidad de población afecta positivamente¹⁵ al consumo energético en el grupo 2 y negativamente en el grupo 1, y mientras que en todas las clases la tendencia es positiva, este incremento se produce de forma creciente en la clase 2 y de forma decreciente en la clase 3 de acuerdo al signo del término cuadrático en ambos casos.

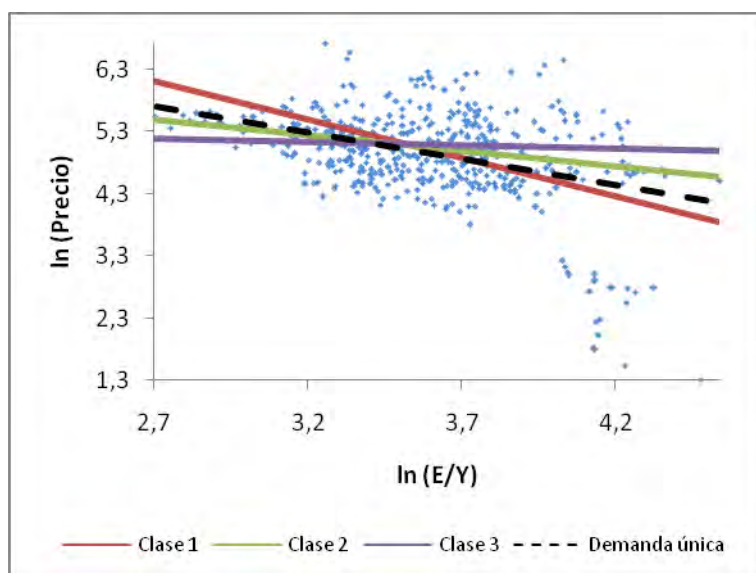
Las variables más relevantes en un análisis de demanda son la renta y el precio. Como se ha comentado el modelo de clases latentes nos permite identificar tres clases en las que estas elasticidades son claramente distintas. Puede observarse que la demanda más inelástica respecto a la renta es la clase 2 (0.179), luego la clase 1 (0.566) y finalmente la clase más elástica es la 3 (0.649). Por otra parte las diferencias en las elasticidades precio de la demanda pueden incluso apreciarse a simple vista si representamos los datos de la muestra sin hacer ningún tipo de estimación y únicamente utilizando la partición de la muestra generada por nuestro modelo preferido de tres clases, como se hace en la [Figura 9](#).¹⁶ En este gráfico puede verse que la demanda de la clase 1 es la de mayor pendiente y se corresponde con el grupo de menor elasticidad (-0.161) en las estimaciones. En este grupo se encuentran Argentina, Brasil, Chile, Ecuador, Guyana, México, Paraguay, Surinam, Trinidad y Tobago y Venezuela. La demanda de la clase 2 se corresponde con el grupo de elasticidad intermedia (-0.288) y comprende a Barbados, Bolivia, Colombia, Costa Rica, Jamaica y Panamá. Finalmente, la clase 3, la de menor pendiente en el gráfico, es la más elástica en las estimaciones (-0.407) e incluye a El Salvador, Granada, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Perú, República Dominicana y Uruguay. En esta figura se representa también la demanda única que se obtendría si no tenemos en cuenta la heterogeneidad entre países, obteniéndose una demanda sesgada con un grado de pendiente intermedio entre la clase 2 y la clase 1 que se correspondería con el valor de la elasticidad precio que se obtiene en el modelo ALS (-0.229).

¹⁵ Previamente se ha comentado que se espera un coeficiente negativo en *DEN* debido a que en esencia esta variable recoge el efecto de un mayor consumo energético cuanto mayor es el área de un país dada su población. Sin embargo el coeficiente de esta variable resulta positivo en la clase 2 del modelo de clases latentes. Este resultado no invalida la intuición que se tiene sobre esta variable, ya que este ratio simplemente recoge población entre área y no si esta población está repartida de forma homogénea por el territorio o su grado de urbanización, circunstancia que puede estar condicionando este resultado para esta clase.

¹⁶ En esta Figura se representa el precio frente a la energía dividida por la renta. Esta consideración permite “relativizar” el peso de la renta y aislar en cierta medida el efecto del precio sobre la demanda, que es lo que se quiere representar. Por otra parte se toman logaritmos en las unidades de ambos ejes para reducir la escala de las medidas y facilitar su representación.

Las eficiencias medias que se obtienen en cada clase están en torno al 95% y el valor mínimo supera en todo caso el 80%, lo que nos indica que ahora los grupos que se obtienen son más homogéneos que cuando se estimaba una única demanda. Estos resultados reflejan que los países más eficientes podría aún reducir su consumo energético hasta en un 5%, mientras que para los más ineficientes este margen se eleva hasta un 20%. La estimación de este modelo de clases latentes nos permite identificar cuáles son en cada clase los países más eficientes (en promedio para el período considerado) y por tanto el resto de países de cada grupo, dadas sus similares características, debería tratar de imitar en lo posible las políticas energéticas de estos países de referencia. En el caso de la clase 1, los dos países con mayores eficiencias energéticas son Brasil y México, para la clase 2 lo son Barbados y Colombia, mientras que para la clase 3 las referencias son El Salvador y Guatemala.¹⁷

Figura 9. Demandas lineales obtenidas a partir de los valores observados



Como se comentó en la sección introductoria, habitualmente se utilizan indicadores energéticos para tratar de medir la eficiencia energética en los países. El más utilizado

¹⁷ Los países que obtenemos como referencia dentro de cada una de las demandas, parecen corresponderse con aquellos países que según CEPAL (2010) han adoptado distintas iniciativas para la mejora del transporte público en sus ciudades. En este informe, se destaca el sistema de Tránsito Rápido de Buses (TRB) implementado en Curitiba (Brasil) desde 1972 como parte de una política general de planificación urbana. También se destaca el sistema de TRB TransMilenio desarrollado desde el año 2000 en Bogotá (Colombia), cuyas innovaciones lo han convertido en el más sólido de los TRB del mundo y ha llevado a desarrollar un plan de extensión de este sistema a otras siete ciudades colombianas. En México D.F. (México) también se ha puesto en práctica un sistema de TRB, denominado Metrobús, concebido como un complemento de la extensa red de metro de la ciudad. En Ciudad de Guatemala (Guatemala) también comenzó a desarrollarse a finales de 2009 un sistema transurbano que busca mejorar la eficiencia y reducir los índices de contaminación del sector del transporte en la ciudad.

es el indicador de intensidad energética en el que se divide el consumo de energía entre el PIB del país. En la **Tabla 4** se muestra el valor de este indicador calculado para el sector transporte de cada país y se presenta un ranking de “intensidad energética”. Aquellos países con un menor ratio de energía consumida en transporte y PIB, son identificados según este indicador como países energéticamente más eficientes. Por otra parte, en la tabla también se muestran las eficiencias medias obtenidas para cada país a través de una demanda frontera como la estimada.¹⁸ Si nos fijamos en los coeficientes de correlación de ambas medidas para cada país, vemos que en algunos casos como en República Dominicana (-0.982) y Trinidad y Tobago (-0.986) son muy elevados y negativos, indicando como suponíamos que una mejora en la eficiencia energética debería ir asociada a una caída en la medida de intensidad energética. Aunque en término medio la correlación de estas medidas es elevada, existen algunos países para los cuales esta correlación es baja (como por ejemplo Brasil y Colombia) e incluso para dos de ellos esta correlación es positiva (Chile y Venezuela) indicando que en este caso, la evolución de los indicadores de intensidad energética ha ido asociada a otras circunstancias al margen de la eficiencia energética. A través del coeficiente de correlación de Spearman se puede observar también que aunque los rankings que se obtienen aplicando alternativamente el criterio de intensidad energética y la eficiencia de un modelo de demanda energética pueden diferir (por ejemplo Barbados y Trinidad y Tobago caen 10 posiciones mientras que Panamá pasa del puesto 15 al 3 al estimar un modelo frontera), en término medio estos rankings son similares ya que se observa una correlación entre ambos de aproximadamente un 70%. En resumen estos resultados parecen confirmar que las medidas de eficiencia que se derivan de la estimación de modelos de demandas frontera son más apropiadas que las proporcionadas por indicadores de intensidad energética.

Tabla 4. Ranking de países utilizando intensidad energética y eficiencia energética

<i>País</i>	Indicador (Energ./PIB)		Demanda frontera		<i>Corr. (IE Vs Ef.)</i>
	<i>Int. Energ.</i>	<i>Ranking</i>	<i>Eficiencia</i>	<i>Ranking</i>	
Argentina	0.037	14	0.845	19	-0.897
Barbados	0.019	1	0.885	11	-0.938
Bolivia	0.042	19	0.869	15	-0.883
Brasil	0.034	12	0.872	14	-0.241
Chile	0.044	20	0.844	20	0.161
Colombia	0.032	8	0.896	7	-0.061
Costa Rica	0.032	9	0.875	13	-0.720
Ecuador	0.055	22	0.828	22	-0.962

¹⁸ Para que la comparación con los rankings que se obtienen a partir de la intensidad energética tenga sentido, los valores de eficiencia que se muestran en esta tabla se obtienen con el modelo ALS, ya que éste es único modelo de los estimados que asume la existencia de una única frontera.

El Salvador	0.026	5	0.902	5	-0.931
Granada	0.029	7	0.877	12	-0.807
Guatemala	0.024	2	0.910	4	-0.952
Guyana	0.066	24	0.846	18	-0.956
Honduras	0.033	10	0.890	9	-0.925
Jamaica	0.038	16	0.813	24	-0.914
México	0.040	18	0.861	17	-0.814
Nicaragua	0.040	17	0.888	10	-0.946
Panamá	0.037	15	0.914	3	-0.893
Paraguay	0.054	21	0.815	23	-0.951
Perú	0.025	3	0.933	1	-0.763
Rep. Dominicana	0.026	4	0.898	6	-0.982
Surinam	0.035	13	0.891	8	-0.906
Trinidad y Tobago	0.033	11	0.834	21	-0.986
Uruguay	0.028	6	0.924	2	-0.706
Venezuela	0.062	23	0.868	16	0.153
<i>Coefficiente de correlación de Spearman entre ambos rankings</i>					0.701

EFICIENCIA ELÉCTRICA DEL SECTOR RESIDENCIAL EN CUBA Y SU CONTRIBUCIÓN A LA MITIGACIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO

En Cuba, según el Inventario de Emisiones y Remociones de GEI del 2010, el 76% de las emisiones de GEI le corresponden al Sector Energía, de los que el 48% corresponden a las emisiones provenientes de la generación de electricidad (Carrillo, 2015).

En el 2013, un poco más de la mitad de la energía disponible en las redes eléctricas fue consumida por el sector de los hogares, por lo que las acciones enfocadas al ahorro y uso racional de la energía para este sector revisten una notable importancia tanto desde el punto de vista económico como ambiental. En este sentido, es ampliamente aceptado que con este fin (ahorrar energía y mitigar emisiones provenientes de la quema de combustibles) existen tres posibilidades no excluyentes, a saber: la sustitución de portadores energéticos fósiles por otros renovables (quema de carbón, gas natural y derivados del petróleo por energía provenientes de la biomasa, recursos eólicos, solar), o fósiles menos contaminantes (quema de carbón para generación eléctrica por gas natural, por ejemplo).

Por otra parte, es muy frecuente el uso de indicadores simples agregados como la intensidad energética para evaluar comportamientos y políticas de eficiencia energética a nivel agregado de la economía o de diferentes sectores. Sin embargo, la intensidad energética en muchas ocasiones proporciona información no necesariamente exacta sobre la forma en que se utiliza la energía, ya que la variación puede obedecer a cambios estructurales.

Son estas razones por la que se acometió este trabajo de estimación de la demanda de energía eléctrica para el sector de los hogares cubanos y la estimación de la eficiencia en el uso de la misma a nivel de provincia con el objetivo de contrastar los resultados de la eficiencia estimada con los indicadores de intensidad energética tradicionalmente empleados en las evaluaciones de política energética, y estimar los potenciales de ahorro y de mitigación de emisiones de GEI resultantes de acciones de mejoramiento de la eficiencia energética en los hogares cubanos.

Para estimar la demanda de energía en general y la eficiencia de su utilización existen dos aproximaciones, la primera mediante el análisis matemático, y la otra mediante especificaciones econométricas de frontera estocástica. Esta última es la utilizada en el caso de la estimación de la demanda y la eficiencia energética subyacente del sector residencial cubano para las 14 provincias más el Municipio Especial de Isla de la Juventud.

Una de las propiedades de la demanda de energía es su carácter derivado, la energía no se consume per se, sino con el fin de alcanzar la satisfacción de determinados requerimientos, movilidad/desplazamiento, climatización, calefacción, ocio, entre otros. Es decir, se trata de una demanda de electricidad derivada de la satisfacción de los requerimientos de alimentación, purificación de agua, climatización y ocio en los hogares, que a su vez propicia una demanda de electricidad que es necesario para el funcionamiento del equipamiento electrodoméstico.

Existe una amplia literatura sobre estimación de la demanda en general y en particular para el sector de hogares. Por ejemplo, para el sector residencial cubano se han utilizado diferentes especificaciones desde los modelos de ajuste parcial, hasta los modelos cointegrados y de mecanismo de corrección de error (MCE) en los trabajos de Somoza, 2006 y 2007.

En la práctica del análisis energético y el diseño de política, el indicador que tradicionalmente se utiliza es el de intensidad energética definida como la cantidad de energía consumida para generar una unidad de producto (por lo general de PIB a su nivel más agregado). Este indicador proporciona información no necesariamente exacta sobre la forma en que se utiliza la energía a nivel de la economía. Por ejemplo, una alta intensidad energética estaría indicando una baja productividad de la economía a nivel agregado que sin embargo no es posible a priori adjudicarla a una baja eficiencia en el uso de la misma, dado que dicho indicador es función de al menos dos factores, el relacionado con la estructura productiva, factor estructural y el directamente relacionado con la eficiencia energética (factor tecnológico).

Una alternativa para estimar el nivel de eficiencia energética agregada de una economía, es a partir de la estimación de la función de frontera de la demanda de energía. 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 es éste 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 ordinarios estará ofreciendo 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. En este trabajo, al igual que en Filippini y Hunt (2010), al aplicar el modelo de frontera estocástica lo que se trata es de aislar la eficiencia energética subyacente controlando explícitamente los efectos precio e ingreso y otros efectos específico de cada país, efectos climáticos y un efecto común que capture el efecto del progreso tecnológico exógeno y otros efectos exógenos, a partir de un término de tendencia de demanda

energética subyacente (UEDT, en sus siglas en inglés). Es así que los impactos del progreso tecnológico endógeno se controlen a través del precio y el del progreso técnico exógeno a través del término UEDT.

El concepto 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 una función de producción, por ejemplo, el modelo de frontera ofrece el nivel máximo de producción alcanzable por una firma para un nivel dado de insumos. En el caso de la demanda agregada de energía, esta aproximación estaría dando el nivel mínimo de consumo energético necesario para que una economía determinada produzca algún nivel de servicios 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, dando además la posibilidad de 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, esto es, el nivel de ineficiencia energética.

De esta forma, es posible estimar los niveles de eficiencia energética de cada territorio y estudiar las variaciones de ésta con respecto a la frontera de demanda de energía y la variación de este indicador en el periodo de tiempo seleccionado.

A partir de los trabajos de Aigner, Lovell y Schmidt (1977) y Meeusen y van de Broeck (1977), una amplia literatura ha sido desarrollada para tratar de medir de forma precisa la eficiencia de los individuos estudiados y se han propuesto distintas metodologías que permiten solucionar problemas que afectan a los resultados obtenidos. Una de las principales debilidades del modelo básico planteado por estos autores es que, a pesar de que esta especificación permite controlar la existencia de ruido aleatorio, la presencia de heterogeneidad inobservable entre los individuos estudiados puede sesgar las medidas de eficiencia (Greene, 2005).

Esta heterogeneidad normalmente es entendida como un determinante inobservable de la frontera que se estime, mientras que la ineficiencia es interpretada como la distancia a la frontera una vez que la heterogeneidad ha sido tenida en cuenta. Diferentes estrategias empíricas con sus ventajas e inconvenientes han sido desarrolladas para solucionar este problema en la literatura (Llorca M., et. al. 2014).

Un primer enfoque que se puede aplicar, utilizado habitualmente en la literatura econométrica, es el modelo True Fixed Effect (TFE) y True Random Effect (TRE) propuesto por Greene (2005), los cuales permiten controlar la heterogeneidad de los individuos (firmas, ciudades, territorios, países) invariante en el tiempo, asumiendo que

toda ineficiencia es susceptible de sufrir variaciones a través del tiempo, de forma que no existen ineficiencias estructurales que no puedan ser corregidas durante el periodo de análisis. La diferencia entre ambos modelos radica en que el modelo de efectos aleatorios asume que la heterogeneidad de las firmas no debe estar correlacionada con las variables explicativas, mientras que este supuesto no es necesario en el modelo de efectos fijos (Montoya A., 2013).

Uno de los grandes inconvenientes que enfrenta el True Fixed Effect es el problema de los parámetros incidentales, que surge cuando el número de unidades transversales en el panel de datos es grande en comparación con su longitud temporal, de forma que se producen estimaciones sesgadas al tener que estimar muchos parámetros auxiliares o, en este caso, el efecto fijo asociado a cada unidad de análisis.

Greene W. H. (2005) a través de simulaciones con datos para el sistema bancario de Estados Unidos concluye que no debe dársele mucha relevancia a este problema, ya que los sesgos para $T=5$ son pequeños, aunque Belotti et. al. (2012) afirman que el modelo de Efectos Fijos sólo es apropiado cuando la longitud del panel es superior a diez periodos ($T > 10$). Debido a que en esta investigación sobre la demanda de electricidad en el sector Residencial cubano donde se cuenta con un panel de longitud $T=13$ y las unidades transversales son 15 (todas las provincias más el municipio especial de la Isla de la Juventud), es que resulta razonable comprobar la validez de este modelo de efectos fijos propuesto por Greene, en la explicación de la demanda eléctrica.

Frontera de demanda de energía eléctrica

La demanda residencial de energía eléctrica es una exigencia derivada de la demanda de un hogar “confortable”, comida preparada, agua caliente, entretenimiento, entre otros servicios; y se puede especificar con el marco básico de la teoría de la producción doméstica. Según esta teoría, los hogares compran “bienes” del mercado que sirven como insumos en los procesos de producción, para producir las “mercancías” que aparecen como argumentos en la función de utilidad del hogar. En el marco de la teoría de la producción doméstica, la demanda agregada de energía eléctrica residencial es una función de la demanda de insumos. (Filippini y Hunt, 2010/a).

De esta manera, se supone que existe una relación de demanda agregada residencial de energía eléctrica para un panel de provincias, de la siguiente manera:

$$LCF = f(LPRP, LSTR, LPOBELECT, LTHOGAR, LDC, LDF, Dy, EFIT) \text{ Ecuación 1}$$

donde LCF es el consumo de energía eléctrica residencial; LPRP es el precio real de la energía eléctrica; LSTR es el ingreso real; LPOBELECT es la población electrificada; LTHOGAR es el tamaño medio del hogar; LDC son los días calor, LDF son los días

frío, y Dy son las variables dicotómicas (dummy) temporales, las cuales son un proxy para recoger el efecto del cambio tecnológico en el período de tiempo analizado. Por último, EFIT es el nivel de “eficiencia eléctrica subyacente” del sector residencial cubano. Esto podría incluir una serie de factores que varían de una provincia a otra, incluyendo los diferentes aparatos y equipo (efectos electrodomésticos), así como los diferentes comportamientos sociales, normas, estilos de vida y valores. Por lo tanto, un bajo nivel de eficiencia eléctrica subyacente implica un uso ineficiente de la energía, de modo que, en esta situación, la conciencia de la conservación de energía se podría aumentar con el fin de llegar al nivel “óptimo” de la demanda, es decir, a la frontera, mínimo nivel de demanda para obtener los servicios energéticos en los hogares.

Sin embargo, desde una perspectiva empírica, utilizando datos de la energía a nivel agregado, el nivel global de eficiencia eléctrica de los aparatos electrodomésticos no se observa directamente. Por lo tanto, este indicador de eficiencia eléctrica subyacente tiene que ser estimado. Por consiguiente, con el fin de estimar el nivel de eficiencia eléctrica subyacente (EFIT) en este sector, e identificar el sistema óptimo de la práctica en términos de utilización de la energía eléctrica, se utiliza el enfoque de frontera estocástica propuesto por Greene (2005) (Filippini y Hunt, 2010 /a).

La Tabla 1, muestra el resultado del modelo corrido para el sector residencial cubano. En este, se corre un modelo con variables dicotómicas, mostrándose el cambio tecnológico para la secuencia de años de estudio.

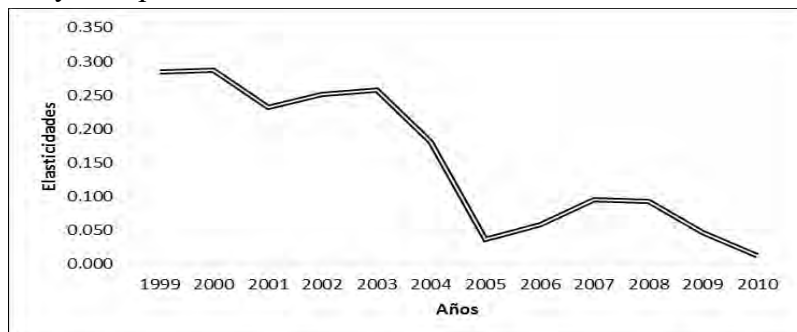
Tabla 1. Resultados del modelo de frontera estocástica del tipo TFE (Greene, 2005).

Greene (2005)		
Variables	Coef.	Prob.
LPRP2	-0.105	0.00
LSTR	0.842	0.00
LPOBELECT	0.551	0.00
LTHOGAR	-1.635	0.00
LDC	0.112	0.00
LDF	-0.017	0.00

Fuente: Elaborada por el autor, a partir de la salida de STATA 12.0

En este modelo los coeficientes en su mayoría presentan el signo esperados. Aunque la variables dicotómicas (dummies) son positivas, estas decrecen con los años, lo cual indica el efecto que sobre la demanda de electricidad en los hogares cubanos, de la implementación de lo que se conoce como “Revolución Energética”, que significa un salto tecnológico importante en el equipamiento electrodoméstico así como la sustitución de los llamados combustibles “domésticos”, esto es, de los consumos de keroseno y GLP por electricidad en usos térmicos de los hogares (ver Figura 1).

Figura 1. Dummies temporales.



Fuente: elaboración propia

Los resultados de las variables de este modelo, son aceptables. El precio, posee una elasticidad negativa pero baja, lo que demuestra la poca respuesta de la demanda ante las “políticas” tarifarias implementadas en el país. El ingreso, posee una elasticidad positiva y elevada. La población electrificada presenta una elasticidad positiva, mientras que el tamaño del hogar presenta una elasticidad menor que 1, lo cual está indicando el efecto de escala de la demanda en el hogar, más personas por vivienda no necesariamente indica más electrodomésticos y por tanto mayor demanda de energía para satisfacer el bienestar de los inquilinos.

Por su parte, las variables climáticas que forman parte del modelo poseen las elasticidades esperadas, aunque la elasticidad de día frío es muy baja, esto pudiera ser explicado por la baja frecuencia de días con sensaciones térmicas frías, además a que según Planos et. al. (2013) la tendencia de la temperatura en general ha sido al aumento en los últimos años.

Eficiencia estimada

Como se ha comentado anteriormente, la estimación de una función de demanda utilizando el método de Frontera Estocástica representa el consumo mínimo factible, para obtener una cantidad determinada de servicios, por lo que el enfoque utilizado es similar a que si se tratara de una función de costes. A partir de la media condicional del término de ineficiencia propuesto por Jondrow et al. (1982), el nivel de eficiencia para cada observación puede obtenerse aplicando la siguiente expresión:

$$EF_{it} = \frac{Q_{it}^*}{Q_{it}} = \exp(-\hat{u}_{it}) \quad \text{Ecuación 2}$$

donde Q_{it}^* representa la demanda eléctrica agregada de la provincia i en el período t sobre la frontera, es decir, el nivel mínimo de energía necesario para que esos hogares produzca su nivel de servicios energéticos determinado; Q_{it} es la demanda energética

agregada que se produce realmente en esa provincia, y EFit, por tanto, es una medida de eficiencia acotada entre cero y uno. La diferencia entre el valor de eficiencia de “frontera” y esta medida de ineficiencia, indica en cuánto podría reducirse la demanda de electricidad en una provincia en tanto por uno, manteniendo el mismo volumen de servicios energéticos en el hogar. Estas son por tanto medidas relativas que, a diferencia de los indicadores de intensidad energética, permiten comparaciones directas entre individuos a lo largo del tiempo.

Los resultados indican que existe un rango relativamente amplio en cuanto al uso de la energía por provincias, que van desde un valor mínimo de eficiencia (67%), correspondiente a la capital del país, mientras que la máxima la presentaron varias provincias en distintos años del período (ver Tabla 2).

Tabla 2. Eficiencia estimada por provincias y años

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	PROM
Pinar del Rio	1.00	0.98	0.98	0.98	0.94	1.00	1.00	0.97	0.96	0.92	0.94	1.00	0.88	0.97
La Habana 1/	0.89	0.91	0.90	0.93	0.89	0.91	0.92	1.00	0.99	0.92	0.95	0.91	1.00	0.93
Ciudad Habana	0.67	0.67	0.71	0.69	0.72	0.71	0.70	0.86	0.90	0.93	1.00	1.00	0.89	0.80
Matanzas	0.93	0.94	1.00	1.00	0.96	0.96	0.90	0.95	1.00	0.98	1.00	0.93	0.95	0.96
Villa Clara	0.97	1.00	0.96	0.96	0.91	0.93	0.91	0.94	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97
Cienfuegos	0.96	0.97	0.97	0.99	0.96	0.95	0.90	0.96	1.00	0.95	0.91	0.88	0.94	0.95
Sancti Spiritus	0.87	0.89	0.86	0.81	0.82	0.86	0.88	0.92	1.00	1.00	0.98	0.97	0.98	0.91
Ciego de Avila	1.00	0.99	0.98	0.93	0.96	0.98	0.92	0.89	0.91	0.89	0.90	0.91	0.94	0.94
Camaguey	0.97	0.98	0.97	0.98	1.00	1.00	0.96	0.92	0.93	0.93	0.93	0.92	0.97	0.96
Las Tunas	0.95	0.98	0.96	0.97	0.95	1.00	0.90	0.81	0.82	0.87	0.83	0.87	0.87	0.91
Holguín	0.96	1.00	0.97	0.95	0.94	0.99	0.96	0.92	0.95	0.95	0.91	0.93	0.99	0.95
Granma	0.93	0.98	1.00	1.00	0.95	1.00	0.99	0.85	0.88	0.82	0.80	0.79	0.89	0.91
Santiago de Cuba	0.90	0.94	0.96	1.00	1.00	0.98	0.95	0.88	0.91	0.86	0.88	0.93	1.00	0.94
Guantánamo	0.89	0.92	0.85	0.91	0.92	0.95	1.00	0.78	0.76	0.75	0.73	0.74	0.82	0.85
Isla de la Juventud	0.84	0.86	0.85	0.88	0.88	0.91	0.83	1.00	1.00	0.91	1.00	0.98	0.92	0.91
PROMEDIO	0.92	0.93	0.93	0.93	0.92	0.94	0.91	0.91	0.93	0.91	0.92	0.92	0.94	0.92

1/ En la actualidad Artemisa y Mayabeque

En cuanto a la distribución de las eficiencias por provincias se obtiene como promedio nacional en el período de estudio un 92 % de eficiencia, pero esta fluctuó de acuerdo a los años, siendo aproximadamente entre 91 y 94 %.

Cuando se realiza el contraste entre la intensidad y eficiencia, se espera que los valores estimados de eficiencia tengan un nivel de correlación alto y negativo con la intensidad, por lo que debería ocurrir que en la mayoría de las provincias la intensidad eléctrica decrezca con el incremento de la eficiencia. Si la intensidad eléctrica fuera una herramienta útil para el monitoreo de la eficiencia, debería esperarse que, en primer lugar, esta correlación fuera inversa, y además fuera muy próximo a la unidad, sin embargo, de manera general no ocurre así; el coeficiente de correlación para la eficiencia promedio y la intensidad per cápita es de -0.11, mientras que cuando se correlaciona con la intensidad por hogares muestra un valor mucho más bajo (-0.04). En la tabla 3, se presentan los coeficientes de correlación entre eficiencia-intensidad energética por provincias.

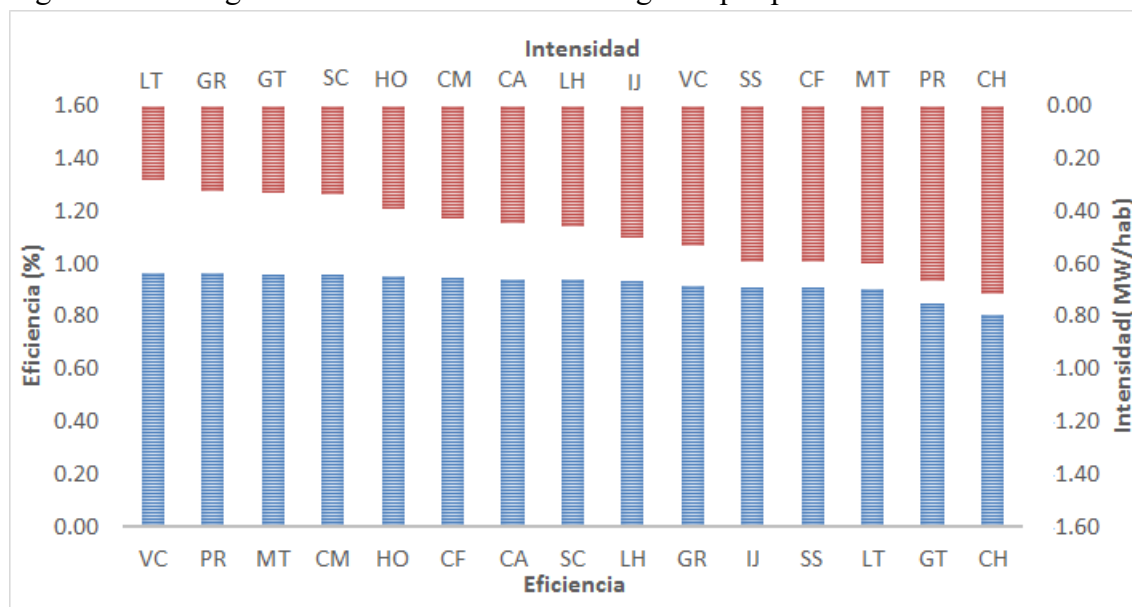
Tabla 3. Coeficientes de correlación eficiencia-intensidad

Provincias	Coeficiente de Correlación	
	Eficiencia & intensidad per cápita	Eficiencia & intensidad hogares
Pinar del Río	-0.63	-0.76
La Habana	0.58	0.30
Ciudad de La Habana	-0.33	-0.75
Matanzas	0.12	0.26
Villa Clara	0.38	0.33
Cienfuegos	-0.54	-0.51
Sancti Spiritus	0.75	0.83
Ciego de Ávila	-0.70	-0.62
Camagüey	-0.68	-0.67
Las Tunas	-0.82	-0.83
Holguín	-0.49	-0.52
Granma	-0.89	-0.90
Santiago de Cuba	-0.40	-0.46
Guantánamo	-0.86	-0.90
Isla de la Juventud	0.64	0.54
Promedio	-0.11	-0.04

Son notables los resultados de la correlación eficiencia-intensidad para las provincias de La Habana, Matanzas, Villa Clara, Sancti Spiritus, e Isla de la Juventud.

En la Figura 3 se presentan los rankings por provincias de la eficiencia y la intensidad energética. Resulta interesante el hecho de que las provincias de menores valores de intensidad energética (tanto per cápita como por hogar), se concentran en la región oriental del país, esto es, desde Camagüey a Guantánamo, con el menor consumo per cápita para Las Tunas y el menor consumo por hogar para Granma. Mientras que en los valores de eficiencia se observa un comportamiento diferenciado, Las Tunas, Granma y Guantánamo están ocupando las posiciones correspondientes a los menores valores de eficiencia del uso de la electricidad por hogares, mientras que, Camagüey (lugar 4), Holguín (lugar 5) y Santiago de Cuba (lugar 8) ocupan posiciones iniciales e intermedias en cuanto a los niveles de eficiencia alcanzados. De hecho se tratan de provincias que históricamente se han considerado de menores niveles relativos de desarrollo, especialmente en los casos de Las Tunas, Granma y Guantánamo (ver Figura 3); y en los casos de Holguín, Camagüey y Santiago, núcleos industriales (agroindustriales y turísticos), de importancia, con las implicancias que sobre los ingresos y las capacidades de conocimientos, investigación-desarrollo, e innovación, y en general sobre los patrones de comportamiento de la población, conlleva este tipo de desarrollo.

Figura 2. Ranking de eficiencia e intensidad energética por provincias



Fuente: elaboración propia

Por su parte, las provincias con mejores performance en cuanto a la eficiencia del uso de la electricidad se encuentran ubicadas en el occidente-centro del país: Villa Clara, “emporio” agroindustrial, base de la industria metalmecánica, Pinar del Rio (primer productor de tabaco y abastecedor de otros productos agrícolas de importancia como el arroz), Matanzas (principal núcleo de atracción turística y base importante de la industria energética nacional), se ubican en los primeros lugares en cuanto a niveles de

eficiencia del sector residencial, mientras que Cienfuegos y Sancti Spíritus, importantes centros de la industria y la agricultura ocupan lugares importantes en el ranking de eficiencia.

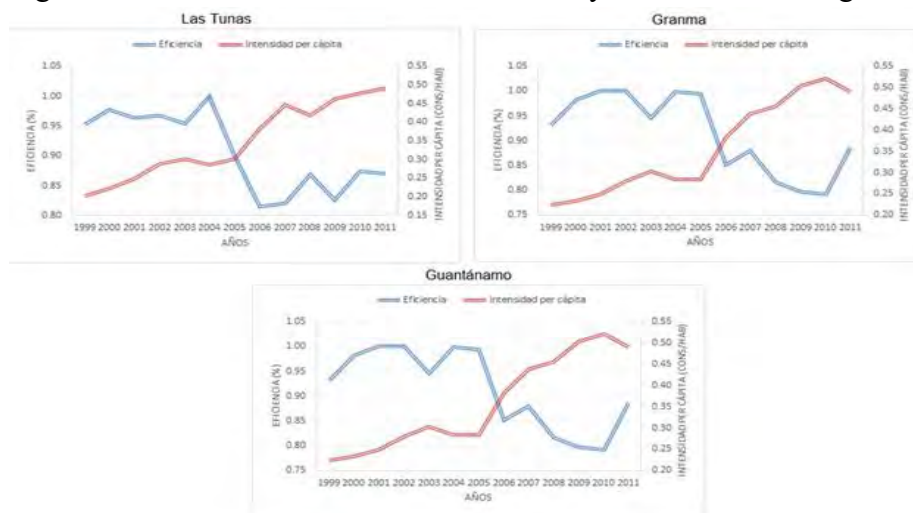
En la Tabla 4, se presenta el contraste del ranking de eficiencia-intensidad energética, donde se presenta el lugar que ocupan los territorios de mayor a menor nivel de eficiencia y de menores a mayores niveles de la intensidad.

Tabla 4. Comparación de los rankings para la eficiencia e intensidad¹⁹.

Provincias	Eficiencia (%)		Intensidad (consumo por habitante kW.h/hab)		Intensidad (consumo por hogar kW.h/servicio)	
	Nivel	Rango	Nivel	Rango	Nivel	Rango
Pinar del Río	0.97	2	0.52	9	1.75	10
La Habana	0.93	9	0.56	11	1.92	13
Ciudad de La Habana	0.80	15	0.63	15	1.98	15
Matanzas	0.96	3	0.61	14	1.97	14
Villa Clara	0.97	1	0.53	10	1.69	7
Cienfuegos	0.95	5	0.58	13	1.83	12
Sancti Spíritus	0.91	12	0.57	12	1.75	9
Ciego de Ávila	0.94	7	0.50	7	1.78	11
Camagüey	0.96	4	0.47	6	1.60	6
Las Tunas	0.91	13	0.35	1	1.38	2
Holguín	0.95	6	0.43	5	1.54	5
Granma	0.91	10	0.36	2	1.36	1
Santiago de Cuba	0.94	8	0.39	4	1.50	4
Guantánamo	0.85	14	0.36	3	1.42	3
Isla de la Juventud	0.91	11	0.51	8	1.72	8

¹⁹ En el rango se toma como 1 la provincia con mayor nivel de eficiencia, mientras que para la intensidad el 1 corresponde con la provincial de menor intensidad.

Figura 3. Contraste entre eficiencia estimada y la intensidad energética



Un caso llamativo lo constituye la capital del país, la cual ocupa el lugar 15 en el ranking de eficiencia y el mismo lugar en cuanto a niveles de intensidad energética per cápita y por hogar. En Ciudad de La Habana se concentra casi la cuarta parte de la producción agregada del país, algo más de 2 millones de habitantes, con gran heterogeneidad en cuanto a niveles de ingreso, capacitación y patrones de conducta, casi 400 mil hogares todos electrificados pero con estado constructivo bien contrastado, buena parte de la superficie comercial y de servicios de la nación, así como una compleja situación en el estado de los sistemas de abastecimiento de agua, electricidad y otros servicios público. Por otra parte, podría influir en estos resultados la implementación de políticas que privilegien el desarrollo de las regiones menos favorecidas o de menor desarrollo relativo, así como la mayor complejidad que la implementación de políticas de ahorro y uso racional de la energía (URE), que caracterizan a los grandes núcleos poblacionales, e industriales.

Potenciales de ahorro de electricidad y mitigación de CO₂

Para calcular la cantidad de energía ahorrada por concepto de mejoramiento de la eficiencia del uso de la electricidad en los hogares cubanos, se parte de los valores de eficiencia estimados por el modelo de frontera estocástica. El cociente entre la cantidad de electricidad “facturada” real y la eficiencia estimada permite calcular el consumo de electricidad si este se realizará con la eficiencia de la frontera de consumo. La diferencia entre ambos consumos, el real y el “ideal” arrojaría la cantidad de electricidad que se evitaría consumir por mejora de la eficiencia.

La estimación mostró como resultado que a nivel nacional, en el periodo comprendido entre los años 1999 y 2011, anualmente como promedio, se pudo haber dejado de consumir un poco más de 500 GW.h de electricidad, por solamente mejorar la eficiencia

en el uso de la electricidad en los hogares cubanos. El 2005 fue el año con mayor potencial de ahorro, con un valor que se aproximó a los 700 GW.h, mientras que el año con menor potencial de ahorro fue el 2011. Desde el punto de vista de los consumos acumulados en los 14 años que abarca el periodo estudiado se podrían haber dejado de consumir 6822 GW.h, mayor que el consumo de la mayoría de los años de estudio, lo cual es un 41 % mayor que el consumo de Cuba en el año 1999, y un 99 % del gasto de electricidad en los hogares cubanos en el año 2011.

Tabla 5. Resumen de las estadísticas de potencial de ahorro y mitigación de CO₂.

Años	Consumo_total_observado (GW.h)	Eficiencia promedio (%)	Consumo_total_ideal (GW.h)	Pot_ahorro_total (GW.h)	Pot_mit_total (miles de ton de CO₂)
Pinar del Rio	442.2	96.6	425.2	17.0	14.7
La Habana 1/	478.4	93.2	447.6	30.8	26.7
Ciudad Habana	1606.8	80.4	1286.5	320.3	277.3
Matanzas	480.7	96.2	462.7	18.0	15.6
Villa Clara	503.3	96.6	487.4	15.9	13.7
Cienfuegos	269.2	94.9	254.4	14.8	12.8
Sancti Spiritus	310.3	91.1	285.2	25.1	21.8
Ciego de Ávila	244.3	93.9	227.6	16.7	14.5
Camagüey	426.6	95.9	407.4	19.2	16.6
Las Tunas	227.6	90.7	203.5	23.5	20.3
Holguín	519.8	95.5	494.8	25.0	21.6
Granma	346.6	91.3	309.2	37.4	32.4
Santiago de Cuba	469.7	93.8	438.7	31.1	26.9
Guantánamo	216.4	84.7	178.1	38.3	33.1
Isla de la Juventud	50.9	91.3	46.8	4.1	3.6
TOTAL	6593.1	92.4	5955.2	637.4	551.8

Fuente: elaboración propia

De forma similar, es posible estimar el potencial de mitigación de emisiones de CO₂ consustancial con el ahorro de electricidad estimado. Vale la pena aclarar que las emisiones evitadas por la mejora de eficiencia del consumo de electricidad en los hogares se reportan en el sector de la generación de electricidad, por lo que en este caso se necesita el factor de emisiones en las plantas de generación del país, de tal forma que el producto de este factor y las cantidades de electricidad real facturada e ideal estimada darían las emisiones correspondientes en cada caso cuya diferencia sería la cantidad de emisiones potencialmente mitigadas por el mejoramiento de la eficiencia. En la propia Tabla 5, se presenta el potencial de mitigación de emisiones de CO₂ por provincia.

Objetivos de mitigación

El primer periodo de compromiso del Protocolo se inició en 2008 y terminó en 2012. En 2009, se comenzó a trabajar para el establecimiento de un marco multilateral que garantice que no exista un vacío entre el final del primer periodo de compromiso del Protocolo de Kyoto en 2012, y en Doha se logra enmendar dicho protocolo, pero no lo ratifican un grupo de países.

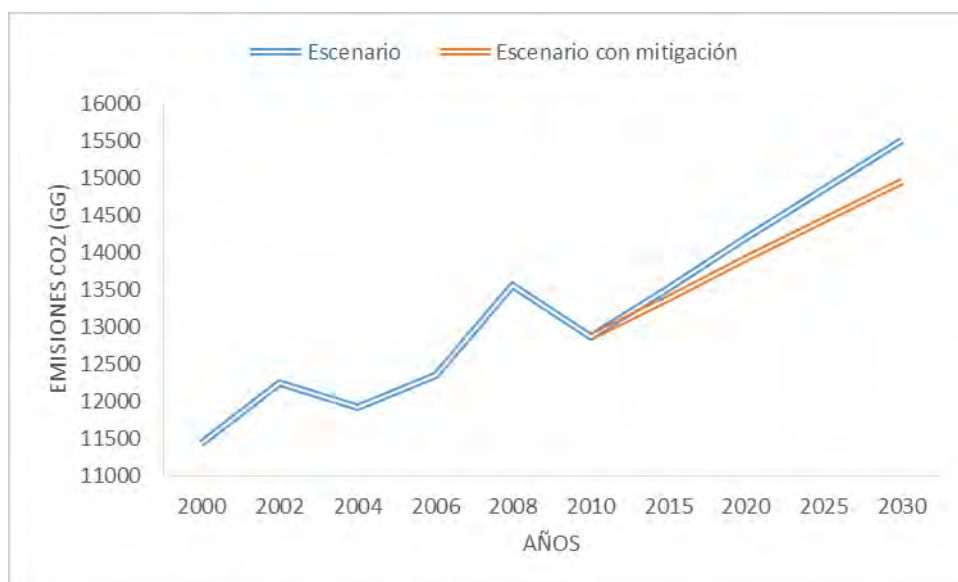
Ya en la CoP de Durban 2010, promovido por la Unión Europea se acordó iniciar las negociaciones sobre un nuevo marco legal para una acción más ambiciosa sobre el clima por parte de todos los países, tanto desarrollados como en desarrollo, que se aplicaría a partir de 2020. A pesar de que la mayoría de los países participantes considera que Durban ha logrado avanzar en la lucha contra el calentamiento global al conseguir aprobar una hoja de ruta para aprobar antes de 2015 otro acuerdo que entrará en vigor a partir de 2020, la prensa especializada calificó de un pacto “de mínimos”. Desde entonces hasta la actualidad se han dirigido el esfuerzo en las CoP, con prioridad, a la conformación del nuevo acuerdo global de reducción de emisiones de GEI. En Varsovia, en el 19 período de sesiones, ya los gobiernos deciden iniciar o intensificar los preparativos para sus respectivas “contribuciones previstas y determinadas a nivel nacional” (Intended Nationally Determined Contribution, INDC) al futuro acuerdo de París, a su vez que los gobiernos de países desarrollados fueron instados a apoyar financieramente las contribuciones nacionales de los demás países. Estas constituirían aportes claves a las negociaciones que culminarían en el acuerdo climático de París 2015.

Debido a todo lo anterior visto, se prevé que en diciembre de 2015 quede adoptado el nuevo acuerdo global vinculante de reducción de emisiones de GEI, el cual será aplicable a todos los países, o al menos como una obligación moral, el cumplir estas metas. Debido a esto se deberían tomar provisiones por parte de los responsables de políticas y negociadores en cada uno de los países, en cuanto a los niveles de reducción a aceptar o proponer como compromisos de reducciones, esto es, el establecimiento de puntos de partida, nivel de referencia o base sobre los cuales poder negociar los compromisos.

En la actualidad existen varios tipos de compromisos y/o promesas de mitigación; entre estos podemos citar los objetivos energéticos, los cuales hacen referencia a objetivos cuantificables que abordan los factores claves de las emisiones de GEI. Uno de los aspectos que contempla es tratar objetivos de eficiencia (por ejemplo, aumentar la eficiencia energética en cierto porcentaje, o lograr el ahorro de cierta cantidad de energía). (Hohne et. al, 2014)

Al generar un escenario futuro de emisiones GEI en el sector Residencial, se estimó la tasa de crecimiento a partir de las emisiones de GEI en el sector, para el período 2000-2010, en aproximadamente 131 mil toneladas anuales de CO₂. Con esta tasa se construye el escenario base (Figura 3), en el cual las emisiones a 2030 llegarían a ser de 15.5 millones de toneladas de CO₂, lo que comparado con el año 2010, significaría un 17 % más de emisiones, o lo que es lo mismo, 2.6 millones de toneladas de CO₂.

Figura 3. Escenarios de emisiones al 2030



Fuente: elaboración propia

De conocer el potencial de mitigación con el que contamos en este sector, por el solo aumento de la eficiencia (552 mil toneladas de CO₂), entonces se podría construir un escenario de mitigación, donde el potencial de mitigación sería la diferencia entre el escenario base y el de mitigación. Por lo que para el año 2030, dicho potencial de mitigación representaría el 21% de la diferencia entre las emisiones de los años 2030 y 2010.

Para mitigar emisiones de GEI a partir de la mejora de la eficiencia energética de la eficiencia en los hogares cubanos se han identificado un conjunto de opciones, entre las

cuales se han estudiado: i) la sustitución del alumbrado por lámparas LED; ii) la sustitución de televisores, refrigeradores y aires acondicionados por otros más eficientes; y iii) la sustitución de cocinas eléctricas y microwave por cocinas de inducción. En el marco de la preparación de la Segunda Comunicación Nacional de Cuba a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, estas opciones fueron evaluadas técnicas y económicamente (análisis de pre factibilidad), y se les determinó los potenciales de ahorro y de mitigación de emisiones de GEI anual, así como los costos de las emisiones evitadas (ver tabla 6).

Tabla 6. Potencial de mitigación de las opciones aplicables al aumento de la eficiencia eléctrica.

Opciones	Potencial de mitigación (miles de toneladas de CO ₂ eq)
Sustitución del alumbrado por lámparas LED	84.9
Televisores eficientes	17.5
Aire acondicionado eficientes	42.3
Refrigeradores eficientes	291.6
Total	436.3

Fuente: 2da Comunicación Nacional (2015)

Estas no son las únicas opciones aplicables para lograr aumento de la eficiencia eléctrica en los hogares y reducir emisiones en los centros de generación.

No obstante, el potencial de mitigación anual de CO₂ obtenido por estas cuatro opciones representa aproximadamente el 80% del potencial identificado en la Segunda Comunicación Nacional (522 miles toneladas de CO₂), lo cual de cierta manera válida los resultados mostrados anteriormente.

Apoyados en el análisis multicriterio de todas las opciones de mitigación propuestas en la Segunda Comunicación Nacional, se comprueba que como opción “preferida” se encuentra la sustitución de focos ahorradores por lámparas LEDs. Al mismo tiempo que también aparece la opción del cambio de los refrigeradores por otros más eficientes entre las ocho primeras medidas “preferidas”.

Y desde el punto de vista del costo evitado por cada tonelada de CO₂, se puede corroborar (ver Tabla 7) la importancia del sector, pues de los 6 sectores en que se subdividieron las 36 opciones de mitigación, el residencial es el segundo en cuanto a costo evitado de CO₂.

Tabla 7. Costo de las opciones de mitigación por sectores.

Opciones de mitigación	Costo del CO ₂ evitado \$/ton
Total Residencial	-174,42
Total Generación	-53,66
Total Transporte	-228,45
Total agricultura	-41,23
Total Forestal	1,90
Otras opciones	0,708
Total Opciones	-85,71

Fuente: 2^{da} Comunicación Nacional (2015).

Lo comentado en este epígrafe valida la importancia relativa que tiene la estimación de los potenciales de mitigación de emisiones de CO₂ en el sector Residencial como resultado del mejoramiento de la eficiencia en el uso de la electricidad en los equipos electrodomésticos. Si bien podría parecer bajos los aportes a la reducción de emisiones con relación a algún nivel meta resultante de los acuerdos de las CoPs; las opciones de mitigación en los hogares se ubican entre las de menores costos, tal es así que entre las 8 opciones “preferidas” por los expertos consultados en la Segunda Comunicación Nacional, 2 de ellas se ubican en el 1ro y 4to lugar por los niveles de costo de la t CO₂ evitada (costos negativos que significan beneficios adicionales). En la Tabla 8, se resumen los resultados de la evaluación de opciones de mitigación llevadas a cabo en el marco de la 2^{da} Comunicación Nacional a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

Tabla 8. Potenciales y costos de las emisiones evitadas

Opción	Potencial de la opción (miles ton CO ₂)	Costo del CO ₂ evitado (USD/tonCo ₂)
LEDs	80	-433.0
Pasajeros FFCC	10	-392.0
Carga FFCC	1446	-289.0
Refrigeradores	290	-224.0
TGNCC	452	-113.0
CTE de biomasa cañera	993	-98.0
Cobertura Forestal	1200	1.4
Remotorización	18	235.0

Fuente: 2^{da} Comunicación Nacional

Por su parte, la implementación de las cuatro opciones comentadas serían capaces de cubrir buena parte del potencial estimado para el sector de los hogares, quedando solamente un 20% a ser “honrado” por la introducción de otras opciones de mejoramiento de la eficiencia en el uso de la electricidad en los hogares cubanos.

Estimando la función de producción y la eficiencia productiva subyacente para la producción de leche en un grupo de vaquerías del municipio Jimaguayú

Introducción

El abordaje de la tarea de determinar la función de producción y la eficiencia subyacente de las unidades lecheras de Jimaguayú surge por la coyuntura, de coincidir el desarrollo de los estudios relacionados con el Proyecto sobre aplicación de modelos de frontera estocástica, y la necesidad de estimar los impactos de los escenarios climáticos, en este caso de un escenario tipo A2, sobre la producción de leche en este municipio. Pero además, en el municipio se produce aproximadamente el 60% de toda la leche de la provincia Camagüey, uno de los emporios del producto más importantes del país.

La aplicación de los modelos de frontera estocástica a la estimación de la función de producción de la leche en Jimaguayú, si bien constituye un buen ejercicio, los resultados no pueden ser definitivos pues evidentemente son afectados por lo limitado de la muestra tanto por la cantidad de unidades involucradas como por la pobrísima extensión de la serie temporal de los datos.

Se presenta de forma bastante resumida, en primer lugar las estadísticas descriptiva de las variables utilizadas en el modelo; el análisis de clúster y la aplicación del modelo de frontera estocástica a la función de producción agregada (para todas las unidades de las muestras) y para cada clúster por separado. Finalmente se presenta la comparación de las eficiencias tanto del modelo agregado como de cada clúster. Lamentablemente, la aplicación de las clases latentes no resultó posible, probablemente por lo limitado de las series de datos, y quizás también por el hecho de que la especificación funcional no fuera la mejor (se utilizó la especificación clásica del modelo de producción, la Cobb-Douglas, sin embargo en el trabajo de Álvarez Pinilla y del Corral Cuervo, se propone el uso de una especificación translogarítmica, la cual involucra una mayor complejidad en la modelación en LIMDEP y una mayor cantidad de datos.

Manejo de datos

<i>Variable</i>	<i>n</i>	<i>missings</i>	<i>mean</i>	<i>sd</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>se</i>
área total	116	0	61.58	45.14	6.5	157.33	4.19
marabu	116	0	5.62	11.42	0	60	1.06
malezas	116	0	1.55	3.64	0	15	0.34
area_util	116	0	54.42	41.46	6.5	139.5	3.85
pasto_nat	116	0	39.18	37.73	-159.44	114	3.5
pasto_art	116	0	7.92	13.71	0	59	1.27

cana	116	0	2.04	2.02	0	9.37	0.19
k_grass	116	0	1.05	1.1	0	4	0.1
arboles	116	0	138.96	304.05	7	2100	28.23
carga_global	116	0	1.34	0.61	0.02	3.13	0.06
carga_util	116	0	1.77	1.46	0.54	15.36	0.14
vaca_ord	116	0	28.28	23.97	3	100	2.23
cuartones	116	0	5.08	2.55	0	20	0.24
leche	116	0	57053.03	60383.17	3684.2	262447	5606.44
l_vacas	116	0	1800.26	589.47	298.78	3080.12	54.73
l_ha	116	0	1014.65	621.5	149.39	3651.27	57.7
l_ha_pastos	116	0	1161.96	796.24	-1646.05	4570.9	73.93
Forraje_vaca	116	0	9.01	9.64	0	56.5	0.89
vacas_ha	116	0	0.57	0.27	0.18	1.64	0.03
vacas_hapastos	116	0	0.67	0.37	-0.63	2.05	0.03
rendimiento	116	0	1.01	0.62	0.15	3.65	0.06
forr_sum	116	0	193.27	167.64	0	640	15.57
Trabajadores	110	6	3.82	3.63	1	33	0.35
hora_hombres_ha	110	6	1.95	2.08	0.19	7.6	0.2

Nota: k_grass: área sembrada de kingrass; arboles: cantidad de árboles existentes; carga global: unidad de ganado mayor (UGM), por hectárea total; carga útil: unidad de ganado mayor (UGM), por hectárea útil; vaca_ord: cantidad de vacas en ordeño; vacas_hapastos: cantidad de vacas por hectárea de pastos; rendimiento: sumatoria de lo producido (leche, carne, etc), dividido entre el área total de la finca; forr_sum: kg totales de forrajes producido; trabajadores: cantidad de trabajadores; hora_hombres_ha: cantidad de horas trabajadas por hombre por hectárea en el año

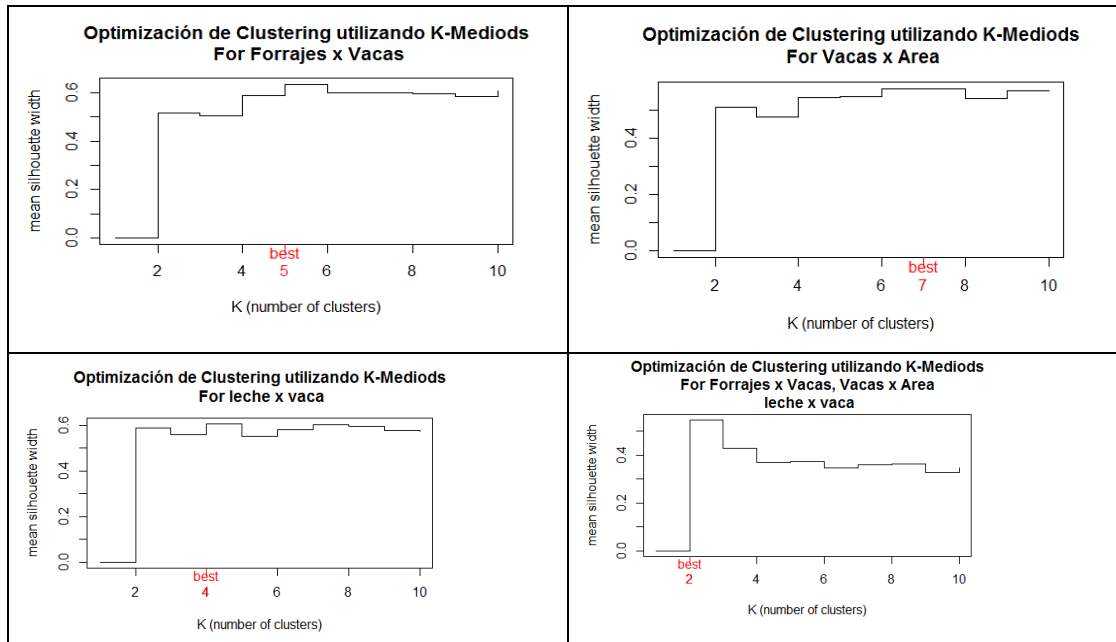
Normalización de las variables que están en negro:

Transformación: $\log(x+1)$

Variable	vars	n	missings	mean	sd	median	min	max	se
norm_area	1	118	0	3.71	0.83	3.72	2.01	4.95	0.08
norm_pasto_nat	2	118	0	3.4	0.87	3.45	1.37	4.74	0.08
norm_pasto_art	3	118	0	1.15	1.38	0.53	0	4.09	0.13
norm_vacas_ord	4	118	0	3.08	0.79	2.83	1.39	4.62	0.07
norm_leche	5	118	0	10.46	1.04	10.24	8.21	12.48	0.1
norm_l_vacas	6	118	0	7.44	0.39	7.5	5.7	8.03	0.04
norm_ha	7	118	0	6.78	0.56	6.83	5.01	8.2	0.05
norm_Forraje_vaca	8	118	0	1.95	0.88	2.01	0	4.05	0.08
norm_vacas_ha	9	118	0	0.44	0.16	0.43	0.16	0.97	0.01
norm_vacas_hapastos	10	118	0	0.48	0.27	0.51	-1.02	1.12	0.02
norm_forr_sum	11	118	0	4.63	1.62	4.99	0	6.46	0.15

Análisis de clúster

El análisis se realizó utilizando paquetes “clúster” de R-Project y funciones personalizadas tomando cada variable separadora. Por medio del método Silhouette se determina el número óptimo de clúster:



La cantidad óptima de agrupaciones de unidades productoras de leche esta en dependencia de la variable agrupadora utilizada. Si se atiende al objetivo de la modelación que es la estimación de una función de producción y la eficiencia productiva, la cantidad de clúster “óptimo” estará entre los 4 utilizando la variable leche/vaca y 2, para el clúster donde se utilizan las tres variables separadoras.

Modelo agragado

Modelo exponencial

```
frontier;lhs=LLECHE;rhs=one,LVAOR,LAREA,LLHA,LFORR,year;model=e;eff=e_3$
Normal exit from iterations. Exit status=0.
```

```
+-----+
| Limited Dependent Variable Model - FRONTIER |
| Maximum Likelihood Estimates                |
| Model estimated: Oct 10, 2016 at 01:35:58PM. |
| Dependent variable                          LLECHE |
| Weighting variable                          None    |
| Number of observations                       154    |
| Iterations completed                        16     |
| Log likelihood function                     430.8203 |
| Number of parameters                        8       |
| Info. Criterion: AIC =                      -5.49117 |
| Finite Sample: AIC =                       -5.48472 |
| Info. Criterion: BIC =                      -5.33341 |
| Info. Criterion:HQIC =                     -5.42709 |
| Exponential frontier model                  |
| Variances: Sigma-squared(v)=                .00003 |
|           Sigma-squared(u)=                 .00029 |
|           Sigma(v) =                       .00551 |
```

```
|          Sigma(u)          =          .01697          |
| Stochastic Production Frontier, e=v-u.                |
+-----+
```

Tabla 1. Resultados del modelo de frontera estocástica con distribución de error exponencial

```
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
|Variable| Coefficient | Standard Error |b/St.Er.|P[|Z|>z]| Mean of X|
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
-----+Primary Index Equation for Model
Constant|    11.5152273    2.93080905    3.929    0.0001
LVAOR   |     .16532016    .00779725    21.202    0.0000   -232.6951
LAREA   |     .42595023    .00773404    55.075    0.0000   -232.5485
LLHA    |     .40680908    .00426244    95.440    0.0000   -232.7216
LFORR   |     .01858396    .00324273     5.731    0.0000   -232.4050
YEAR    |    -.00514345    .00146078    -3.521    0.0004    1306.584
-----+Variance parameters for compound error
Theta   |    58.9406872    6.37568318     9.245    0.0000
Sigmax  |     .00550514    .00103415     5.323    0.0000
```

Modelo Pooled

```
--> frontier;lhs=LLECHE;rhs=one,LVAOR,LAREA,LLHA,LFORR,year;eff=e_4$
```

Normal exit from iterations. Exit status=0.

```
+-----+
| Limited Dependent Variable Model - FRONTIER |
| Maximum Likelihood Estimates                |
| Model estimated: Oct 10, 2016 at 01:36:15PM. |
| Dependent variable                          LLECHE |
| Weighting variable                          None   |
| Number of observations                       154   |
| Iterations completed                        19   |
| Log likelihood function                     419.5590 |
| Number of parameters                        8   |
| Info. Criterion: AIC =                      -5.34492 |
|   Finite Sample: AIC =                     -5.33847 |
| Info. Criterion: BIC =                      -5.18716 |
| Info. Criterion:HQIC =                     -5.28084 |
| Variances: Sigma-squared(v)=                .00003 |
|           Sigma-squared(u)=                .00074 |
|           Sigma(v) =                       .00541 |
|           Sigma(u) =                       .02724 |
| Sigma = Sqr[(s^2(u)+s^2(v))]=              .02777 |
| Stochastic Production Frontier, e=v-u.      |
+-----+
```

Tabla 2. Resultados del modelo pooled de frontera estocástica

```
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
|Variable| Coefficient | Standard Error |b/St.Er.|P[|Z|>z]| Mean of X|
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
-----+Primary Index Equation for Model
Constant|    11.8283690    3.10925798    3.804    0.0001
LVAOR   |     .16360236    .00828263    19.752    0.0000   -232.6951
LAREA   |     .42932347    .00854041    50.270    0.0000   -232.5485
LLHA    |     .40617840    .00440323    92.246    0.0000   -232.7216
LFORR   |     .01802394    .00351461     5.128    0.0000   -232.4050
YEAR    |    -.00529822    .00154981    -3.419    0.0006    1306.584
-----+Variance parameters for compound error
Lambda  |    5.03038383    1.13753431     4.422    0.0000
Sigma   |     .02777189    .00014355    193.461    0.0000
```

Ambos modelos de producción ofrecen los resultados esperados en cuanto a la magnitud y signos de las elasticidades estimadas, todos son significativamente diferentes de cero. Comentar que la producción de leche es más sensible a los cambios del área de las vaquerías y a la leche por área disponible. La tendencia temporal que recoge los efectos del cambio tecnológico exógeno, está indicando una cierta descapitalización de las tecnologías utilizadas por las vaquerías del municipio, no obstante lo limitado de la disponibilidad de datos en el tiempo. Por cada 1% en que varía la “tendencia” temporal, la producción se reduce casi un 0.01%.

En la tabla 3 se resumen y ordenan los resultados de la eficiencia (ambos modelos, exponencial y pooled) y de la productividad de la leche, el indicador utilizado como aproximación de la eficiencia productiva.

Tabla 3. Ranking de eficiencia y productividad por fincas para modelo agregado

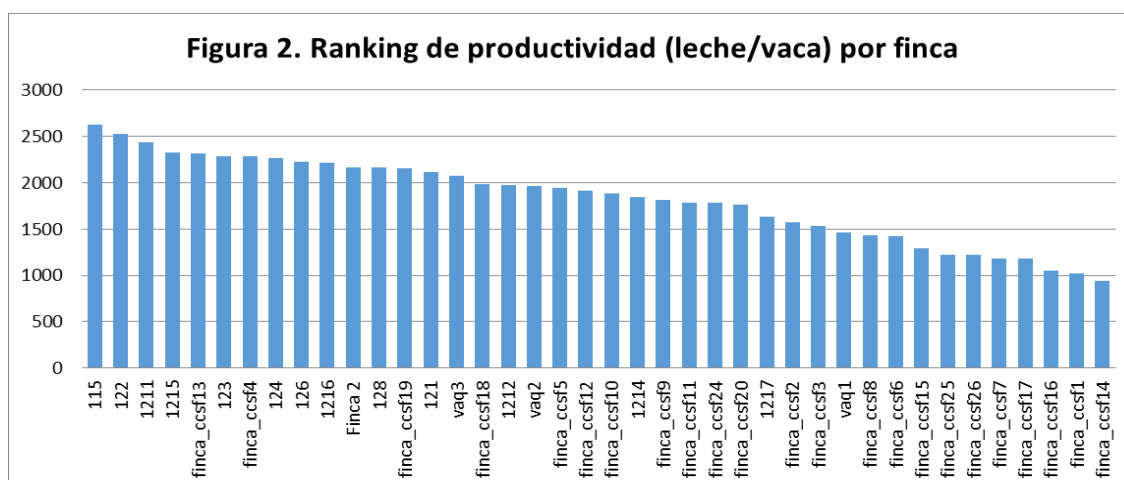
Cod_finca	Leche/vaca (l/vaca)	Ranking	Cod_finca	Ef pron e	Ranking	Cod_finca	Ef prom p	Ranking
115	2624.2	1	finca_ccsf16	0.62	1	vaq3	0.313	1
122	2528.2	2	vaq3	0.575	2	finca_ccsf15	0.313	2
1211	2438.8	3	finca_ccsf13	0.461	3	finca_ccsf16	0.313	3
1215	2328.7	4	1217	0.440	4	finca_ccsf24	0.313	4
finca_ccsf13	2319.0	5	finca_ccsf25	0.439	5	finca_ccsf25	0.313	5
123	2285.4	6	finca_ccsf24	0.415	6	finca_ccsf26	0.313	6
finca_ccsf4	2280.0	7	finca_ccsf15	0.362	7	finca_ccsf1	0.295	7
124	2260.9	8	finca_ccsf26	0.338	8	finca_ccsf7	0.261	8
126	2221.6	9	finca_ccsf1	0.275	9	finca_ccsf2	0.246	9
1216	2217.6	10	finca_ccsf3	0.254	10	finca_ccsf8	0.243	10
Finca 2	2168.208	11	finca_ccsf7	0.242	11	finca_ccsf13	0.240	11
128	2163.6	12	finca_ccsf8	0.231	12	finca_ccsf19	0.238	12
finca_ccsf19	2156.3	13	finca_ccsf2	0.225	13	finca_ccsf10	0.225	13
121	2118.2	14	finca_ccsf19	0.209	14	finca_ccsf3	0.220	14
vaq3	2069.3	15	finca_ccsf10	0.205	15	1214	0.213	15
finca_ccsf18	1983.8	16	1214	0.174	16	finca_ccsf9	0.198	16
1212	1973.4	17	finca_ccsf9	0.169	17	1217	0.185	17
vaq2	1961.6	18	finca_ccsf5	0.164	18	finca_ccsf5	0.184	18
finca_ccsf5	1938.2	19	vaq2	0.154	19	1212	0.180	19
finca_ccsf12	1908.8	20	finca_ccsf11	0.154	20	finca_ccsf11	0.177	20
finca_ccsf10	1883.2	21	1212	0.137	21	Finca 2	0.175	21
1214	1845.0	22	vaq1	0.136	22	finca_ccsf14	0.170	22
finca_ccsf9	1811.3	23	Finca 2	0.133	23	finca_ccsf20	0.166	23
finca_ccsf11	1781.5	24	finca_ccsf20	0.129	24	126	0.155	24
finca_ccsf24	1778.1	25	finca_ccsf14	0.128	25	vaq2	0.154	25
finca_ccsf20	1761.3	26	123	0.126	26	128	0.148	26
1217	1632.5	27	finca_ccsf17	0.116	27	121	0.147	27
finca_ccsf2	1568.7	28	126	0.114	28	vaq1	0.147	28
finca_ccsf3	1533.0	29	121	0.112	29	finca_ccsf17	0.144	29

vaq1	1465.2	30	128	0.109	30	123	0.140	30
finca_ccsf8	1427.5	31	1216	0.099	31	1216	0.136	31
finca_ccsf6	1418.1	32	124	0.097	32	124	0.129	32
finca_ccsf15	1296.4	33	finca_ccsf6	0.082	33	finca_ccsf6	0.117	33
finca_ccsf25	1218.4	34	1215	0.066	34	1215	0.091	34
finca_ccsf26	1217.6	35	1211	0.057	35	1211	0.083	35
finca_ccsf7	1186.3	36	122	0.055	36	122	0.079	36
finca_ccsf17	1179.1	37	finca_ccsf18	0.048104	37	finca_ccsf18	0.062261	37
finca_ccsf16	1050.7	38	finca_ccsf4	0.041786	38	finca_ccsf4	0.059596	38
finca_ccsf1	1021.4	39	115	0.033367	39	115	0.046582	39
finca_ccsf14	944.4	40	finca_ccsf12	0.023595	40	finca_ccsf12	0.031461	40

Resulta interesante el hecho de que según el indicador de productividad utilizado como aproximación de eficiencia, la cantidad promedio de leche producida por vaca, las unidades que ocuparían los primeros 4 puestos son la 115, 122, 1211 y 1215; que de acuerdo a la eficiencia estimada ocupan las ubicaciones 39, 36, 35 y 34 respectivamente. De esta forma se constata que los indicadores simples comúnmente utilizados como aproximación para medir eficiencia no siempre dan resultados robustos (los vaqueros de estas unidades pueden estar muy confiados del desempeño productivo de sus unidades a partir de los resultados del indicador leche/vaca y en realidad sus niveles de eficiencia están entre los peores de las unidades de su municipio).

En las Figuras 1 y 2 se presentan los rankings de las unidades atendiendo a la eficiencia estimada y a la productividad calculada.





Modelos de Clúster

CLUSTER 1

Modelo exponencial

frontier; lhs=LLECHE; rhs=one, LVAOR, LPASTON, LHA, LFORR, year; model=e; eff=e_3\$

Normal exit from iterations. Exit status=0.

```

+-----+
| Limited Dependent Variable Model - FRONTIER |
| Maximum Likelihood Estimates                |
| Model estimated: Oct 10, 2016 at 00:27:50PM. |
| Dependent variable                          |
|   LLECHE                                    |
| Weighting variable                           |
|   None                                      |
| Number of observations                       |
|   55                                        |
| Iterations completed                        |
|   20                                        |
| Log likelihood function                     |
|   164.4352                                 |
| Number of parameters                        |
|   8                                         |
| Info. Criterion: AIC =                      |
|   Finite Sample: AIC =                     |
|   -5.68855                                 |
|   -5.63163                                 |
| Info. Criterion: BIC =                     |
|   -5.39658                                 |
| Info. Criterion:HQIC =                     |
|   -5.57564                                 |
| Exponential frontier model                  |
| Variances: Sigma-squared(v)=                |
|   .00006                                    |
|   Sigma-squared(u)=                        |
|   .00011                                    |
|   Sigma(v)=                                 |
|   .00783                                    |
|   Sigma(u)=                                 |
|   .01038                                    |
| Stochastic Production Frontier, e=v-u.     |
+-----+

```

Tabla 4. Resultados del modelo de frontera estocástica Clúster 1 (distribución exponencial)

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[Z >z]	Mean of X
-----+Primary Index Equation for Model					
Constant	12.1132643	4.27983542	2.830	.0047	
LVAOR	.19613251	.01389023	14.120	.0000	1.24420852
LPASTON	.02609732	.00510731	5.110	.0000	3.88637846
LHA	.27573549	.03732370	7.388	.0000	1.94908402
LFORR	.03375131	.00619095	5.452	.0000	1.63140608
YEAR	-.00528722	.00212023	-2.494	.0126	2009.96364
-----+Variance parameters for compound error					
Theta	96.3470605	31.0373092	3.104	.0019	

```
Sigmav | .00783159 .00230859 3.392 .0007
Modelo Pooled
frontier; lhs=LLECHE; rhs=one, LVAOR, LPASTON, LHA, LFORR, year; eff=e_4$
Normal exit from iterations. Exit status=0.
```

```
+-----+
| Limited Dependent Variable Model - FRONTIER |
| Maximum Likelihood Estimates |
| Model estimated: Oct 10, 2016 at 00:28:32PM. |
| Dependent variable LLECHE |
| Weighting variable None |
| Number of observations 55 |
| Iterations completed 21 |
| Log likelihood function 165.0760 |
| Number of parameters 8 |
| Info. Criterion: AIC = -5.71185 |
| Finite Sample: AIC = -5.65494 |
| Info. Criterion: BIC = -5.41988 |
| Info. Criterion:HQIC = -5.59894 |
| Variances: Sigma-squared(v)= .00002 |
| Sigma-squared(u)= .00042 |
| Sigma(v) = .00401 |
| Sigma(u) = .02058 |
| Sigma = Sqr[(s^2(u)+s^2(v))]= .02096 |
| Stochastic Production Frontier, e=v-u. |
+-----+
```

Tabla 5. Resultados del modelo pooled de frontera estocástica para Clúster 1

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[Z >z]	Mean of X
-----+Primary Index Equation for Model					
Constant	13.1408395	3.50713197	3.747	.0002	
LVAOR	.19660750	.01096315	17.933	.0000	1.24420852
LPASTON	.02484509	.00398833	6.229	.0000	3.88637846
LHA	.25836086	.02829915	9.130	.0000	1.94908402
LFORR	.03657779	.00615258	5.945	.0000	1.63140608
YEAR	-.00577871	.00174236	-3.317	.0009	2009.96364
-----+Variance parameters for compound error					
Lambda	5.13712425	2.70775043	1.897	.0578	
Sigma	.02096437	.00035035	59.839	.0000	

Este clúster se caracteriza por agrupar las unidades con niveles de eficiencia altos, incluso algunas unidades presentan supereficiencia, comentada en el epígrafe teórico (Figura 2). Pudiera considerarse que este grupo de unidades está manejando una tecnología más eficiente que el resto, tecnología que pudiera catalogarse como intensiva de producción. Cabe destacar que excepto una unidad el resto corresponden con unidades de cooperativas de créditos y servicios fortalecidas.

Desde el punto de vista del modelo, estas unidades responden positivamente a los cambios en la superficie de tierra disponible y a la cantidad de animales en ordeño, y negativamente al tiempo (como en el modelo agregado esta variable indica una descapitalización de la tecnología que impacta negativamente en la producción de leche en esta vaquerías).

CLUSTER 2

Modelo exponencial

frontier; lhs=LLECHE; rhs=one, LVAOR, LPASTON, LHA, LFORR, year; model=e; eff=e_3\$
 Normal exit from iterations. Exit status=0.

```

+-----+
| Limited Dependent Variable Model - FRONTIER |
| Maximum Likelihood Estimates                |
| Model estimated: Oct 10, 2016 at 01:18:15PM. |
| Dependent variable                          LLECHE |
| Weighting variable                          None   |
| Number of observations                       27     |
| Iterations completed                        19     |
| Log likelihood function                     88.40051 |
| Number of parameters                        8     |
| Info. Criterion: AIC =                      -5.95559 |
|   Finite Sample: AIC =                     -5.65930 |
| Info. Criterion: BIC =                      -5.57164 |
| Info. Criterion:HQIC =                     -5.84142 |
| Exponential frontier model                  |
| Variances: Sigma-squared(v)=                .00003 |
|           Sigma-squared(u)=                .00006 |
|           Sigma(v) =                       .00591 |
|           Sigma(u) =                       .00778 |
| Stochastic Production Frontier, e=v-u.      |
+-----+
    
```

Tabla 6. Resultados del modelo Clúster 2 de frontera estocástica (distribución exponencial)

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[Z >z]	Mean of X
-----+Primary Index Equation for Model					
Constant	-14.3909056	5.18766036	-2.774	.0055	
LVAOR	.15719426	.03707632	4.240	.0000	.97843563
LPASTON	.03824504	.00745151	5.133	.0000	3.03631357
LHA	.30879240	.06601320	4.678	.0000	1.89709207
LFORR	.05402558	.01606827	3.362	.0008	1.62158234
YEAR	.00784388	.00260119	3.015	.0026	2010.00000
-----+Variance parameters for compound error					
Theta	128.531789	58.0016254	2.216	.0267	
Sigmav	.00591083	.00246359	2.399	.0164	

Modelo Pooled

--> frontier; lhs=LLECHE; rhs=one, LVAOR, LPASTON, LHA, LFORR, year; eff=e_4\$
 Maximum iterations reached. Exit iterations with status=1.

```

+-----+
| Limited Dependent Variable Model - FRONTIER |
| Maximum Likelihood Estimates                |
| Model estimated: Oct 10, 2016 at 01:18:15PM. |
| Dependent variable                          LLECHE |
| Weighting variable                          None   |
| Number of observations                       27     |
| Iterations completed                        101    |
| Log likelihood function                     93.07942 |
| Number of parameters                        8     |
| Info. Criterion: AIC =                      -6.30218 |
|   Finite Sample: AIC =                     -6.00588 |
| Info. Criterion: BIC =                      -5.91823 |
| Info. Criterion:HQIC =                     -6.18801 |
+-----+
    
```



```

| Variances: Sigma-squared(v)=      .00000   |
|           Sigma-squared(u)=      .00024   |
|           Sigma(v)      =      .00000   |
|           Sigma(u)      =      .01540   |
| Sigma = Sqr[(s^2(u)+s^2(v))]=     .01540   |
| Stochastic Production Frontier, e=v-u.   |
+-----+

```

Tabla 7. Resultados del modelo pooled de frontera estocástica para el Clúster 2

```

+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
|Variable| Coefficient | Standard Error |b/St.Er.|P[|Z|>z]| Mean of X|
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
-----+Primary Index Equation for Model
Constant|   -15.3891939   |   .23028557   |  -66.827 | .0000   |
LVAOR   |    .14435592   |   .00073488   |   196.435 | .0000   |
LPASTON |    .04092633   |   .492415D-04 |   831.135 | .0000   |
LHA     |    .34658739   |   .00042133   |   822.594 | .0000   |
LFORR   |    .06635240   |   .00072073   |    92.063 | .0000   |
YEAR    |    .00829919   |   .00011518   |    72.053 | .0000   |
-----+Variance parameters for compound error
Lambda  |   293729.494   |   8899.62464   |   33.005  | .0000   |
Sigma   |    .01540351   |   .00044112   |   34.919  | .0000   |

```

Las unidades que se ubican en este grupo presentan elasticidades similares al del clúster 1, excepto para la respuesta temporal lo cual parece estar indicando que las unidades ubicadas aquí están inmersa en algún proceso de cambio tecnológico que favorece la producción o la eficiencia de la producción de leche, que se revela en el valor positivo de la elasticidad tiempo de la producción de leche (por cada 1% de variación en la tendencia temporal la producción de leche crece casi un 0.01%).

En el clúster 2 se ubican solo 9 unidades, y presentan niveles de eficiencia bastante bajos, inferiores al 15%, Estas unidades pudieran corresponder a una tecnología de producción semi-intensiva o extensiva, según la categorización clásica de las tecnologías utilizadas para caracterizar sistemas productivos en la agricultura según el uso de los recursos creados, naturales y humano. Lo que sí está claro es que se diferencia notablemente del primer grupo de unidades y que no obstante los bajos niveles de eficiencia al parecer estas unidades transitan por un proceso de incorporación o cambio de tecnología que favorece la producción lechera.

CLUSTER 3

Modelo exponencial

frontier;lhs=LLECHE;rhs=one,LVAOR,LPASTON,LHA,LFORR,year;model=e;eff=e_3\$

```

+-----+
| Limited Dependent Variable Model - FRONTIER |
| Maximum Likelihood Estimates                |
| Model estimated: Oct 10, 2016 at 01:22:09PM. |
| Dependent variable                          LLECHE |
| Weighting variable                          None   |
| Number of observations                       36     |
| Iterations completed                        2      |
| Log likelihood function                      87.46912 |
| Number of parameters                        8      |
| Info. Criterion: AIC =                      -4.41495 |
|   Finite Sample: AIC =                      -4.26680 |
| Info. Criterion: BIC =                      -4.06306 |
| Info. Criterion:HQIC =                      -4.29213 |

```

Exponential frontier model	
Variances: Sigma-squared(v)=	.00009
Sigma-squared(u)=	.00019
Sigma(v) =	.00949
Sigma(u) =	.01378
Stochastic Production Frontier, e=v-u.	
-----+	-----+

Tabla 8. Resultados del modelo clúster 3 de frontera estocástica (distribución exponencial)

Variable	Coefficient	Standard Error	b/St.Er.	P[Z >z	Mean of X
-----+Primary Index Equation for Model					
Constant	-5.69553259	6.81163169	-.836	.4031	
LVAOR	.08625387	.03552846	2.428	.0152	.94718707
LPASTON	.06484844	.00965314	6.718	.0000	2.93594232
LHA	.48830674	.08586910	5.687	.0000	1.86390808
LFORR	.00410629	.00413657	.993	.3209	1.11431639
YEAR	.00337284	.00338455	.997	.3190	2010.00000
-----+Variance parameters for compound error					
Theta	72.5483746	46.9726505	1.544	.1225	
Sigmav	.00948505	.00265146	3.577	.0003	

Nota: el modelo Pooled no reportó buenos resultados

El tercer grupo, que incorpora las unidades ubicadas en los clúster 3 y 4, presenta un comportamiento totalmente diferente a las unidades ubicadas en los clúster anteriores, en estas, se observan elasticidades notablemente inferiores para el caso de las vacas en ordeño (apenas la mitad de los valores de elasticidad anteriores), tanto las elasticidades forraje como temporal no son significativas (valor de significación individual mayores que 0.1, lo cual indica que la hipótesis de no significación no puede ser rechazada).

Es notable el valor de elasticidad área útil producción de leche, las unidades de este grupo presenta un valor muy alto de elasticidad superficie útil de la producción, superior al resto de los grupos, 0.488 versus 0.25-0.27 para las unidades del Clúster 1 (intensivo); 0.3-0.34 para las unidades del Clúster 2 (semintensiva). De acuerdo con la clasificación de tecnologías estas empresas podrían catalogarse como portadoras de una tecnología extensiva de producción lechera. Es de destacar que los niveles de eficiencia estimados para este clúster son bajos pero superiores a los del grupo de unidades ubicadas en el clúster 2. De cualquier forma es posible identificar importantes potenciales de mejoramiento de eficiencia sobre todo si se compara con las propias unidades del Clúster 1. De hecho casi las 2/3 de las unidades presentan niveles de eficiencia productiva por debajo del 25%.

En las tablas y figuras que se presentan a continuación se resumen las ubicaciones de las unidades productoras de leche según su pertenencia a un grupo determinado de acuerdo a los valores de eficiencia y productividad. De igual manera que en los casos antes estudiados no siempre el indicador simple utilizado para medir eficiencia resulta una buena aproximación. Por ejemplo en el clúster 1 la unidad ccsf14 de acuerdo a la productividad podría catalogarse como la más eficiente de su grupo, sin embargo la

estimación de la eficiencia la ubica en el nivel 8 de 12.

Tabla 9. Clúster 1. Ranking eficiencia-productividad

Ef Prom e			Productividad		
Fincas Cod	Clúster 1	Ranking	Fincas Cod	L/vaca	Ranking
ccsf26	1.751141	1	ccsf14	7.23443	1
ccsf15	1.35389	2	ccsf5	7.231671	2
ccsf13	1.334847	3	ccsf7	7.195216	3
ccsf5	1.196808	4	ccsf26	7.130652	4
ccsf7	0.859759	5	ccsf6	7.090148	5
ccsf16	0.770896	6	ccsf25	7.07732	6
1217	0.767886	7	1217	7.060602	7
ccsf14	0.673012	8	ccsf15	6.997778	8
ccsf25	0.664382	9	ccsf24	6.943672	9
vaq3	0.49547	10	ccsf13	6.851465	10
ccsf6	0.480591	11	ccsf16	6.818139	11
ccsf24	0.312782	12	vaq3	6.757387	12

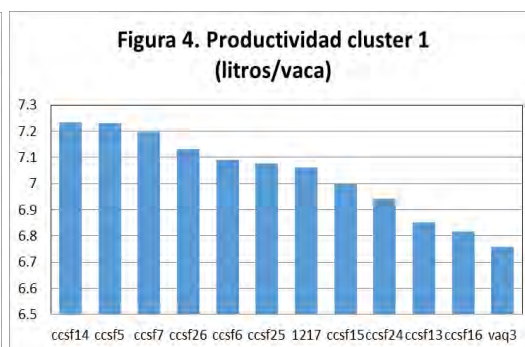
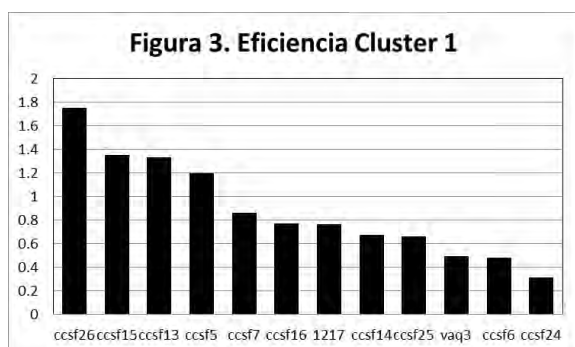


Tabla 10. Clúster 2. Ranking eficiencia-productividad

Ef prom e			Productividad		
Finca Cod	Cluster 2	Ranking	Finca Cod	L/vaca	Ranking
1214	0.113223	1	ccsf9	7.539683	1
ccsf3	0.109282	2	ccsf11	7.538158	2
ccsf2	0.098677	3	1214	7.49885	3
ccsf17	0.081882	4	ccsf10	7.487482	4
ccsf11	0.081617	5	ccsf8	7.47947	5
ccsf1	0.076176	6	ccsf17	7.444098	6
ccsf8	0.054645	7	ccsf3	7.433101	7
ccsf9	0.053856	8	ccsf2	7.409205	8
ccsf10	0.030858	9	ccsf1	7.364005	9

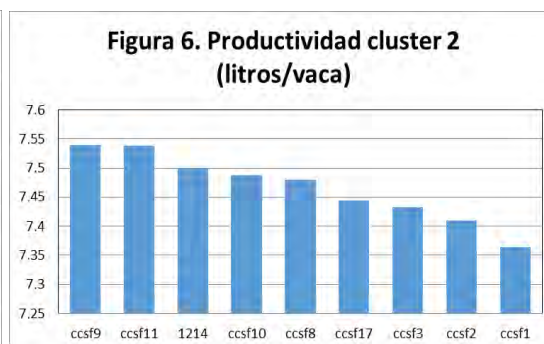
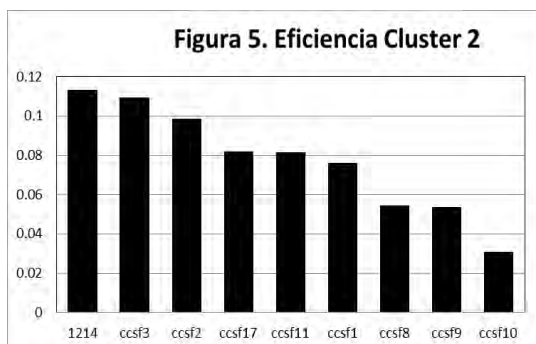
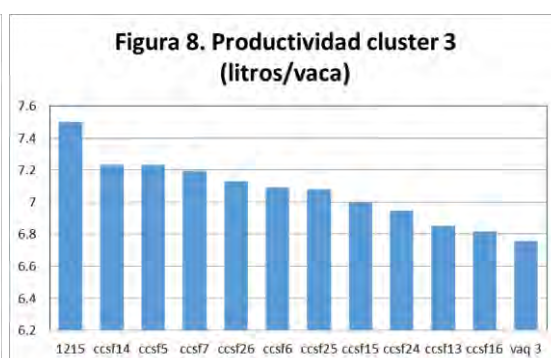
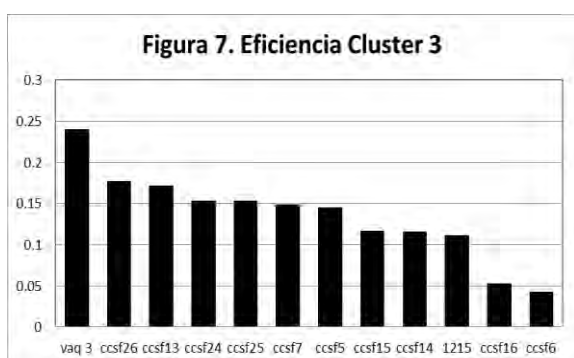


Tabla 11. Clúster 3. Ranking eficiencia-productividad

Ef prom e			Productividad		
Finca Cod	Clúster 3	Ranking	Finca Cod	L/vaca	Ranking
vaq 3	0.240214	1	1215	7.49885	1
ccsf26	0.177137	2	ccsf14	7.23443	2
ccsf13	0.17165	3	ccsf5	7.231671	3
ccsf24	0.153616	4	ccsf7	7.195216	4
ccsf25	0.153079	5	ccsf26	7.130652	5
ccsf7	0.149278	6	ccsf6	7.090148	6
ccsf5	0.145571	7	ccsf25	7.07732	7
ccsf15	0.116847	8	ccsf15	6.997778	8
ccsf14	0.115721	9	ccsf24	6.943672	9
1215	0.111686	10	ccsf13	6.851465	10
ccsf16	0.053141	11	ccsf16	6.818139	11
ccsf6	0.042766	12	vaq 3	6.757387	12



Se puede constatar (ver Tabla 12), que en las vaquerías pertenecientes al clúster 1, se produce leche con una menor sensibilidad al área utilizada, lo que estaría indicando cierta intensidad en el uso de la tierra (principal factor en la función de producción). Las unidades que pertenecen a esta agrupación alcanza los mayores niveles de eficiencia

productiva (en el uso de todos los factores de producción e insumos), y la leche que producen por vaca se obtiene, aparentemente, con el menor “gasto” de recursos.

Tabla 12. Tecnologías productivas. Elasticidad, eficiencia y productividad

Modelo	Elasticidad área	Tipo de “tecnología”	Eficiencia estimada (%)	Productividad Litros de leche/vaca día
Agregado	0.429	-	18-20	5.0
Clúster 1	0.258-0.276	Intensiva	89	7.0
Clúster 2	0.309-0.346	Semi-intensiva	8	7.5
Clúster 3	0.488	Extensiva	14	7.1

Resulta notable el comportamiento de las unidades que integran el grupo 2, presentan una sensibilidad intermedia entre las unidades que pertenecen a los clister 1 y 3 (la producción lechera crece en una proporción mayor con el incremento de la superficie útil, que en el restos de los clúster), pero con niveles de eficiencia bien bajos, los más bajos de las tres agrupaciones de unidades, en este caso al parecer que los resultados productivos (el mayor nivel de productividad relativa), están directamente relacionados con el uso de la superficie. Algo similar ocurre con las unidades que integran el clúster 3, son las vaquerías que mayor sensibilidad presentan entre el área utilizada y la producción de leche, con valores bajos de eficiencia aunque casi el doble de la que presentan las unidades del grupo 2. En estas unidades la productividad parece estar sustentada por el uso extensivo de la superficie utilizada,

Conclusiones

De la aplicación de los modelos de frontera estocástica y clases latentes para la estimación de la demanda agregada y la eficiencia energética se concluye 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.

Con relación a la estimación de la demanda y eficiencia energética en el sector del Transporte se concluye que:

Se han estimado funciones de demanda frontera estocásticas con el fin de medir el nivel de eficiencia energética del sector transporte en América Latina y el Caribe utilizando un panel de datos de 24 países para el período 1990-2010. El enfoque utilizado

constituye un acercamiento novedoso a los estudios sobre la demanda energética del sector en dicha región, lo que confiere gran interés a los resultados que se presentan.

Los distintos tipos de energía que son utilizados en el sector transporte hacen necesario el uso de un índice que agregue el conjunto de precios energéticos para la estimación de estas demandas. Los organismos internacionales de energía no proporcionan ningún tipo de índice de precios para la totalidad de países de la muestra por lo que en el presente artículo se ha construido un índice multilateral transitivo que permite una comparación consistente del precio de la energía entre países a lo largo del tiempo. La construcción de este índice de precios supone una cuestión relevante que a menudo es obviada en este tipo de estudios.

Los modelos que se estiman son una frontera estocástica básica y diversos modelos de clases latentes que llevan a la obtención de demandas diferenciadas que permiten identificar los países de referencia en una comparativa internacional de eficiencia energética. Los resultados indican que el modelo más adecuado para ajustar la demanda de energía es uno en el que se estiman tres clases utilizando la renta per cápita y la densidad de población como variables identificadoras de cada clase. En este modelo se observan diferencias importantes en las elasticidades renta y precio, obteniéndose que los países con mayor renta per cápita y menor densidad de población son asignados con mayor probabilidad a la demanda más inelástica respecto al precio.

Dado que la sensibilidad ante cambios en los precios es claramente distinta para los diferentes grupos de países que se han encontrado, parecería deseable que en los países latinoamericanos se pudiese tener en cuenta estos resultados para introducir un sistema fiscal, de incentivos y de regulación medioambiental similar al existente en otras regiones del mundo, como la Unión Europea o Estados Unidos (Barros y Prieto-Rodríguez, 2008; Chavez-Baeza y Sheinbaum-Pardo, 2014). Además, en general se deberían contemplar mejoras en la eficiencia del combustible así como el trasvase del uso del vehículo privado a un sistema de transporte público. En este sentido, valdría la pena considerar la extensión o adaptación de las políticas nacionales del sector transporte implementadas en algunos lugares de la región con el fin de mejorar la eficiencia y reducir los niveles de contaminación urbana. De hecho, la estimación del modelo de clases latentes identifica como líderes en eficiencia a países que ya han llevado a cabo con éxito programas de mejora del transporte público en algunas de sus ciudades.

Por otra parte, los indicadores de intensidad energética utilizados habitualmente, no siempre pueden ser usados como referencia razonable de la eficiencia energética en el sector transporte. Utilizando las eficiencias que se obtienen a través de un enfoque frontera se muestra que, aunque la eficiencia en media es relativamente alta, existe margen para el ahorro en el consumo energético y por tanto para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Algunas medidas que podrían adoptarse para tal fin son: asignar correctamente los precios de la energía, planificar conjuntamente las

infraestructuras y el uso del suelo para minimizar las distancias, equilibrar la distribución modal, establecer incentivos fiscales al uso de motores de menor consumo, desarrollar combustibles bajos en carbono e implementar programas de concienciación focalizados en la transformación de patrones de uso del transporte hacia modos y hábitos racionales y ambientalmente sostenibles.

Finalmente cabe destacar que, como señala la "paradoja de Jevons", es posible que una parte del potencial ahorro energético predicho en el modelo no sea alcanzable. De ahí el hecho que no baste con garantizar mejoras de eficiencia para reducir el consumo de energía e incrementar los niveles de emisiones evitadas; resultara imprescindible que tales esfuerzos se vean acompañados con otros, quizás mayores y más complejos enfocado a lograr un cambio en los patrones de producción-consumo en la dirección del uso racional de los recursos.

Del modelo de demanda y eficiencia en el uso de la electricidad en el sector Residencial cubano se puede concluir que:

Los resultados de esta investigación permiten afirmar que, en efecto, el uso de los modelos de frontera estocástica para la estimación de la eficiencia en el uso de la electricidad del sector residencial cubano resulta un procedimiento más robusto para la obtención de los potenciales de ahorro de electricidad y de mitigación de emisiones de dióxido de carbono asociados, por lo que no se podría arribar a conclusiones sólidas en la evaluación de política energética y por tanto de mitigación de dióxido de carbono en el sector residencial cubano.

El modelo de demanda de energía eléctrica para el sector residencial, utilizando fronteras estocásticas ofrece resultados robustos para todas las variables explicativas, permitiendo obtener estimados de la eficiencia eléctrica por provincias y por cada año del período de estudio.

Se obtuvo el potencial de ahorro de electricidad y de mitigación de CO₂ asociados a la mejora de la eficiencia en el sector de estudio, arrojando que el potencial de ahorro acumulado estimado, fue mayor que la producción de electricidad en todos los años de estudio, a excepción de 2011, donde llegó a ser del 99%. Mientras, que el potencial de mitigación por aumento de la eficiencia en los hogares cubanos llega a ser de 551 miles de toneladas de CO₂ al año, con las provincias de Ciudad de La Habana, La Habana, y el trío oriental de Granma, Santiago de Cuba y Guantánamo como las de mayor potencial estimado.

Los resultados de eficiencia sitúan a las provincias orientales de Las Tunas y Guantánamo como los territorios con mayores contrastes entre estos resultados y los índices de intensidad eléctrica exhibidos, mientras que estas ocupan los primeros

lugares en cuanto a niveles de intensidad, en eficiencia ocupan los lugares más retrasados, solo superados por la capital del país.

Por primera vez se obtienen valores de la elasticidad climática de la demanda de electricidad en este tipo de investigación, de gran importancia para los responsables de planificar recursos e inversiones para el abastecimiento y el uso de la energía eléctrica. Existe una correspondencia exacta o muy próxima a la exactitud entre la intensidad y eficiencia en solo 3 provincias, a saber, Matanzas, Las Tunas y Guantánamo. Para el resto de los territorios utilizar los índices de intensidad eléctrica como proxy de eficiencia no resultaría adecuado.

Sobre el modelo de frontera aplicado a la función de producción de leche en el municipio de Jimaguayú, se puede concluir que:

Los resultados indican que la eficiencia en la producción de leche de las unidades involucradas en el estudio es bastante baja. Solo el 30% de estas unidades presentan valores de eficiencia mayores del 80% como promedio, con una productividad de algo más de 7 litros/vaca al día, no obstante pertenecer, casi todas a cooperativas de crédito y servicio fortalecidas (CCSF). El resto de las unidades aunque presentaron como promedio productividades algo mayores que las pertenecientes al Grupo 1, presentan niveles de eficiencia inferiores al 15%, y parecen ser altamente dependientes de la cantidad de área que utilizan en el proceso productivo.

La producción de leche es más sensible a los cambios del área útil de las vaquerías, con lo cual estaría avalando la idea de la existencia de las tres “tecnologías” productivas, la intensiva, la semi-intensiva y la extensiva.

En el caso de las unidades agrupadas en el Clúster 2, al parecer están en un proceso de transito tecnológico favorable a la intensificación de la producción lechera, aunque con niveles muy bajos, aun, de eficiencia (inferior al 10%).

Recomendaciones

En el estudio de la estimación de la demanda y eficiencia energética agregada se recomienda:

La aplicación de Índice de precios multilateral transitivo de la energía para la economía agregada. La mayoría de los índices utilizados en los trabajos econométricos presentan el mismo problema a saber, permiten comparaciones de un país consigo mismo a lo largo del tiempo y comparaciones entre países medidas en variaciones de precios (si se impone el mismo año base para todos los países de la muestra), pero no permite la comparación de los niveles de precios entre países a lo largo del tiempo.

En el estudio de estimación de la demanda y eficiencia energética del sector Transporte se recomienda que:

Algunas medidas que podrían adoptarse para tal fin son: asignar correctamente los precios de la energía, planificar conjuntamente las infraestructuras y el uso del suelo para minimizar las distancias, equilibrar la distribución modal, establecer incentivos fiscales al uso de motores de menor consumo, desarrollar combustibles bajos en carbono e implementar programas de concienciación focalizados en la transformación de patrones de uso del transporte hacia modos y hábitos racionales y ambientalmente sostenibles.

La idea recogida en la “paradoja de Jevons o “efecto rebote”, señala que parte del ahorro resultante de un aumento en la eficiencia con la que se usa un recurso, puede verse compensada por un incremento en los niveles de actividad derivado de la propia reducción en costes. Es decir, el incremento de la eficiencia en el uso del recurso no necesariamente implica una reducción directamente proporcional de consumo total del mismo. Una posible línea de investigación futura en el uso de enfoques frontera para la estimación de demandas energéticas podría ser la incorporación del concepto de “efecto rebote” en este tipo de estudios.

Del modelo de demanda y eficiencia en el uso de la electricidad en el sector Residencial cubano se recomienda:

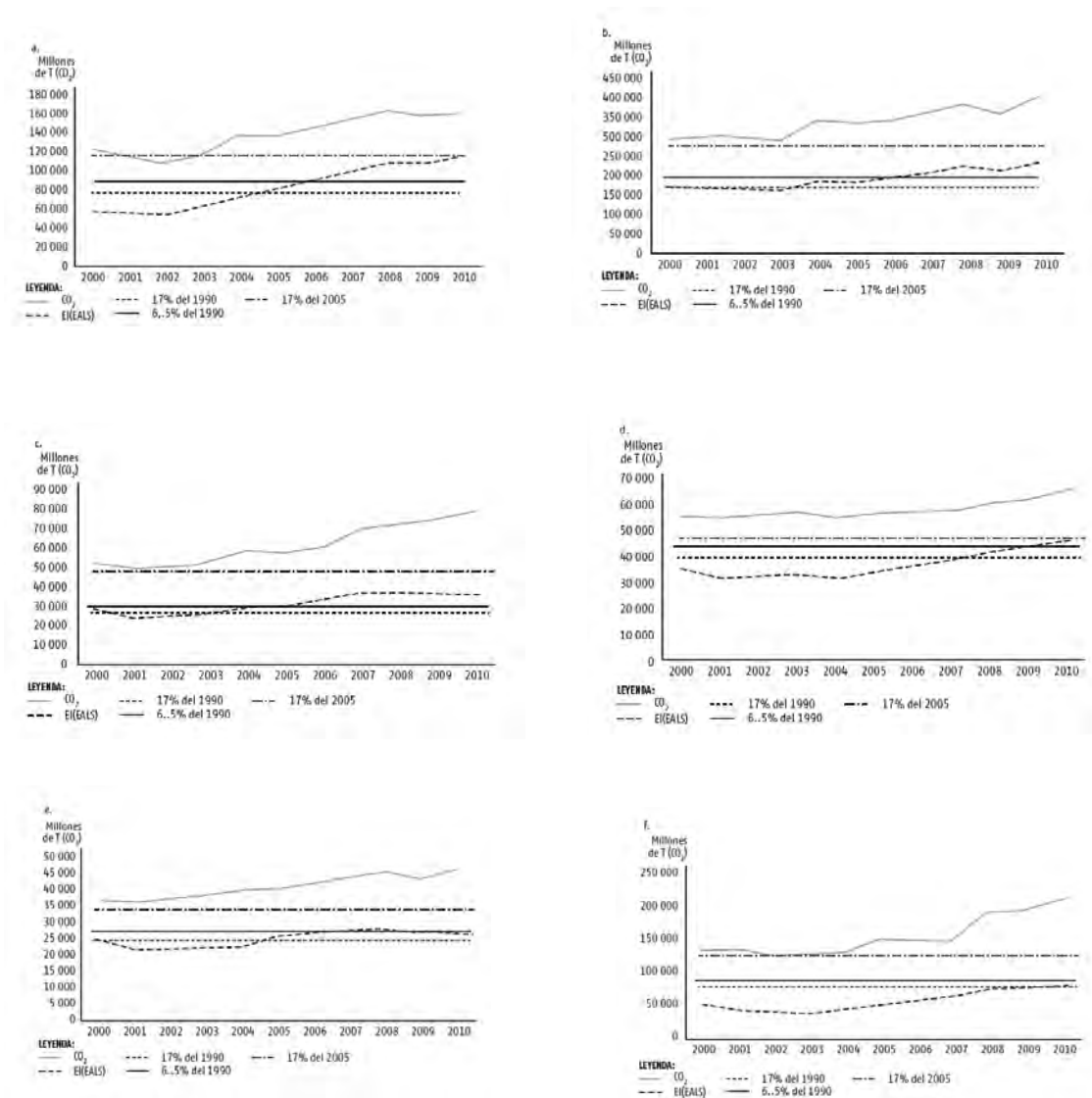
Aplicar la modelación de la demanda a un mayor nivel de desagregación que permita obtener resultados por niveles de ingreso de los hogares; de tal forma que brinde información útil para evaluación y diseño de políticas dirigidas a los diferentes estratos de consumidores. Evaluar la posibilidad de utilizar modelos de clase latente para identificar la heterogeneidad en el uso de la energía por los diferentes estratos, por ejemplo, hogares de bajos ingresos, hogares con actividad cuentapropista.

Ampliar el ámbito de la investigación hacia los sectores residenciales de la región latinoamericana y caribeña, con el fin elevar el nivel de la frontera de demanda

energética (electricidad más el resto de los portadores energéticos utilizado por los hogares) del Sector Residencial. En este caso aplicar modelos de “clases latentes” para identificar el nivel de heterogeneidad de los países y la posible existencia de más de un paradigma tecnológico en la región.

Anexos

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)



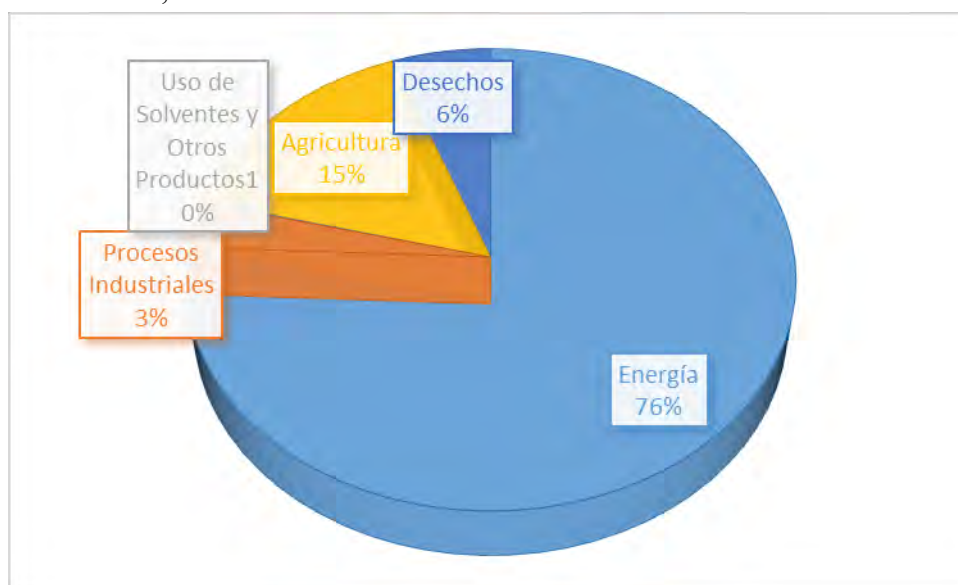
Fuente: elaborado a partir de los resultados de las corridas de los modelos de fronteras

Anexo 2. Potencial de mitigación de CO₂

Cuba, no se encuentra entre los primeros emisores de CO₂ a nivel mundial, al contrario, según las estadísticas del Banco Mundial, Cuba aparece en un lugar 108 en lo que

respecta a emisiones de CO₂ per cápita para el año 2010, con un total de 3.4 toneladas métricas de CO₂ expulsados a la atmósfera. Estas emisiones son dominadas por países desarrollados como son Estados Unidos, China y la Unión Europea. Según, el Reporte de Inventario Nacional de Emisiones y Remociones de Gases de Efecto Invernadero en Cuba. Período 1990-2010, en Cuba las emisiones referidas al módulo de Energía representaron aproximadamente 76 % de las emisiones globales como país. (Figura A 2.1)

Figura A 2.1. Emisiones por sectores del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero. Cuba, 2010.



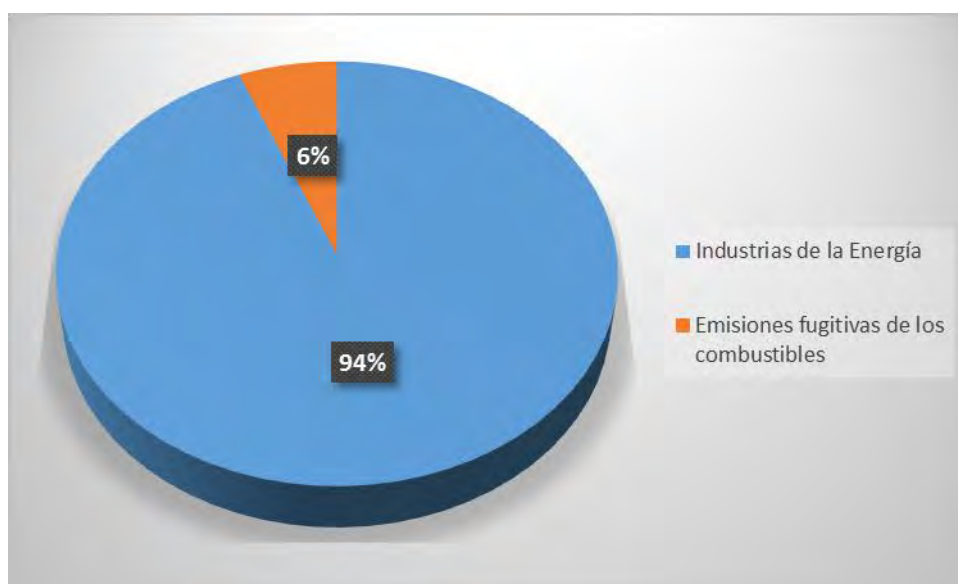
Fuente: elaboración propia.

Durante la combustión completa el carbono contenido en combustibles se oxida y se transforma en dióxido de carbono (CO₂), mientras que en la combustión incompleta también aparecen pequeñas emisiones de CH₄ y N₂O.

En el módulo de energía se abordan las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) procedentes de las actividades energéticas, las cuales se subdividen en dos categorías principales, la quema de combustibles y las emisiones fugitivas. Ambas se fraccionan en subcategorías. Este sector es usualmente el más importante para las emisiones de GEI en la mayoría de los países del mundo, y el nuestro no escapa a ello. (Carrillo E, et. al., 2015)

Del total de emisiones de CO₂ -eq del sector energía, el 94 % pertenecía a la categoría quema de combustibles. (Figura A 2.2)

Figura A 2.2. Emisiones en el sector Energía del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero. Cuba, 2010.

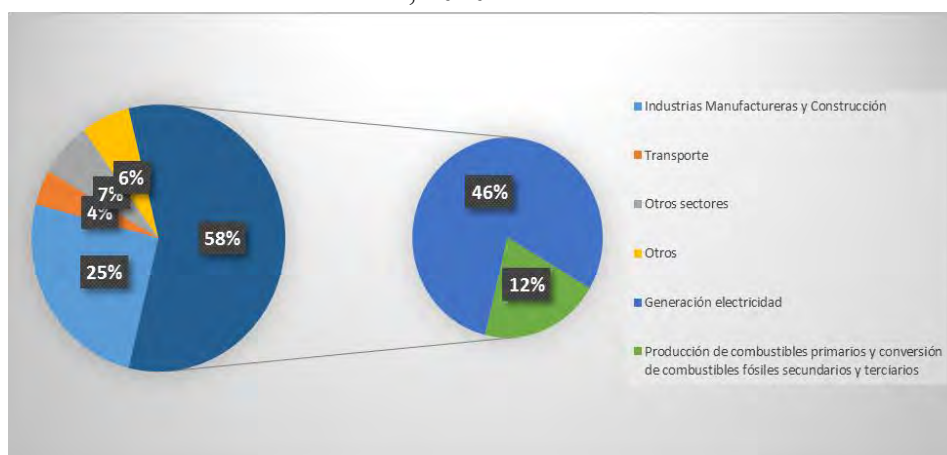


Fuente: Elaborado por el autor

Una de las subcategorías, pertenecientes a la quema de combustibles, es industrias de la energía. Esta comprende tres clases de actividades: (IPCC, 2006)

- Extracción de combustibles primarios (ej. todo lo referente a la minería carbonífera, extracción de petróleo y gas)
- Conversión en combustibles fósiles secundarios (ej. Petróleo crudo en productos del petróleo en las refinerías y carbón en coque)
- Conversión en vectores de energía no fósiles (ej. Del combustible fósil en electricidad y/o calor)

Figura A 2.3. Emisiones en el subsector quema de combustibles del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero. Cuba, 2010.



Fuente: elaboración propia.

Para el año 2010, la categoría de industrias de la energía, representó 58 % de las emisiones de la categoría quema de combustibles (lo que representó el 40 % de las emisiones totales del inventario de GEI en Cuba para dicho año) (Figura A 2.3), y dentro de esta se puede ubicar la generación de energía eléctrica como una actividad principal. Para este mismo año, las emisiones derivadas de la producción de electricidad, fueron de aproximadamente 12 millones de toneladas de CO₂ eq, lo cual equivalió al 46 % de las emisiones en la subcategoría de industrias de la energía (aproximadamente al 32,5 % de las emisiones de GEI en Cuba). (Carrillo E. et. al., 2015)

Tomando el 51 % que representa el consumo de electricidad en el sector residencial del total de energía facturada por la UNE, y comparándolo con las emisiones generadas en la producción de electricidad, se obtiene que la generación de electricidad para el sector residencial en Cuba emite aproximadamente un total de 6630 Gg de CO₂ eq, lo que representaría a nivel nacional un 16,6 % de las emisiones de GEI totales.

Anexo 3

Construcción del índice de precios

OLADE proporciona información sobre precios y cantidades consumidas de los distintos tipos de energía utilizados en el sector transporte en América Latina y el Caribe. Las categorías que aparecen en su base de datos son: gas natural, gas licuado, electricidad, distintos tipos de gasolinas, queroseno, diesel oil y fuel oil. Sin embargo, este organismo no proporciona ningún tipo de precio general de la energía para estos países. Para estimar una demanda agregada de energía en transporte se hace necesario por tanto obtener un indicador o índice que tenga en cuenta los distintos componentes en el consumo energético del sector. De forma general un índice de precios compuesto puede definirse como:

$$PI_{0t} = \frac{\sum_{m=1}^M P_{mt} Q_{mt}}{\sum_{m=1}^M P_{m0} Q_{m0}} \quad (A1)$$

donde PI_{0t} mide el cambio en el valor del total de los M componentes energéticos entre el periodo base 0 y el periodo final t . En este tipo de índices es difícil distinguir entre el cambio que se produce puramente en precios y el cambio que se produce en las cantidades consumidas. Los dos índices más utilizados en la práctica y calculados habitualmente por organismos internacionales para el consumo total de energía, como por ejemplo la IEA, son los de Laspeyres y Paasche. En el primero de ellos se utilizan las cantidades consumidas en el año base como ponderaciones tanto en el numerador como en el denominador (qm_0), por lo que este índice aísla el cambio en precios sin

tener en cuenta cambios en los patrones de consumo. El segundo tipo de índice utiliza como ponderaciones las cantidades de energía del periodo actual (qmt) por lo que en este caso este índice recoge simultáneamente variaciones en precios y cantidades. Estos dos índices representan por tanto dos casos extremos, y únicamente coincidirán cuando los precios relativos no experimenten variación (pmt/pm0 constante).

Existen sin embargo diferentes alternativas que combinan ambos enfoques para tratar esta cuestión, como son el índice Fisher y el índice Törnqvist. No obstante, todos los índices citados hasta ahora presentan el mismo problema, permiten comparaciones de un país consigo mismo a lo largo del tiempo y comparaciones entre países medidas en variaciones de precios (si se impone el mismo año base para todos los países de la muestra), pero no permite la comparación de los niveles de precios entre países a lo largo del tiempo.

En trabajos en los que se manejan datos internacionales, se hace necesario el uso de un índice que permita superar esta dificultad. La solución al problema pasa por poder obtener comparaciones multilaterales transitivas (así denominadas en la literatura de números índice) entre países y fue planteada por Elteto y Koves (1964) y Szulc (1964). Este método, conocido como EKS, fue empleado tiempo después por Caves et al. (1982) para obtener índices de Törnqvist transitivos, cuya fórmula, siguiendo a Coelli et al. (2005), es:

$$\ln PI_{ij}^{CCD} = \frac{1}{2} \sum_{m=1}^M (\omega_{nj} + \bar{\omega}_m) (\ln p_{nj} - \overline{\ln p_m}) - \frac{1}{2} \sum_{m=1}^M (\omega_{mi} + \bar{\omega}_m) (\ln p_{mi} - \overline{\ln p_m}) \quad (A2)$$

donde ω_{mi} representa la importancia que tiene el componente m en el gasto energético en el sector transporte del país i y $\bar{\omega}_m$ es la media aritmética de estas cuotas de gasto. Por otra parte $\overline{\ln p_m}$ representa el promedio del precio del componente energético m para el conjunto de países.

La interpretación intuitiva de la ecuación (A2) es que para comparar los índices de precios de dos países, primero se compara cada uno de ellos con el país promedio y luego se calculan diferencias con relación a dicha media. Lógicamente, a diferencia de otros índices, cuando se añade o sustrae una observación a la muestra deben recalcularse todos los valores, puesto que en ese caso la media de la muestra se ve alterada.

Cabe destacar que en nuestra aplicación empírica en particular, el uso de un enfoque como el de Caves et al. (1982) en la construcción del índice de precios mejora notoriamente la calidad del ajuste que se obtiene al estimar los modelos. Si no se utiliza un índice multilateral transitivo y por el contrario se utiliza un índice tipo Paasche o Laspeyres, el logaritmo de la función de verosimilitud cae radicalmente hasta alcanzar valores negativos. El uso de estos índices más sencillos supone asumir en la práctica que cada país tiene un efecto individual específico, lo que significa que se está introduciendo heterogeneidad de forma artificial en el modelo y por tanto debe ser necesariamente estimado incorporando efectos individuales como en los modelos TFE y TRE.

Bibliografía

Álvarez, A., J. del Corral, J.A. Pérez y D. Solís (2007): “Efecto de la intensificación sobre la eficiencia de las explotaciones lecheras”, *Economía Agraria y Recursos Naturales*, vol. 7, 2, págs. 91-106.

Farsi, M., Filippini, M. y Kuenzle, M. (2005), “Unobserved heterogeneity in stochastic frontier models: An application to Swiss nursing homes”, *Applied Economics*, 37, 2127-2141.

Greene, W. (2004): “Distinguishing between Heterogeneity and Inefficiency: Stochastic Frontier Analysis of the World Health Organization’s Panel Data on National Health Care Systems”, *Health Economics*, vol. 13, 10, págs. 959-980.

Greene, W. (2005): “Reconsidering Heterogeneity in Panel Data Estimators of the Stochastic Frontier Model”, *Journal of Econometrics*, vol. 126, págs. 269-303.

Greene, W. (2005a), “Fixed and random effects in stochastic frontier models”, *Journal of Productivity Analysis*, 23, 7-32.

Griliches, Z. (1957): “Specification Bias in Estimates of Production Function”, *Journal of Farm Economics*, vol. 39, 1, págs. 8-20.

Hildreth, C. y J. Houck (1968): “Some Estimators for a Linear Model with Random Coefficients”, *Journal of the American Statistical Association*, vol. 63, págs. 584-595.

Kumbhakar, S., E. Tsionas, B. Park y L. Simar (2007): “Nonparametric Stochastic Frontiers: A Local Maximum Likelihood Approach”, *Journal of Econometrics*, vol. 137, págs. 1-27.

Maudos, J., J. Pastor y F. Pérez (2002): “Competition and Efficiency in the Spanish Banking Sector: the Importance of Specialization”, *Applied Financial Economics*, vol. 12, págs. 505-516.

Mundlak, Y. (1961): “Empirical Production Function Free of Management Bias”, *Journal*

of Farm Economics, vol. 43, págs. 44-56.

Modelo Agregado

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, monographic, No 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, pp. 276-280.

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>> [10/11/2013].

SIEE-OLADE (2012): «Sistema económico energético de la Organización Latinoamericana de la Energía», <<http://olade.org/es/productos/siee>> [4/12/2013].

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.

Modelo del Transporte

Al-Ghandoor, A., Samhoury, M., Al-Hinti, I., Jaber, J. y Al-Rawashdeh, M. (2012), “Projection of future transport energy demand of Jordan using adaptive neuro-fuzzy technique”, *Energy*, 38(1), 128-135.

Ang, B.W. (2006), “Monitoring changes in economy-wide energy efficiency: From energy-GDP ratio to composite efficiency index”, *Energy Policy*, 34, 574-582.

Aigner, D., Lovell, K. y Schmidt, P. (1977), “Formulation and estimation of stochastic frontier production function models”, *Journal of Econometrics*, 6, 21-37.

Bauer, M., Mar, E. y Elizalde, A. (2003), “Transport and energy demand in Mexico: the personal income shock”, *Energy Policy*, 31(14), 1475-1480.

Barros, C.P. y Prieto-Rodríguez, J. (2008), “A revenue-neutral tax reform to increase demand for public transport services”, *Transportation Research Part A*, 42, 659-672.

Caudill, S.B., and Ford, J.M. (1993), “Biases in frontier estimation due to heteroscedasticity”, *Economic Letters*, 41, 17–20.

Caudill, S.B., Ford, J.M. and Gropper, D.M. (1995), “Frontier estimation and firm-specific inefficiency measures in the presence of heteroscedasticity”, *Journal of Business & Economic Statistics*, 13, 105-11.

Caves, D.W., Christensen, L.R. y Diewert, W.E. (1982), “The economic theory of index numbers and the measurement of input, output, and productivity”, *Econometrica*, 50(6), 1393-1414.

CEPAL (2005), *The millennium development goals: A Latin American and Caribbean perspective*, United Nations Publications, Santiago de Chile.

- CEPAL (2010), Sustainable development in Latin America and the Caribbean: Trends, progress, and challenges in sustainable consumption and production, mining, transport, chemicals and waste management, United Nations, Publications, Santiago de Chile.
- Ceylan, H., Ceylan, H., Haldenbilen, S. y Baskan, O. (2008), "Transport energy modeling with meta-heuristic harmony search algorithm, an application to Turkey", *Energy Policy*, 36(7), 2527-2535.
- Chavez-Baeza, C. y Sheinbaum-Pardo, C. (2014), "Sustainable passenger road transport scenarios to reduce fuel consumption, air pollutants and GHG (greenhouse gas) emissions in the Mexico City Metropolitan Area", *Energy*, 66(1), 624-634.
- Coelli, T.J., Rao, D.S.P., O'Donnell, C.J. y Battese, G.E. (2005), *An introduction to efficiency and productivity analysis*, 2nd ed., Springer, New York.
- Dahl, C. (1995), "Demand for transportation fuels: a survey of demand elasticities and their components", *The Journal of Energy Literature*, 1, 3-27.
- Dreher, M., Wietschel, M., Göbel, M. y Rentz, O. (1999), "Energy price elasticities of energy service demand for passenger traffic in the Federal Republic of Germany", *Energy*, 24(2), 133-140.
- Elteto, O. y Koves, P. (1964), "On a problem of index number computation relating to international comparison", *Statisztikai Szemle*, 42, 507-18.
- Farsi, M., Filippini, M. y Kuenzle, M. (2005), "Unobserved heterogeneity in stochastic frontier models: An application to Swiss nursing homes", *Applied Economics*, 37, 2127-2141.
- Filippini, M. y Hunt, L.C. (2011), "Energy demand and energy efficiency in the OECD countries: A stochastic demand frontier approach", *The Energy Journal*, 32(2), 59-80.
- Filippini, M. y Hunt, L.C. (2012), "US residential energy demand and energy efficiency: A stochastic demand frontier approach", *Energy Economics*, 34(5), 1484-1491.
- Fonseca, J.R.S. y Cardoso, M.G.M.S. (2007), "Mixture-model cluster analysis using information theoretical criteria", *Intelligent Data Analysis*, 11(2), 155-173.
- Galindo, L.M. (2005), "Short-and long-run demand for energy in Mexico: a cointegration approach", *Energy Policy* 33(9), 1179-85.
- Graham, D. y Glaister, S. (2002), "The demand for automobile fuel: a survey of elasticities", *Journal of Transport Economics and Policy*, 36, 1-26.
- Greene, W. (2004), "Distinguishing between heterogeneity and inefficiency: stochastic frontier analysis of the World Health Organization's panel data on national health care systems", *Health Economics*, 13, 959-980.
- Greene, W. (2005a), "Fixed and random effects in stochastic frontier models", *Journal of Productivity Analysis*, 23, 7-32.
- Greene, W. (2005b), "Reconsidering heterogeneity in panel data estimator of the stochastic frontier model", *Journal of Econometrics*, 126, 269-303.
- Haldenbilen, S. y Ceylan, H. (2005), "Genetic algorithm approach to estimate transport energy demand in Turkey", *Energy Policy*, 33(1), 89-98.

- Heston, A., Summers, R. y Aten, B. (2012), Penn World Table Version 7.1, Center for International Comparisons of Production, Income and Prices at the University of Pennsylvania.
- Hao, H., Wang, H. y Yi, R. (2011), "Hybrid modeling of China's vehicle ownership and projection through 2050", *Energy*, 36(2), 1351-1361.
- IEA (2014), *Energy efficiency indicators: Essentials for policy making*, International, IEA Publishing, Paris
- Islas, J., Manzini, F. y Masera, O. (2007), "A prospective study of bioenergy use in Mexico", *Energy*, 32(12), 2306-2320.
- Jondrow, J., Lovell, C.A.K., Materov, I.S. y Schmidt, P. (1982), "On the estimation of technical efficiency in the stochastic frontier production function model", *Journal of Econometrics*, 19, 233-238.
- Limanond, T., Jomnonkwo, S. y Srikaew, A. (2011), "Projection of future transport energy demand of Thailand", *Energy Policy*, 39, 2754-2763.
- Lu, I.J., Lin, S.J. y Lewis, C. (2008), "Grey relation analysis of motor vehicular energy consumption in Taiwan", *Energy Policy*, 36(7), 2556-2561.
- Lu, I.J, Lewis, C. y Lin, S.J. (2009), "The forecast of motor vehicle, energy demand and CO₂ emission from Taiwan's road transportation sector", *Energy Policy*, 37(8), 2956-2961.
- Manzini, F. (2006), "Inserting renewable fuels and technologies for transport in Mexico City Metropolitan Area", *Hydrogen Energy*, 31, 327-335.
- Mundlak, Y. (1978), "On the pooling of time series and cross section data", *Econometrica*, 64, 69-85.
- Murat, Y.S. y Ceylan, H. (2006), "Use of artificial neural networks for transport energy demand modeling", *Energy Policy*, 34(17), 3165-3172.
- Orea, L. y Kumbhakar, S. (2004), "Efficiency measurement using stochastic frontier latent class model", *Empirical Economics*, 29, 169-183.
- Pradhan, S., Bahadur, B. y Bhusan, V. (2006), "Mitigation potential of greenhouse gas emission and implications on fuel consumption due to clean energy vehicles as public passenger transport in Kathmandu Valley of Nepal: a case study of trolley buses in ring road", *Energy*, 31(12), 1748-1760.
- Reifschneider, D. and Stevenson, R. (1991), "Systematic departures from the frontier: A framework for the analysis of firm inefficiency", *International Economic Review*, 32: 715-723.
- Saad, S. (2010), "Improved technical efficiency and exogenous factors in transportation demand for energy: an application of structural time series analysis to South Korean data", *Energy*, 35(7), 2745-2751.
- Samini, R. (2003), "Road transport energy demand modelling. A cointegration approach", *Energy Economics*, 17(4), 329-339.
- Schmidt, P. y Sickles, R.C. (1984), "Production frontiers and panel data", *Journal of Business and Economic Statistics*, 2(4), 367-374.

- Stead, D. (2001), "Transport intensity in Europe – indicators and trends", *Transport Policy*, 8, 29-46.
- Suganthi, L. y Samuel, A.A. (2012), "Energy models for demand forecasting—A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(2), 1223-1240.
- Szulc, B. (1964), "Indices for multiregional comparisons", *Przegląd Statystyczny* 3, *Statistical Review* 3, 239-54.
- Wohlgemuth, N. (1997), "World transport energy demand modeling: methodology and elasticities", *Energy Policy*, 25 (14–15), 1109-1119.
- Zhang, M., Mu, H., Li, G. y Ning, Y. (2009), "Forecasting the transport energy demand based on PLSR method in China", *Energy*, 34(9), 1396-1400.

Demanda y eficiencia en el uso de la electricidad en el sector Residencial cubano

- Aigner D. J. and S. F. Chu (1968): "On Estimating the Industry Production Function". *American Economic Review* 58, pp 826-839.
- Aigner D. L., C. K. Lovell, P. Schmidt (1977): "Formulation and estimation of stochastic frontier production function models". *Journal of Econometrics*, 6 (1). pp. 21-37.
- Aranda A., S. Scarpellini, M. Feijoó (2003): "Análisis de la eficiencia energética de la industria española y su potencial de ahorro". *Economía Industrial*. No. 352. pp. 11-14.
- Argota D. (2013): "Estudio de las principales cargas eléctricas del sector residencial en Cuba". *Ciencia & Futuro*. V. 3 No. 3. ISSN 2306-823X. pp. 11-25.
- Arrastía M. (2006): "Diez preguntas sobre el ahorro de electricidad". *Energía y tú*. No 33. pp. 7-12.
- Belotti F., S. Daidone, V. Atella and G. Hardi (2012): "Stochastic frontier analysis using Stata". *Centre for Economic and International Studies Tor Vergata. Research paper series*. Vol. 10, Issue 12, No. 251. pp. 48
- Brendt, E. (1991): "The Practice of Econometrics. Classic and Contemporary". Chapter 7. *The Demand for Electricity. Structural and Time Series Approaches*, pp 306-360. Massachusetts Institute of Technology and National Bureau of Economic Research. Addison-Wesley Publishing Company.
- Bútieva, I. V, Ilichiova, E. M. y Kornilova, R. P. (1984): "Régimen de tiempo y sensación térmica del hombre en diferentes zonas naturales de la URSS en el período cálido del año". *Materiales de Investigaciones Meteorológicas*, 8: Moscú, pp. 74 – 81

Canay I. A. (2001): “Fronteras de Eficiencia Estocásticas: Comparación Internacional de Distribuidoras Eléctricas”. Seminario de Integración y Aplicación, Licenciatura en Economía. (on line:

Carrillo E., R. Manso, C. Sosa, Y. González, A. León, A. V. Guevara, C. González, D. Boudet, M. Amáralas, R. Biart I. López, D. Pérez, H. Ricardo, A. Mercadet, A. Álvarez, Y. Rodríguez (2015): “Emisiones y Remociones de Gases de Invernadero en Cuba. Reporte Actualizado para el Período 1990 – 2010”. CITMA/AMA/Instituto de Meteorología. La Habana.

Castilla D., J. J. García (2009): “El análisis de fronteras estocásticas: orígenes y desarrollo”. (on line:

Coelli T.J. (1995): “Recent developments in frontier modelling and efficiency measurement” *Australian Journal of Agricultural Economics*, Vol. 39, No. 3, pp 219-245.

Cruz T., R. Sosa (2013): “El cambio climático: contexto histórico”. ISSN 2077-4745. Boletín Técnico Porcino No. 23. Instituto de Investigaciones Porcinas, La Habana, Cuba. pp. 3-4.

Colectivo de autores (2004): “Hacia una conciencia energética”. Suplemento Especial Universidad para Todos. Editorial Academia. La Habana, Cuba.

Colectivo de autores (2007): “Economía Cubana 1996-2006”. Dirección de Estudios Económicos del Banco Central de Cuba. La Habana, Cuba.

Colectivo de autores (2010): “Energía y Cambio Climático”. Suplemento Especial Universidad para Todos. ISBN 978-959-270-176-2. Editorial Academia. La Habana, Cuba.

Colectivo de autores (2015): “República de Cuba. Segunda Comunicación Nacional a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático”. (on line: <http://unfccc.int/resource/docs/natc/cubnc2.pdf>)

Evans J., M. Filippini, L. C. Hunt (2011): “Measuring energy efficiency and its contribution towards meeting CO₂ targets: estimates for 29 OECD countries”. ISSN 1749-8384. Surrey Energy Economics Discussion paper Series (SEEDS) 135. Surrey Energy Economics Centre (SEEC). Department of Economics. University of Surrey, Guildford, UK. pp. 42.

Farrel M. J. (1957): “The Measurement of Productive Efficiency”. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A*, Vol. 120, No. 3. pp. 253-290

Filippini M., L. C. Hunt (2010): “Energy demand and energy efficiency in the OECD countries: a stochastic demand frontier approach”. ISSN 1749-8384. Surrey Energy

Economics Discussion paper Series (SEEDS) 127. Surrey Energy Economics Centre (SEEC). Department of Economics. University of Surrey, Guildford, UK. pp. 36

Filippini M., L. C. Hunt (2010) (a): "US Residential Energy Demand and Energy Efficiency: A Stochastic Demand Frontier Approach". ISSN 1749-8384. Surrey Energy Economics Discussion paper Series (SEEDS) 130. Surrey Energy Economics Centre (SEEC). Department of Economics. University of Surrey, Guildford, UK. pp. 30

Franzt R. (2004): "The Behavioral Economics of George Akerloff and Hervey Leibenstein". Journal of Socio-Economics, 33. pp 29-44.

Greene W. H. (1980): "Maximum likelihood estimation of econometric frontier functions". Journal of Econometrics, 13. pp 27-56.

Greene W. H. (1990): "A gamma-distributed stochastic frontier model". Journal of Econometrics, 46. pp 141-163.

Greene W. H. (2005): "Reconsidering heterogeneity in panel data estimators of the stochastic frontier model". Journal of Econometrics, 126. pp 269-303.

Hohne N., C. Ellermann, L. Li (2014): "Contribuciones previas determinadas a nivel nacional en el marco de la CMNUCC". Documento de debate de International Partnership on Mitigation and MRV. Ecofys. pp. 20.

IEA (2009): "Progress with implementing energy efficiency policies in the G8". International Energy Agency Paper. (on line: http://www.iea.org/Textbase/publications/free_new_Desc.asp?PUBS_ID=2127)

IEE/FB (Instituto de Economía Energética, Fundación Bariloche): "Modelos Energéticos", Seminario-Taller Política Energética para el Desarrollo Sustentable y el uso del Modelo LEAP. San Carlos de Bariloche, Argentina.

IPCC (2006): "2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories". Volume II. IPCC-NGGIP. Japan.

Jondrow J., C. Lovell, I. Materov, P. Schmidt (1982): "On the estimation of technical efficiency in the stochastic production function model". Journal of Econometrics 19. pp. 233-328.

Koopmans T. C. (1951): "An analysis of production as an efficient combination of activities". Activity Analysis of Production and allocation. Jhon Wiley and Sons, Inc.

Leibenstein H. (1966): "Allocative efficiency vs. „X-efficiency“". American Economic Review, 56. pp 392-415.

Montoya A. (2013): "Análisis de eficiencia del sector hospitalario: el caso colombiano". Tesis para optar al título de Maestría en Economía de la Universidad del Rosario. pp. 38

Meeusen, W., J. van den Broeck (1977): "Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Functions with Composed Error". *International economic Review*, 18 (2). pp 435-444.

Morales D., L. J. R. Luyando, D. Flores (2012): "Determinantes del consumo de energía eléctrica residencial de la Zona Metropolitana de Monterrey, Nuevo León, en México". ISSN 0124-4639. Universidad del Rosario, Colombia. pp. 79-98.

Lema D., G. Delgado (2000): "Productividad y fuentes de eficiencia técnica en apicultura: Estimación de fronteras estocásticas de producción con datos de panel". Instituto de Economía y Sociología. INTA. Argentina. pp. 22.

Llorca M. J. F. Baños, J. Somoza, P. González (2014): "La medición de la eficiencia energética en el sector transporte de América Latina y el Caribe". ----- pp. 31.

Pérez L., A. V. Guevara, M. Santana, A. León (2013): "Lluvia y bienestar térmico en La Habana". Congreso SOMETCUBA 2013. ISBN: -----. La Habana, Cuba.

Planos E., Vega R., Guevara A., Editores (2013) *Impactos del Cambio Climático y medidas de adaptación en Cuba*. Instituto de Meteorología, Agencia de Medio Ambiente y Tecnología. La Habana. Cuba. 430 pp. ISBN: 978-959-300-039-0.

Rey O., (2011): "Fundamentos del Derecho Ambiental". Ediciones ONBC. ISBN 978-959-7066-72-9. pp 238.

Somoza J. (2006): "Modelos para la estimación y proyección de la demanda de electricidad en el sector residencial cubano". Ensayo para la obtención de los créditos correspondientes a la Suficiencia Investigativa. Programa de Doctorado Universidad de Oviedo-Universidad de La Habana.

Somoza J. (2007): "Estimación de la demanda de energía en el sector residencial cubano utilizando datos de panel". pp. 18.

Somoza J. (2009): "Estimación de la demanda de energía. Cuba en el contexto de América Latina y el Caribe". Tesis presentada en opción al grado de Doctor en Ciencias Económicas. Facultad de Economía, Universidad de La Habana. pp 149.

Somoza J., J. A. Baños, M. Llorca (2013): "La medición de la eficiencia energética y su contribución a la mitigación de emisiones de CO₂, para 26 países de América Latina y el Caribe". ISBN 978-959-300-034-5. III Congreso de Cambio Climático, Memorias de la IX Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo. La Habana, Cuba.

Stevenson R. (1980): "Likelihood functions for generalized stochastic frontier estimation". *Journal of econometrics*, 13. pp 58-56.

Timmer, C. P. (1971): “Using a Probabilistic Frontier Function to Measure Technical Efficiency”. *Journal of Political Economy* 79. pp 776-794.

van Beck N. (1999): “Clasificación of Energy Models”. Tilburg University & Eindhoven University of Technology.