

## Potencial de mitigación de dióxido de carbono en el consumo de electricidad del sector residencial en Cuba

### Potential of mitigation of carbon dioxide in the consumption of electricity of the residential sector in Cuba

Ernesto R. Carrillo-Vitale<sup>1✉</sup>, José Somoza-Cabrera<sup>2</sup>, Dagne Boudet-Rouco<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba

<sup>2</sup> Universidad de La Habana, La Habana, Cuba

#### Resumen

A pesar de las medidas de reducción de emisiones y el fortalecimiento de la voluntad política a nivel internacional, las concentraciones globales de CO<sub>2</sub> rompen record cada año, llegando a alcanzar en el año 2014 los 400 ppm. Aunque las emisiones nacionales a nivel mundial no son representativas (apenas alcanzan el 0.1% de todas las emisiones de GEI a nivel mundial), habrá que adoptar compromisos de mitigación con el fin de honrar el nuevo “Acuerdo de París”, que entra en vigor a partir de 2020. El objetivo de esta investigación es determinar los valores de eficiencia en el uso de la electricidad por provincia, y los potenciales de ahorro de energía y mitigación de emisiones de dióxido de carbono resultantes del mejoramiento de la eficiencia eléctrica para el sector residencial cubano. Este estudio presenta como valor científico la estimación de la eficiencia por provincias para determinar el potencial de mitigación de emisiones de GEI, que resultan una información muy conveniente y oportuna para determinar la participación del sector en los esfuerzos encaminados a la reducción de emisiones resultante de futuros compromisos a las que las autoridades políticas del país se verán obligadas a honrar; además de determinar los impactos de la variación climática sobre la demanda de electricidad en el sector residencial. Los resultados obtenidos permiten aceptar la hipótesis que 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.

**Palabras clave:** frontera estocástica, eficiencia, mitigación

✉ Autor para correspondencia: Ernesto R. Carrillo-Vitale. E-mail: [ernesto.carrillo@insmet.cu](mailto:ernesto.carrillo@insmet.cu)

Recibido: 4/8/2017

Aceptado: 12/9/2017

## **Abstract**

Even with measures to reduce emissions and strengthen political will at the international level, global CO<sub>2</sub> concentrations break record every year, reaching 400 ppm in 2014. Although global national emissions are not representative (0.1% of all global GHG emissions), we must adopt mitigation commitments in order to honor the new "Paris Agreement", which will come into effect from 2020. The objective of this research is to determine the efficiency in the use of electricity by province and the potential of energy saving and mitigation of carbon dioxide emissions resulting from the improvement of electricity efficiency for the Cuban residential sector. This study presents scientific value because it estimates the efficiency by provinces to determine the mitigation potential of GHG emissions, which are very convenient and timely information to determine the participation of the sector in the efforts to reduce emissions resulting from future commitments that Political authorities of the country will be forced to honor. In addition, the impacts of climate change on the demand for electricity in the residential sector will be determined. The results obtained allow us to accept the hypothesis that the use of stochastic frontier models for the estimation of electricity use efficiency in the Cuban residential sector, is a more robust procedure to obtain electricity saving and mitigation potentials of associated carbon dioxide emissions.

**Keyword:** stochastic frontier, efficiency, mitigation

## **Introducción**

A pesar de las medidas de reducción de emisión es de gases de efecto invernadero (GEI) y el fortalecimiento de la voluntad política a nivel internacional, las concentraciones globales de CO<sub>2</sub> rompen record cada año, llegando a alcanzar en el año 2014 los 400 ppm. Al término del periodo de vigencia del Protocolo de Kyoto se puede decir que no se logran los objetivos de reducción de emisiones previstos, por lo que en la actualidad se sigue trabajando en la cooperación a largo plazo en el marco de la Convención.

Ya para el año 2011, en la 17<sup>o</sup> Conferencia de las Partes (CoP) celebrada en Durban (Sudáfrica), y dando respuesta al acuerdo 1 de la CoP 13 de Bali (Indonesia), se decide iniciar un proceso para elaborar un nuevo protocolo de mitigación que sea aplicable a todas las Partes. Dicho proceso culmina con la aprobación en Francia del "Acuerdo de París" en diciembre de

2015 (CoP 21), y debe entrar en vigor con la firma de 55 partes, y que sumen el 55 por ciento de las emisiones globales de GEI en abril de 2016, a partir de 2020<sup>1</sup>. Este acuerdo implica la entrega de las contribuciones determinadas a nivel nacional (INDC, por sus siglas en inglés) cada cinco años, la cual proporcionará información sobre el nivel de ambición en la reducción de GEI ([CMNUCC, 2015](#)).

El hecho de alcanzar este acuerdo por consenso, en temas tan complejos y con aproximaciones divergentes, debe ser reconocido como un éxito del enfoque multilateral en las negociaciones climáticas. En lo que al contenido concierne; que 194 países se hayan comprometido a realizar contribuciones concretas y medibles, en el enfrentamiento al Cambio Climático, representa también un avance de tremenda magnitud, máxime porque los países en desarrollo lograron preservar los elementos esenciales del Principio de

<sup>1</sup> Acuerdo de París (AP) que se adopta el 12 de diciembre de 2015. Si bien el Acuerdo no reemplaza legalmente al Protocolo de Kioto, no es de esperar que la existencia de este último rebase su Segundo Período de Compromiso, el cual (aun no en vigor por la falta de las ratificaciones necesarias), concluye en 2020, justo cuando el Acuerdo de París comienza su vigencia.

Responsabilidades Comunes pero Diferenciadas (Rey, 2015)<sup>2</sup>.

Los 194 países participantes se comprometieron a realizar contribuciones concretas y medibles, en el enfrentamiento al cambio climático. No obstante, las acciones nacionales para la adopción e implementación del Acuerdo, aún ni siquiera ha sido ratificado por los firmantes.

Aunque las emisiones nacionales a nivel mundial no son representativas (apenas alcanzan el 0.1% de todas las emisiones de GEI a nivel mundial), habrá que adoptar compromisos de mitigación con el fin de honrar el nuevo protocolo. Así que Cuba debe prepararse para este proceso de firma y ratificación/adhesión, determinando, en primer lugar, la secuencia de pasos en que va a acometer estas acciones. Mayor análisis requerirá la ratificación, pues al hacer esta última, se requiere presentar formalmente la contribución nacionalmente determinada, para lo cual es necesario retomar su evaluación nacional (Rey, 2015).

La quema de combustibles fósiles constituye la actividad antropogénica que mayor cantidad de emisiones de GEI aporta a la atmosfera; se estima que dos tercios de las emisiones totales de GEI provienen de la quema de combustibles en procesos de transformación energética (refinación y generación de electricidad fundamentalmente), y en los sectores de uso final, en particular el transporte y la industria (IPCC, 2015).

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 eólico, 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 (Somoza, 2013).

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.

<sup>2</sup> “El Acuerdo de París sobre Cambio Climático: una primera aproximación” Diálogos sobre cambio climático I. Espacio Científico y académico para promover el debate e intercambio sobre el tema.

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 (División política-administrativa de 1976), debido a la no existencia de los datos necesarios para hacer el estudio con la nueva DPA de 2011.

### **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 & Hunt, 2010a](#)).

De esta manera, se supone que existe una relación de demanda agregada residencial de energía eléctrica para un panel de provincias ([Ecuación 1](#)).

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 & Hunt, 2010a](#)).

$$LCF = f(LPRP, LSTR, LPOBELECT, LTHOGAR, LDC, LDF, Dy, EFIT) \quad (1)$$

donde

LCF - Consumo de Energía Eléctrica Residencial

LPRP - Precio Real de la Energía Eléctrica

LSTR - Ingreso Real

LPOBELECT - Población Electrificada

LTHOGAR - Tamaño Medio del Hogar

LDC - Días Calor

LDF - Días Frío

Dy - Dummy Temporales, las cuales son un proxy para recoger el efecto del cambio tecnológico en el período de tiempo analizado

EFIT - Nivel de “Eficiencia Eléctrica Subyacente” del Sector Residencial Cubano

La [tabla 1](#), muestra el resultado del modelo corrido para el sector residencial cubano. En este, se corre un modelo con dummies, mostrándose el cambio tecnológico para la secuencia de años de estudio.

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

Variables	<a href="#">Greene (2005)</a>	
	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 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 ([Figura 1](#)).

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:

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

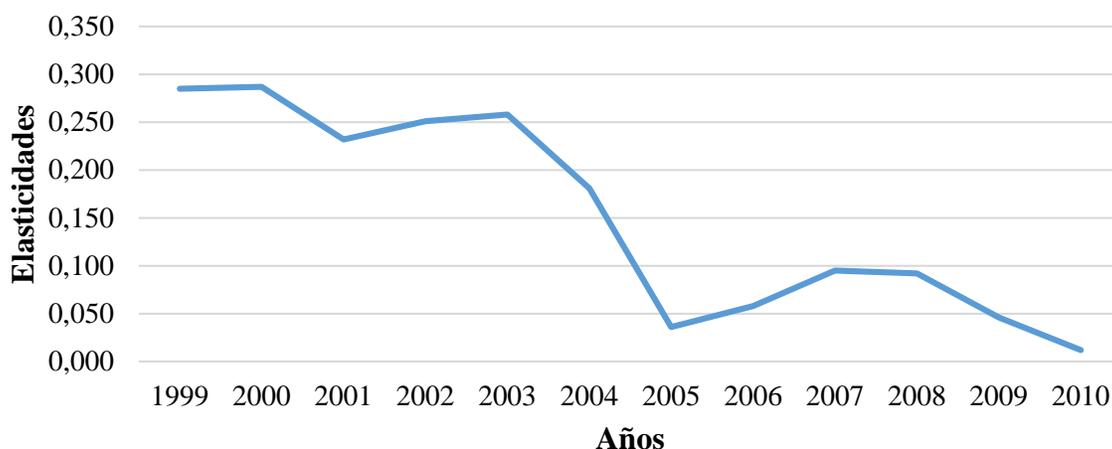
donde:

$Q_{it}^*$  - 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

$Q_{it}$  - Demanda energética agregada que se produce realmente en esa provincia

$EF_{it}$  - 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,



**Figura 1.** Dummys temporales. Fuente: Elaborada por el autor, a partir de la salida de STATA 12.0

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.

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 %.

### **Ahorro de electricidad y mitigación de CO<sub>2</sub>**

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.

De forma similar, es posible estimar el potencial de mitigación de emisiones de CO<sub>2</sub> consustancial con el ahorro de electricidad estimado (Tabla 2). Vale la pena aclarar que las

**Tabla 2.** Resumen de las estadísticas de potencial de ahorro y mitigación de CO<sub>2</sub>

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 CO <sub>2</sub> )
PR	442.2	96.6	425.2	17.0	14.7
LH	478.4	93.2	447.6	30.8	26.7
CH	1606.8	80.4	1286.5	320.3	277.3
MT	480.7	96.2	462.7	18.0	15.6
VC	503.3	96.6	487.4	15.9	13.7
CF	269.2	94.9	254.4	14.8	12.8
CA	310.3	91.1	285.2	25.1	21.8
SS	244.3	93.9	227.6	16.7	14.5
CM	426.6	95.9	407.4	19.2	16.6
LT	227.6	90.7	203.5	23.5	20.3
HO	519.8	95.5	494.8	25.0	21.6
GR	346.6	91.3	309.2	37.4	32.4
SC	469.7	93.8	438.7	31.1	26.9
GT	216.4	84.7	178.1	38.3	33.1
IJ	50.9	91.3	46.8	4.1	3.6
<b>Total</b>	<b>6593.1</b>	<b>92.4</b>	<b>5955.2</b>	<b>637.4</b>	<b>551.8</b>

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.

### Conclusiones

- 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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.
- 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.

### Referencias

- 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.
- CMNUCC (2015): “21 Período de sesiones de la Conferencia de las Partes” (on line: <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/spa/109s.pdf>)
- 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
- Greene W. H. (2005): “Reconsidering heterogeneity in panel data estimators of the stochastic frontier model”. *Journal of Econometrics*, 126. pp 269-303.
- IPCC, 2015: “Cambio Climático 2014 – mitigación del cambio climático. Contribución del Grupo de trabajo III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático”. Suiza. pp. 40.
- 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.
- Planos E., Vega R., Guevara A., Editores (2013) *Impactos del Cambio Climático y medidas de adaptación en Cuba*. ISBN: 978-959-300-039-0. Instituto de Meteorología, Agencia de Medio Ambiente y Tecnología. La Habana. Cuba. pp. 430.
- Rey O., (2015): Comunicación personal. Diciembre de 2015.
- Somoza J., J. A. Baños, M. Llorca (2013): “La medición de la eficiencia energética y su contribución a la mitigación de emisiones de CO<sub>2</sub>, 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.