



**ESTUDIOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN AMÉRICA LATINA**

# **El cambio climático y la energía en América Latina**

David R. Heres Del Valle



NACIONES UNIDAS

**CEPAL**



**UNION EUROPEA**



# El cambio climático y la energía en América Latina

David R. Heres Del Valle



Este documento fue preparado por David R. Heres Del Valle, con la colaboración de Héctor M. Núñez Amórtegui, ambos consultores de la Unidad de Cambio Climático de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), y cuenta con el financiamiento de la Unión Europea, a través del Programa EUROCLIMA (CEC/14/001).

Ni la Unión Europea ni ninguna persona que actúe en su nombre es responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en esta publicación. Los puntos de vista expresados en este estudio son de los autores y no reflejan necesariamente los puntos de vista de la Unión Europea.

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad del autor y pueden no coincidir con las de la Organización.

## Índice

Resumen .....	7	
Introducción .....	9	
I. Principales determinantes de la oferta y la demanda de energía en América Latina .....	17	
A. Modelos econométricos para la demanda de energía.....	17	
B. Modelos de simulación.....	21	
II. Trayectorias posibles de la oferta y la demanda de energía con referencia al cambio climático .....	25	
A. Proyecciones econométricas para la relación entre crecimiento económico y emisiones GEI.....	26	
B. Proyecciones energéticas y cambio climático usando otros métodos.....	28	
C. Impactos del cambio climático y la energía en otros sectores económicos y sociales .....	31	
III. Políticas públicas energéticas y sus impactos en el cambio climático .....	33	
IV. Conclusión .....	43	
Bibliografía.....	45	
Anexo.....	51	
Cuadros		
Cuadro 1	Elasticidades de la demanda relacionadas al mercado energético .....	18
Cuadro 2	Instrumentos usados para política ambiental .....	34
Cuadro 3	Instrumentos de política ambiental relacionados al mercado energético .....	35
Cuadro A.1	Relación de publicaciones revisadas por fuente, año, metodología y región de América Latina y el Caribe.....	52
Gráficos		
Gráfico 1	Emisiones GEI totales en América Latina y el Caribe .....	10
Gráfico 2	GEI per cápita en América Latina y el Caribe .....	10

Gráfico 3	GEI per USD en América Latina y el Caribe.....	11
Gráfico 4	GEI por gas 1995-2010 en América Latina y el Caribe .....	12
Gráfico 5	GEI por sector en América Latina y el Caribe .....	12
Gráfico 6	Demanda de energía por fuente en América Latina y el Caribe .....	13
Gráfico 7	Proyecciones de demanda de energía por fuente para América Latina y el Caribe y el mundo .....	14
Gráfico 8	Proyecciones de demanda de energía por uso para América Latina y el Caribe y el mundo .....	15
Gráfico 9	Proyecciones de emisiones GEI en América Latina y el Caribe y el mundo bajo diferentes escenarios de emisiones GEI.....	16

## Acrónimos

ANEEL: Agencia Nacional de Energía Eléctrica de Brasil  
BAU: *Business-as-Usual*  
CEPEL: Centro de Pesquisa de Energia Elétrica de Brasil  
CASEN: Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional de Chile  
CNDC: Comité Nacional de Despacho de Carga de Bolivia  
CNIC: Consejo Nacional de Innovación para la Competitividad de Chile  
CO<sub>2</sub>: Dióxido de Carbono  
ECOPETROL: Empresa Colombiana de Petróleos  
EPE: Empresa de Pesquisa Energética de Brasil  
FIT: *Feed-in-tariff*  
GEA: Programa de Evaluación de Energía Global  
GEI: Gases Efecto Invernadero  
IEA: Agencia Internacional de Energía  
IEN: Instituto de Energía de Nicaragua  
IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia y Estadística  
IIASA: Instituto Internacional para Sistemas de Análisis Aplicados  
INDEC: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de Argentina  
INE: Instituto Nacional de Estadística de Bolivia  
IPCC: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático o Panel Intergubernamental del Cambio Climático  
LAC: Latinoamérica y el Caribe  
LEAP: *Long-range Energy Alternatives Planning system*  
MCDW: *Monthly Climatic Data for the World*  
NCDC: *US National Climatic Data Center*  
OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos  
OLADE: Organización Latinoamericana de Energía  
PERZA: Proyecto de Electrificación Rural en Zonas Aislada en Nicaragua  
PRECIS: *Providing Regional Climates for Impacts Studies*  
PROCEL: Programa nacional de conservación de la electricidad de Brasil  
RCP: Trayectorias Representativas de Concentraciones  
SEI-B: *Stockholm Environment Institute at Boston*  
SEMARNAT: Secretaria del Medioambiente y Recursos Naturales de México  
SENER: Secretaria de Energía de México  
SIEE: Sistema de Información Económica-Energética  
SIGET: Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones de El Salvador  
UNEP: Programa Ambiental de la Naciones Unidas  
UPME: Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia  
WTP: *Willingness-to-pay*



## Resumen

En el presente estudio se analizan los principales resultados encontrados en la literatura concerniente al mercado de la energía y su relación con el cambio climático en Latinoamérica, buscando definir diferentes tópicos relacionados al tema y clasificar la literatura disponible. Para tal fin, el trabajo hace referencia a los principales determinantes de la oferta y la demanda de energía encontrados en la literatura para América Latina y el Caribe, explora las trayectorias posibles de la oferta y la demanda de energía con referencia al cambio climático descritas por la literatura, y describe los principales mecanismos o instrumentos de política aplicadas relacionadas con la producción y el consumo de energía y cambio climático en la región. Entre las limitaciones que se encontraron en el transcurso de la revisión, está la poca disponibilidad de información a través del tiempo y en especial para países menos desarrollados. Además, en el estudio se destaca que hay pocos estudios que han estimado la relación de causalidad bidireccional entre consumo, ingreso y precio y que la información es aún más limitada por el lado de la oferta energética, lo que hace que existan muy pocos estudios econométricos a este respecto. El estudio señala que los resultados encontrados en la literatura muestran bastante dificultad en la región para moverse hacia una senda donde predominen las energías renovables. Asimismo, muestra que la región confía más en mecanismos de regulación directa como mandatos de biocombustibles que en instrumentos económicos para incentivar menores emisiones de parte del sector energético.





## Introducción

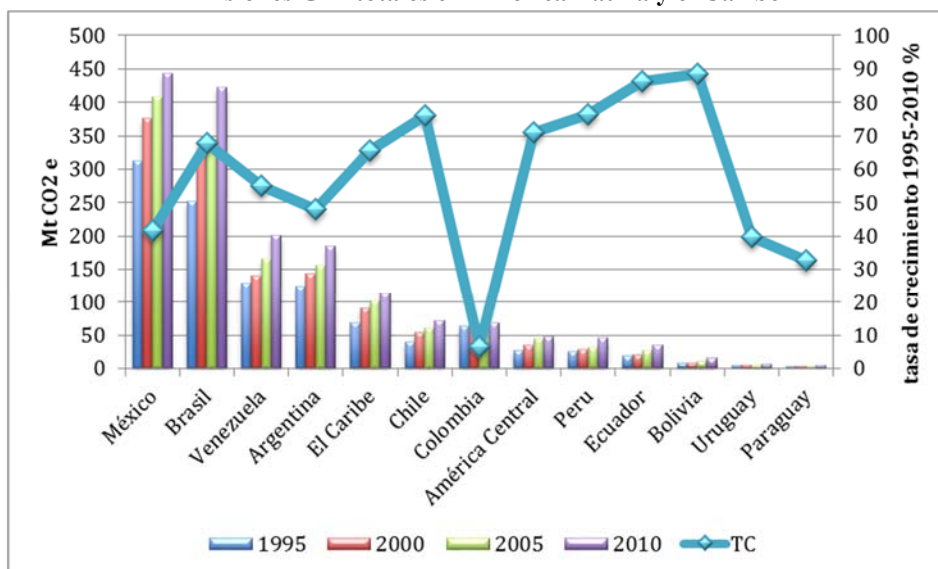
El cambio climático es consecuencia de una externalidad negativa global originada por las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera, sin un costo económico explícito en la gran mayoría de los países. De acuerdo con información del *World Resources Institute* (WRI) (WRI 2015) los países de la región de América Latina y el Caribe contribuyeron en 2010 con 3.257 millones de toneladas métricas de dióxido de carbono equivalente (MtCO<sub>2</sub>e), rerepresentando el 8% de las emisiones totales de GEI globales<sup>1</sup>. Dentro de la región, Argentina, Brasil, México y Venezuela generan el 75% de las emisiones de GEI, concentran el 66% de la población y el 75% del producto con intensidades desde 402,95 en Brasil hasta 593,41 tCO<sub>2</sub>e por millón de dólares (USD) en Venezuela debido a la alta participación de las plantas hidroeléctricas y los biocombustibles en la generación de energía en el primero y la alta dependencia de los productos del petróleo en el segundo. El gráfico 1 muestra las emisiones de CO<sub>2</sub>e por país de la región entre 1995 y 2010, donde se puede apreciar el papel preponderante de los cuatro países grandes y las altas tasas de crecimiento de las emisiones en el periodo 1995-2010 que están por arriba del 30% para todos los países, excepto Colombia. Esta tasa es bastante elevada si se compara, por ejemplo, con el promedio de los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), que en promedio reportan una tasa de crecimiento de 6% para todo el periodo pero cuyas contribuciones a las emisiones globales representaron el 38% del total en 2010. Esta relación inversa entre emisiones en 1995 y tasa de crecimiento entre 1995 y 2010 se replica dentro de la región en donde resalta el crecimiento de las emisiones en los países o regiones con menores contribuciones totales como América Central, el Caribe, Bolivia, Chile, Ecuador y Perú, todos ellos con tasas de crecimiento por arriba del 60%. Entre los países con mayores contribuciones de GEI, Brasil fue el país que las incrementó a una mayor velocidad, mientras México lo hizo a un menor ritmo que Argentina, Brasil y Venezuela.

Las emisiones totales están dictadas en gran medida por la población y producción de cada país, y su relación refleja una medida más objetiva de la intensidad de las emisiones. Los gráficos 2 y 3 muestran respectivamente las toneladas de CO<sub>2</sub>e per cápita y por unidad de producto interno bruto (PIB), así como la tasa de crecimiento de estos indicadores entre 1995 y 2010. De acuerdo al gráfico 2, para 2010, Venezuela y Uruguay fueron los países que más emisiones per cápita generaron en la región con cerca de 10 toneladas por habitante. A su vez, en Colombia, Ecuador y Perú las emisiones per cápita fueron inferiores a las 4 toneladas de CO<sub>2</sub>e. Esta información contrasta, por ejemplo con el promedio de los países de la OCDE con un promedio de 11,6 toneladas por habitante y una disminución del 4% entre 1995 y 2010. Cabe destacar que en Colombia la tasa de crecimiento también fue negativa durante

<sup>1</sup> Los datos a este respecto en el documento no incluyen emisiones por cambio de uso de suelo y bosques.

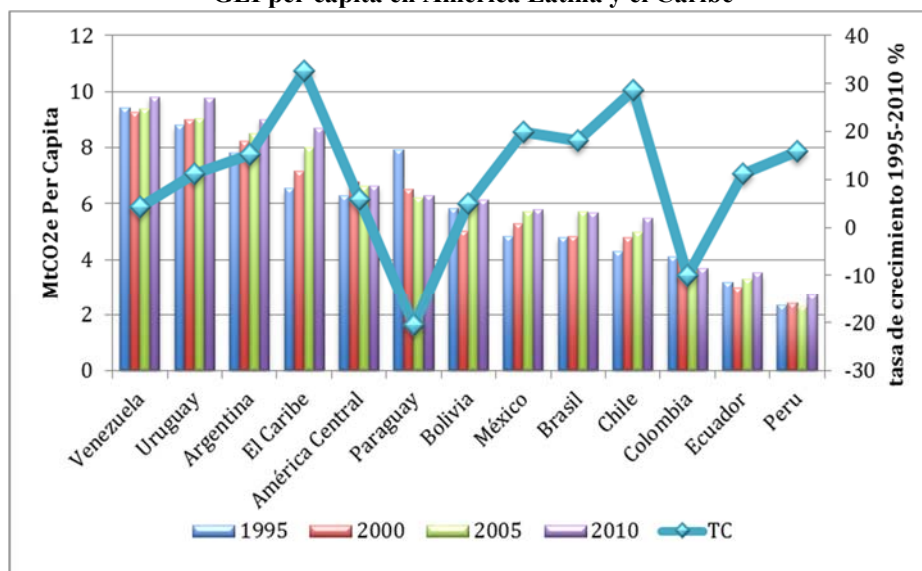
este periodo. El otro país de la región que disminuyó sus emisiones por habitante fue Paraguay, aunque para el último año emitió 6 toneladas por habitante, menores a las de Argentina y Venezuela pero mayores que las de Brasil y México, los cuatro países que contribuyen con la mayor parte de las emisiones de la región.

**Gráfico 1**  
Emisiones GEI totales en América Latina y el Caribe



Fuente: WRI (2015).

**Gráfico 2**  
GEI per cápita en América Latina y el Caribe

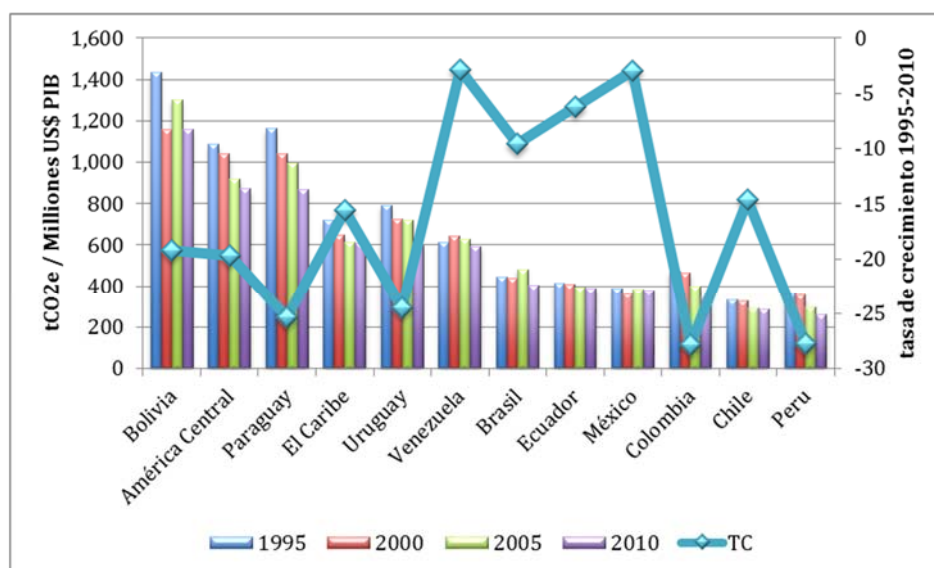


Fuente: WRI (2015).

Del gráfico 3 se destacan las trayectorias a la baja de las emisiones por dólar generado como PIB para todos los países entre 1995 y 2010 con reducciones muy importantes en Colombia, Paraguay, Perú y Uruguay. Destacan también las economías más grandes de la región quienes se encuentran por

debajo del promedio de los países de América Latina y el Caribe con 0,6 kg de CO<sub>2</sub>e por dólar en el caso de Venezuela y 0,4 en los casos de Brasil y México. El caso de Argentina no es reportado por la WRI, pero de acuerdo a la Agencia Internacional de Energía (IEA 2015), la relación para el año 2010 fue de 0,69 kg por dólar, que representó una disminución del 26% respecto a 1990. De nuevo, si tomamos como referencia a los países de la OCDE, estos reportan un promedio de 0,34 kg de CO<sub>2</sub> por dólar y una caída del 31% entre 1995 y 2010.

**Gráfico 3**  
**GEI per USD en América Latina y el Caribe**



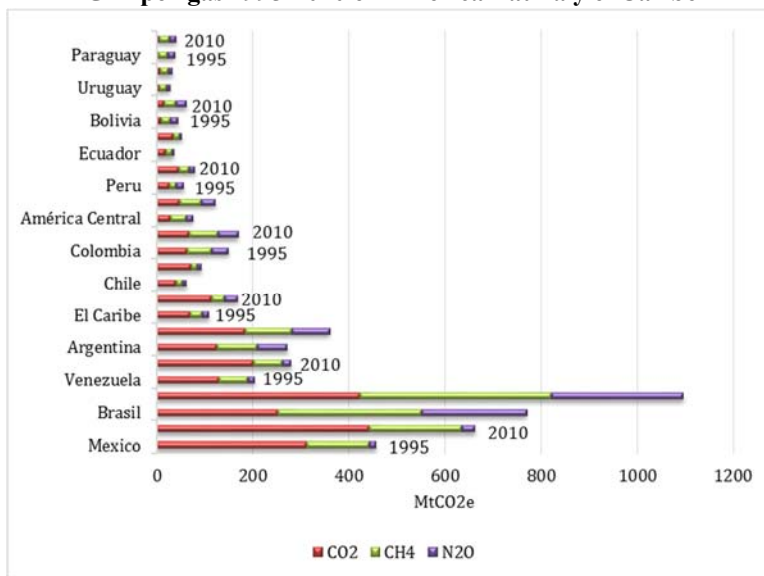
Fuente: WRI (2015).

Nota: La información para Argentina no está disponible.

La heterogeneidad en la composición de las emisiones de GEI por tipo de gas que se muestra en el gráfico 4 es un reflejo de las estructuras económicas y fuente de energía dominante en cada país. Así, las emisiones de CO<sub>2</sub>, principalmente derivadas de la quema de combustibles fósiles, es menor en Brasil que en México, Venezuela y Chile debido a la alta participación de las hidroeléctricas y biocombustibles en la matriz energética de Brasil y la alta dependencia de petróleo, gas y carbón para generar electricidad y uso en automotores en los otros tres países. Sin embargo, entre 1995 y 2010 la participación del CO<sub>2</sub> en las emisiones totales de GEI ha ido en aumento en casi todos los países de América Latina y el Caribe debido a la industrialización y tercerización de las economías que conlleva aumentos en el uso de energía (Medlock and Soligo 2001).

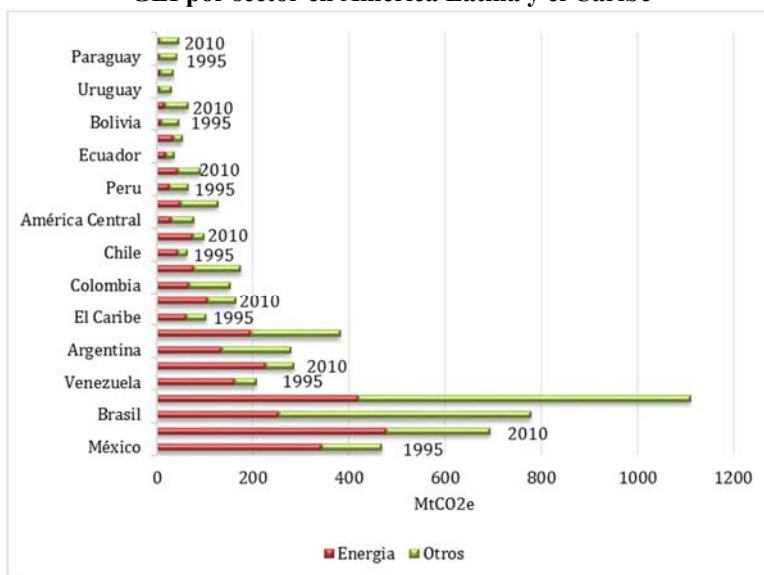
El gráfico 5 muestra las emisiones para energía y otros sectores para los años 1995 y 2010, en ella se puede apreciar la alta participación del sector energía en todos los países de la región excepto Bolivia, Paraguay y Uruguay. También se observa un claro aumento en las emisiones provenientes del uso de energía especialmente en México y Brasil a pesar de que en éste último las emisiones de GEI de otros sectores son mayores.

**Gráfico 4**  
**GEI por gas 1995-2010 en América Latina y el Caribe**



Fuente: WRI (2015).

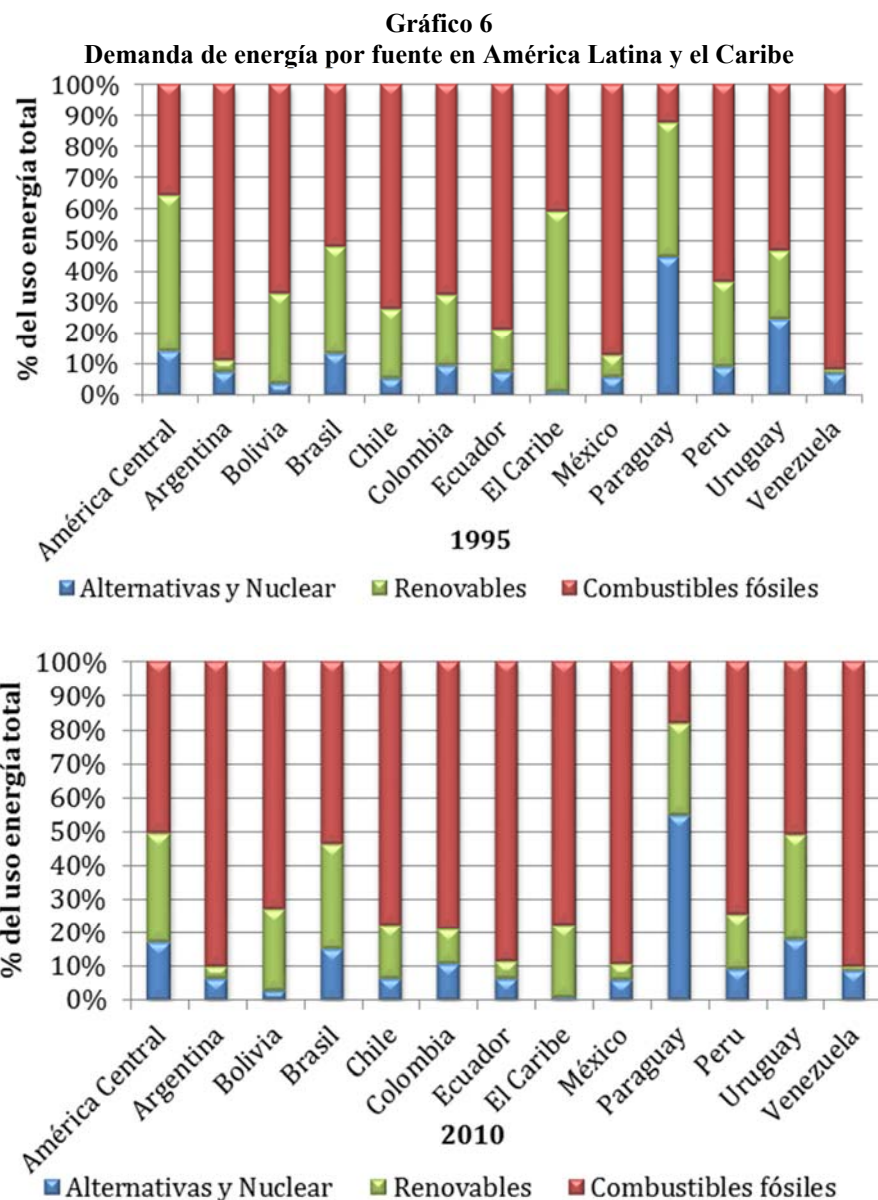
**Gráfico 5**  
**GEI por sector en América Latina y el Caribe**



Fuente: WRI (2015).

Nota: Otros incluyen procesos industriales, desperdicios, y agricultura. Excluye cambio del uso del suelo y bosque.

El gráfico 6 muestra que en periodo 1990-2010 ha existido una alta y creciente participación de los combustibles fósiles como fuente de energía en toda la región. Destacan los casos de Argentina, Ecuador y Venezuela como los países con la mayor dependencia de ésta fuente de energía así como los aumentos en la participación de los combustibles fósiles en las regiones con las economías más pequeñas como América Central y El Caribe. En el otro extremo, Paraguay obtiene un gran porcentaje de su energía por medio de combustibles renovables, fuentes alternativas (hidroeléctrica, solar, geotérmica entre otras) y nuclear (The World Bank 2015).



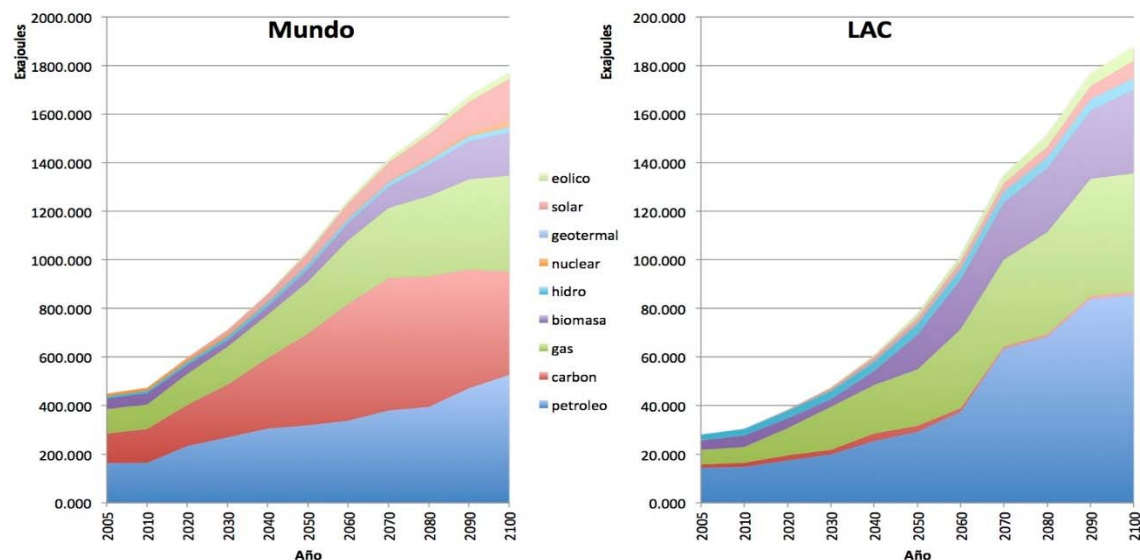
Fuente: The World Bank (2015).

Es importante anotar que en América Latina y el Caribe se proyecta con un crecimiento de la demanda de energía importante como se aprecia en el gráfico 7 con base en datos generados a través del sitio de internet del programa de Evaluación de Energía Global (GEA por sus siglas en inglés) (IIASA, 2015a). El gráfico muestra los valores observados desde 2005 y proyectados hasta 2100 sobre uso de energía en dichos países y el mundo por fuente de energía. Las proyecciones se basan en un modelo con alto forzamiento radiativo hacia 2100 asociado con un incremento medio de la temperatura global de 3,7°C con respecto a la media entre 1986 y 2005<sup>2</sup>. Bajo este escenario se prevé una significativa participación de las fuentes convencionales (petróleo y gas) en las matrices energéticas de América Latina y el Caribe y un alto componente de biomasa (principalmente para biocombustibles). Se destaca también la baja participación de carbón y de la energía nuclear en los países de América Latina y el Caribe comparada con aquella en el mundo.

<sup>2</sup> El modelo con el mayor forzamiento expresado en watts por metro cuadrado (W/m<sup>2</sup>) es MESSAGE con 8,5 W/m<sup>2</sup>.

Gráfico 7

## Proyecciones de demanda de energía por fuente para América Latina y el Caribe y el mundo

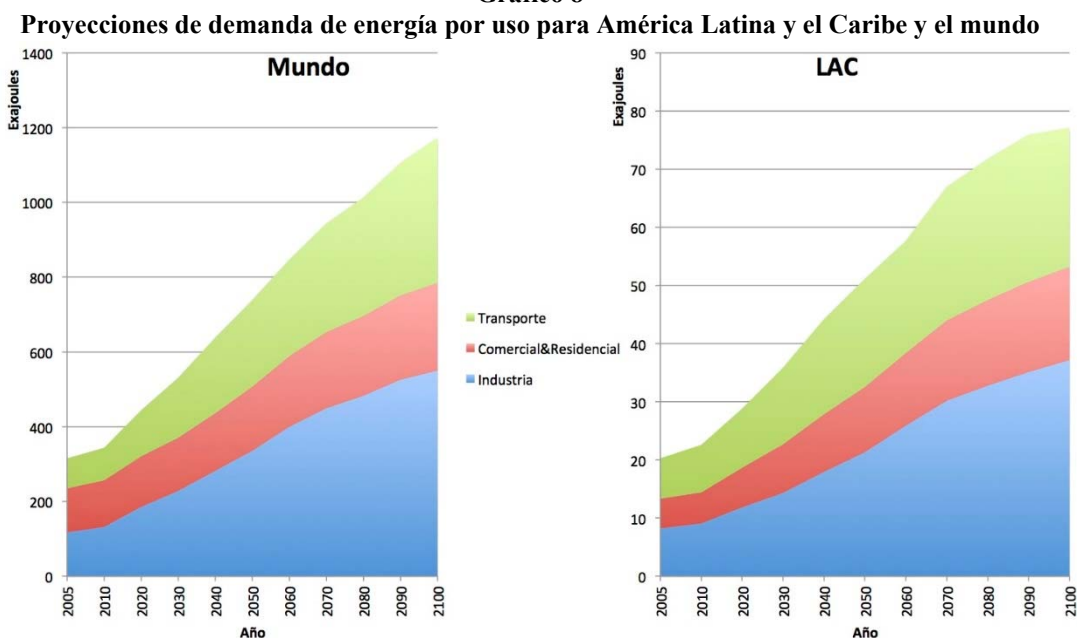


Fuente: RCP (IIASA, 2015b).

Nota: Proyecciones bajo el escenario MESSAGE: Escenario con mayor forzamiento radiativo implicando menores esfuerzos de mitigación.

La distribución de la demanda de energía entre sectores de uso final se muestra en el gráfico 8 en la que resalta la alta y creciente participación del sector transporte e industrial en el consumo final de energía. De acuerdo a los datos de la IEA (2015) la intensidad de carbono de las economías (emisiones por dólar generado como PIB) no ha cambiado dramáticamente entre 1971 y 2012 lo cual sugiere que existen trayectorias paralelas del producto y las emisiones. En efecto, aunque el gráfico 3 sugiere que ha habido cierto grado de desacoplamiento entre el crecimiento económico y la generación de GEI, esto no es así para el caso de emisiones que provienen únicamente del uso de energía en donde existe una fuerte asociación positiva entre éste y el crecimiento económico lo cual se traduce en un continuo aumento en la demanda de energía y generación de emisiones de CO<sub>2</sub>. Es de esperarse que un aumento de los niveles de desarrollo, implique necesariamente un aumento, al menos en una primera fase, de las emisiones de CO<sub>2</sub> de América Latina y el Caribe lo que podría resultar incompatible con el llamado desarrollo sustentable. En este sentido, uno de los principales retos en términos del medio ambiente es evitar o reducir los impactos del calentamiento global y los crecientes niveles de emisiones de GEI sin impedir el crecimiento de los países menos desarrollados en el mundo y dentro de la región cuyo PIB per cápita es en promedio solamente el 30% de aquel representativo de los países de la OCDE, pero que en algunos países alcanza apenas el 5% de estos últimos. Resulta entonces fundamental para atender el desafío del cambio climático la construcción de políticas públicas que permitan la reducción de las emisiones de GEI destacando aquellas que provienen del sector energético sin afectar negativamente el crecimiento económico. Como mencionan Sheinbaum-Pardo y Ruiz (2012) en su estudio descriptivo de la situación energética en la región, a pesar de que los países con mayor desarrollo económico están implementando medidas de eficiencia energética y diversificación de las fuentes de energías incentivando las renovables, se espera que el crecimiento económico de los países menos desarrollados resulte en un mayor consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> en la región si no se adoptan medidas similares en estos últimos países.

Gráfico 8



Fuente: RCP (IIASA, 2015b).

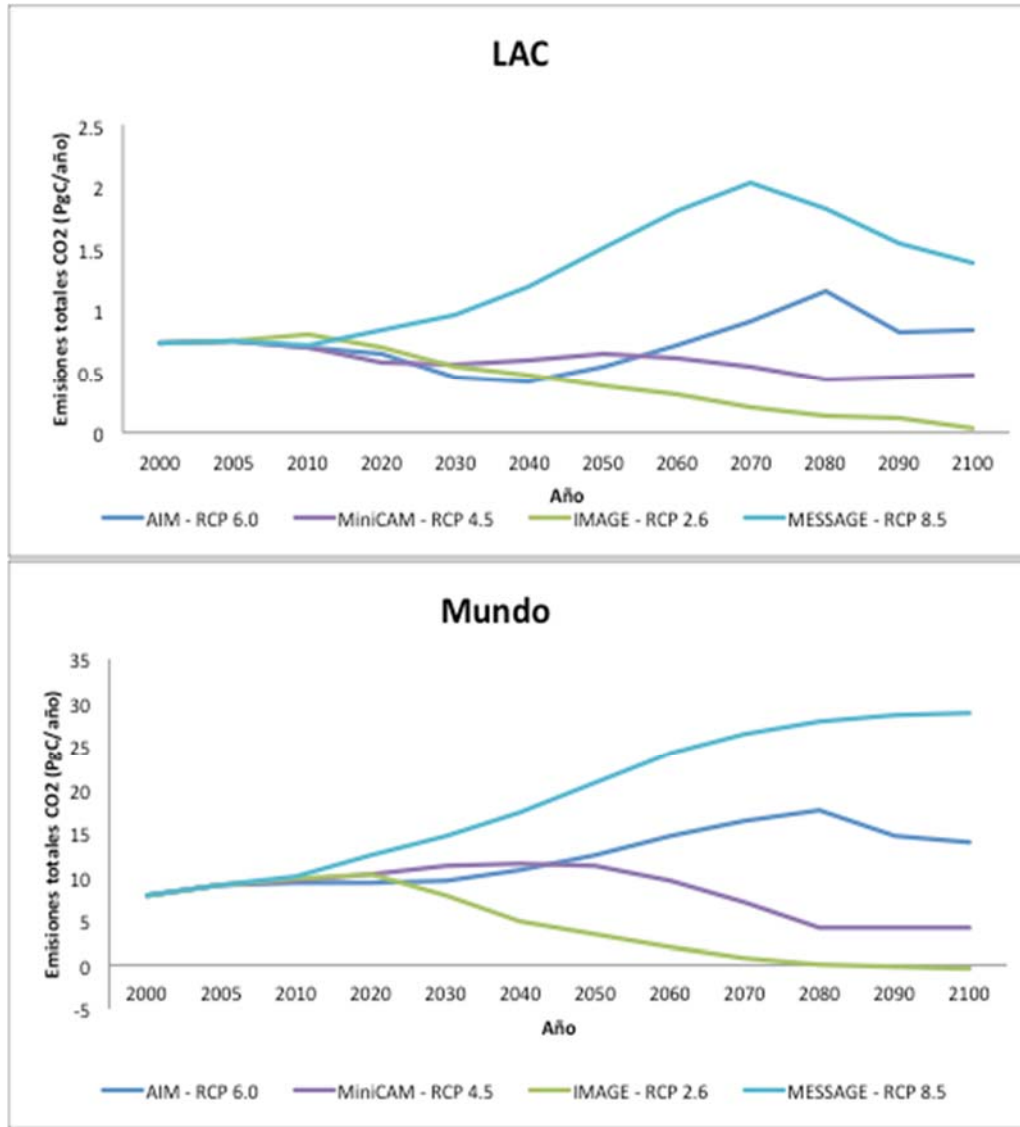
Nota: Proyecciones bajo el escenario MESSAGE: Escenario con mayor forzamiento radiativo implicando menores esfuerzos de mitigación.

Respecto a las proyecciones mostradas en los gráficos 7 y 8 es importante considerar que estas se relacionan a un modelo que considera las emisiones de GEI bajo el escenario de mayor forzamiento radiativo (MESSAGE) de la versión 2.0.5 de la base de datos de Trayectorias Representativas de Concentraciones (RCP por sus siglas en inglés) de la IIASA (2015b). Escenarios alternativos se presentan en el gráfico 9 para proyecciones de CO<sub>2</sub> en América Latina y el Caribe y el mundo. Las reducciones en emisiones de CO<sub>2</sub> con respecto al año base en los modelos con menor forzamiento radiativo (IMAGE y MiniCAM) requieren de modificaciones significativas en los patrones de generación y consumo de energía. En este contexto, este trabajo tiene como objetivo sintetizar la evidencia en la literatura económica sobre la relación entre el sector energético y el cambio climático en América Latina y el Caribe, principalmente en lo que se refiere a energías renovables, así como sobre los principales determinantes y las trayectorias posibles de la oferta y demanda de energía, y las recomendaciones de políticas públicas que destacan dichos trabajos que puedan contribuir a los procesos de mitigación de los GEI y de adaptación en la región. Con ello se busca facilitar la identificación de las prioridades de mitigación y adaptación de los países participantes así como las políticas públicas que han resultado o están proyectadas para ser exitosas en cada caso. Este estudio comprensivo de la literatura para América Latina y el Caribe logra además definir diferentes tópicos relacionados al tema y clasificar la literatura disponible, de forma que estudios futuros sobre el tema y la región puedan ubicarse mejor. Cabe destacar que de la revisión de publicaciones realizadas desde el año 2000 se desprende que existe una alta concentración de estudios para la región en la revista *Energy Policy* (46%) y que geográficamente los estudios se han enfocado en gran medida en evaluar el caso brasileño (37%)<sup>3</sup>. Metodológicamente los estudios econométricos dominan el área de estimaciones de demanda de energía y la relación histórica entre emisiones y crecimiento económico, mientras la composición de la matriz energética y los impactos de las variables climáticas en la oferta se ha analizado primordialmente por medio de otros métodos como equilibrio computable y modelos de optimización. Es importante señalar que el 60% de los trabajos revisados fueron publicados en los últimos 5 años, lo cual indica el creciente interés por estudiar estos temas en la región.

<sup>3</sup> En cuanto a fuente de la publicación el segundo puesto lo ocupa *Energy Economics* con 6,6% y en cuanto a país analizado Chile y México con alrededor del 18%. Ver Anexo para mayores detalles.



**Gráfico 9**  
**Proyecciones de emisiones GEI en América Latina y el Caribe y el mundo**  
**bajo diferentes escenarios de emisiones GEI**



Fuente: IIASA (2015a).

Nota: Los escenarios RCP indican el forzamiento radiativo hacia 2100. El modelo MESSAGE presenta el escenario con mayor forzamiento ( $8.5 \text{ W/m}^2$ ) y el modelo IMAGE el menor ( $2.6 \text{ W/m}^2$ ).

Para cumplir con el objetivo de la revisión, el trabajo se ha organizado de la siguiente manera: la siguiente sección hace referencia a los principales determinantes de la oferta y la demanda de energía encontrados en la literatura para América Latina y el Caribe; la tercera explora las trayectorias posibles de la oferta y la demanda de energía con referencia al cambio climático descritas por la literatura para América Latina y el Caribe. La cuarta sección describe los principales mecanismos o instrumentos de política aplicadas relacionadas con la producción y el consumo de energía y cambio climático en América Latina y el Caribe reportando las recomendaciones de política pública encontradas en la literatura que puedan contribuir a los procesos de mitigación de los GEI provenientes del sector energético. Finalmente, presentamos una breve discusión sobre los hallazgos de este reporte.

## I. Principales determinantes de la oferta y la demanda de energía en América Latina

La literatura sobre oferta y demanda de energía enfocada al caso de América Latina y el Caribe es limitada y reciente principalmente porque la información estadística solamente está disponible de 30 a 40 años atrás para algunos países como Brasil, mientras para otros no tiene más de 20 años. En el caso de la oferta muy pocas veces se tiene información de costos o de insumos, por lo que se recurre en muchas ocasiones a simulaciones de curvas de oferta o de costos construidas con la poca información disponible. En el caso de la demanda, la información sobre consumo, precios e ingreso está disponible a través de distintas organizaciones internacionales como la Agencia Internacional de Energía (IEA), el Banco Mundial (WB), Naciones Unidas (UN), el Instituto Internacional para Sistemas de Análisis Aplicados (IIASA) y la Organización Latinoamericana de la Energía (OLADE), así como dependencias gubernamentales o consultoras privadas de los países de la región. La información sobre demanda típicamente se usa para estimar las elasticidades ingreso y precio de la demanda de energía, así como para proyectar trayectorias de consumo hacia el futuro. En esta sección se reportan por separado los resultados de estudios que adoptaron una metodología econométrica y aquellos que se basaron en simulaciones por medio de modelos de equilibrio computable, optimización y programación matemática.

### A. Modelos econométricos para la demanda de energía<sup>4</sup>

La mayoría de estudios econométricos para la demanda de energía utiliza series de tiempo para un solo país o datos de panel largos. El cuadro 1 reporta algunos de los resultados encontrados en la literatura para países América Latina y el Caribe. Por ejemplo, Saboori *et al.* (2014) utiliza datos sobre crecimiento económico, consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub> en el sector transporte de 27 países de la OCDE que incluyen a Chile y a México para el periodo 1971-2008. Los resultados de este estudio muestran que comparada con la media de países de la OCDE la elasticidad del consumo con respecto al ingreso es mayor en Chile y menor en México. Un elemento importante en este trabajo es la exploración de la causalidad entre las variables pues ésta no necesariamente es unidireccional desde el ingreso hacia el consumo energético y emisiones. Los autores encuentran relaciones en más de una dirección entre las tres variables.

<sup>4</sup> El único estudio econométrico encontrado que se relaciona con la oferta de energía en la región es el de Recalde (2011) acerca de los determinantes de la inversión en exploración de hidrocarburos en Argentina. La autora encuentra una correlación débil entre la inversión y variables económicas como crecimiento económico y precios de hidrocarburos, y argumenta que otros factores importantes son la incertidumbre económica y la capacidad de las instituciones locales para regular las operaciones de exploración.

Específicamente, el desarrollo económico afecta el consumo energético y las emisiones de CO<sub>2</sub>, y a su vez estos últimos impactan positivamente sobre la actividad económica debido a la importancia del sector energético en estas economías. Por su parte, dado el dominio de los combustibles fósiles como fuente de energía en estos países (véase el gráfico 7), un mayor consumo energético necesariamente aumenta las emisiones de CO<sub>2</sub>, siendo ésta la única dirección causal entre estas dos variables.

**Cuadro 1**  
**Elasticidades de la demanda relacionadas al mercado energético**

País	Periodo	Elasticidad ingreso	Elasticidad precio	Referencia	Fuente de datos	Tipo de modelo
Argentina, Brasil, Chile, Colombia, México, Perú, Venezuela y otros 17 países en desarrollo	1978-2003	0,6	-0,55	Bentham y Romani (2009)	IEA Extended Energy Balances	Efectos fijos en Panel
México y otros países de la OCDE	1978-2006	0,9	-0,3	Filippini y Hunt (2011)	IEA	Frontera Estocástica
Chile, México y otros 25 países de la OCDE	1960-2008	1,15 (Chile) 0,36(México) 0,79 (OCDE)	NE	Saboori <i>et al.</i> (2014)	WB	Modelo de corrección de errores
Belize, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá <sup>a</sup>	1980-2010	0,37 (Rn)	0,15 (carbón) 0,28 (petróleo)	Apergis y Payne (2014)	Administración de Información Energética de Estados Unidos de Norteamérica, Datastream	Modelo de corrección de errores con cambio estructural para datos panel
México	2000-2010	0,36 (G)	NS	Solis y Sheinbaum (2013)	Balance Nacional de Energía, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Información (INEGI), Melgar	Mínimos Cuadrados Ordinarios
	1960-2008	1,00 (G)	-0,28 (G)	Reyes <i>et al.</i> (2010)	Petróleos Mexicanos, INEGI, Banco de México	Modelo de corrección de errores
Chile <sup>a</sup>	2006	0,11 (Rs)	-0,40 (Rs)	Agostini <i>et al.</i> (2012)	Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional	Modelo de selección para datos transversales
México	1965-2001	0,63 (T) 0,47 (Ag) 0,57 (In) 0,49 (Rs) 0,54 (Tr)	-0,35 (In)	Galindo (2005)	Banco de México, Secretaría de Energía	Modelo de corrección de errores
	1965-2001	0,98 (T)	-0,11 (T)	Galindo y Sánchez (2005)	Banco de México, Secretaría de Energía	Vectores autorregresivos con cambio estructural
Brasil, México y otros 26 países	1978-1995	>0 para ingreso per cápita (USD) < 15,777(In) 33,943 (Rs) 532,943 (Tr)	-0,27 (In) -1,32 (Rs) -0,52 (Tr)	Medlock y Soligo (2001)	Banco Asiático de Desarrollo, IEA, OCDE, UN, Tablas de Penn	Variables Instrumentales
Brasil	1974-1999	0,12 (G)	-0,46 (G)	Alves y Bueno (2003)	IBGE, FIPE, ANP	Modelo de corrección de errores
Brasil (Región Noreste) <sup>a</sup>	1970-2003	1,2 (In) 0,87 (Rs) 1,42 (Cm)	-1,07 (In) -0,68 (Rs) -1,2 (Cm)	Irfi <i>et al.</i> (2009)	Chest, Electrobras, FGV/IPA, IBGE, IPEA, SUDENE/Boletim Conjuntural	Modelo de corrección de errores
Brasil (27 Estados)	2001-2010	0,52 (G) 3,72 (Et) 0,81 (GN)	-1,18 (G) -8,46 (Et) -1,03 (GN)	Santos (2013)	Agencia Nacional de Tráfico, IBGE, Instituto Nacional de Petróleo y Gas, Asociación Nacional de Fabricantes de Vehículos	Panel dinámico
Brasil <sup>a</sup>	1969-1999	1,91 (In) 0,53 (Rs) 0,63 (Cm)	-0,54 (In) -0,08 (Rs) -0,17 (Cm)	Schmidt y Lima (2004)	Chest, Electrobras, FGV/IPA, IBGE, IPEA, SUDENE/Boletim Conjuntural	Modelo de corrección de errores

Fuente: Elaboración propia.

<sup>a</sup> Estudios sobre demanda de electricidad. G: gasolina; GN: gas natural; Et: Etanol; Rn: Renovable; Ag: Agrícola; Cm: Comercial; In: Industrial; Rs: Residencial; Tr: Transporte; T: Total; NS: No es estadísticamente significativo; NE: No estimado.

La existencia de una causalidad desde el consumo energético hacia el crecimiento económico o *hipótesis del crecimiento* es importante para efectos de política pues estrategias encaminadas a la reducción del consumo energético podrían tener efectos adversos sobre la economía como describe Apergis y Payne (2009) en su estudio para seis países centroamericanos (Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá). En ese estudio así como en los de Apergis & Payne (2009) para los mismos países centroamericanos además de Belice, y el de Francis *et al.* (2007) para tres países caribeños (Haití, Jamaica y Trinidad y Tobago) se verifica la hipótesis del crecimiento. En Chang *et al.* (2011) el consumo energético también impacta al ingreso en Brasil, Perú y Uruguay y de acuerdo a sus resultados solamente Argentina, México, Panamá y República Dominicana podrían implementar políticas para la conservación de la energía sin impactar negativamente el crecimiento económico. El resultado para Brasil de este último estudio se encuentra en línea con lo reportado en Pao y Tsai (2011) quienes por medio de un modelo econométrico de corrección de errores para datos panel estudian la relación entre emisiones, crecimiento económico y energía en Brasil, Rusia, India y China.

Cabe mencionar que de entre los estudios que han explorado la causalidad entre consumo energético y crecimiento económico, solamente Saboori *et al.* (2014) y Apergis y Payne (2014) reportan elasticidades del consumo energético con respecto al ingreso o al precio, es decir la respuesta del consumo como cambio porcentual ante un cambio porcentual en el ingreso o el precio. Con excepción de dichos artículos, aquellos incluidos en el cuadro 1 consideran que la causalidad es unidireccional desde la actividad económica hacia el consumo energético. En algunos casos se reconoce la existencia del debate acerca de la dirección causal como en Medlock y Soligo (2001) quienes consideran que el riesgo de simultaneidad entre estas dos variables se reduce al analizar la relación para algunos sectores de la economía por separado con base en el uso final de la energía. En su estudio evalúan las relaciones entre el PIB total y el consumo energético para uso residencial-comercial, transporte e industrial. Los autores argumentan que el consumo energético de un solo sector no debería tener impactos sobre el PIB y estiman elasticidades del consumo energético con respecto al ingreso y al precio de la energía. La especificación que además incluye el término cuadrático del ingreso permite que la elasticidad del consumo de energía con respecto al ingreso sea negativa a partir de cierto nivel de desarrollo económico. Los autores encuentran un punto de inflexión muy elevado en términos del ingreso (USD 532.943 per cápita) para la elasticidad-ingreso en el sector transporte, mientras que para la industria y el sector residencial ese punto en el cual el impacto del crecimiento económico sobre las emisiones cambia de positivo a negativo ya habría sido incluso alcanzado en algunos países.

Galindo (2005) también analiza la relación entre consumo energético e ingreso por sectores en México encontrando que el consumo energético en el largo plazo es en general inelástico con respecto al ingreso, siendo el sector agrícola el menos elástico (0,47) y el industrial el más elástico (0,57). Es decir, el crecimiento en el consumo de energía está asociado a un crecimiento proporcionalmente menor al del PIB. Sin embargo, los resultados de un modelo que corrige por posibles cambios estructurales en el estudio de Galindo y Sánchez (2005) indican que la elasticidad-ingreso del consumo total de energía es prácticamente unitaria, o en otras palabras que variaciones en el PIB están asociadas con variaciones proporcionales en el consumo de energía. Por otra parte, como muestra Galindo (2005) para el caso mexicano, solamente en la industria las variaciones en el precio de la energía tienen impactos de largo plazo sobre el consumo energético del sector. Este hallazgo coincide con los de Solís y Sheinbaum (2013) y Reyes y Escalante (2010) en donde el consumo de la gasolina en México no responde a variaciones en el precio de la gasolina mientras con respecto al ingreso el consumo de gasolina es inelástico en el primer caso y unitario en el segundo. La diferencia entre los resultados para la elasticidad del ingreso no solamente pudiera estar relacionado con los distintos métodos de estimación utilizados en ambos estudios sino con los periodos analizados (véase el cuadro 1).

Como se desprende del cuadro 1, el consumo de energía para todos los sectores en Galindo (2005) y de gasolina para el sector transporte en Solís y Sheinbaum (2013) son inelásticos<sup>5</sup> con respecto al ingreso con valores cercanos a aquellos de otros estudios en los que se ha incluido México tales como

<sup>5</sup> Valores inferiores a uno en términos absolutos se consideran inelásticos.

Saboori *et al.* (2014) mencionado arriba y el de van Benthem y Romani (2009). En este último estudio los autores construyeron un panel de datos de 24 países en desarrollo que además de México incluye a Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Perú, y Venezuela<sup>6</sup> del año 1978 al 2003. En este estudio se estima el consumo de energía per cápita para los sectores transporte, industrial y residencial en función del PIB, los precios del petróleo, precio final de la energía y un rezago de la variable dependiente. Los autores encuentran una elasticidad ingreso de 0,6, y una elasticidad precio de -0,55 para el precio final de la energía. Este último resultado es explicado principalmente por los sectores residencial y agrícola.

Los resultados del estudio de Santos (2013) para Brasil, en el que la demanda de gasolinas es altamente sensible a los cambios en precios, contrastan con los de los estudios arriba mencionados. En este estudio las elasticidades-precio para distintos combustibles están por arriba de la unidad, siendo particularmente elevada la respuesta del consumo de etanol de caña de azúcar ante variaciones en su precio. También contrastan estos resultados con aquellos obtenidos por Alves y Bueno (2003) para la demanda de gasolina en Brasil, la cual encuentran inelástica tanto con respecto al ingreso (0,12) como con respecto al precio (-0,46).

Con una aproximación empírica diferente, Filippini, y Hunt (2011) usan un modelo de frontera estocástica (Battese y Coelli 1992) para estimar el consumo per cápita de energía de 29 países OCDE incluyendo a México con datos de 1978 a 2006. Los autores encuentran una elasticidad del ingreso de 0,9 y una elasticidad del precio de -0,3. Respecto a la eficiencia, México junto a Suiza, Italia, Alemania y Dinamarca, resultan ser los países con mejor desempeño. En Zhang *et al.* (2011) México también destaca en cuanto a eficiencia energética junto a Panamá, mientras que Ecuador, Guatemala, Honduras, Paraguay, Perú, República Dominicana y Venezuela mantuvieron una tendencia decreciente en su eficiencia energética durante el periodo 1980-2005. Adicionalmente, los autores encuentran que la eficiencia energética es decreciente a medida que aumenta el PIB hasta alcanzar un mínimo después del cual este indicador mejora. Los resultados de Chang y Soruco Carballo (2011) coinciden con los de Zhang *et al.* para los casos de Honduras, Paraguay y Venezuela. De acuerdo a los resultados de Medlock y Soligo (2001) la eficiencia energética agregada comienza a mejorar a partir de los USD 2.600 per cápita, siendo el sector industrial el que más rápidamente logra llegar al punto de inflexión, mientras para mejorar la eficiencia energética en los sectores transporte y residencial es necesario alcanzar niveles de desarrollo económico mayores. Como explica De Freitas y Kaneko (2011) en el contexto brasileño las mejoras en eficiencia energética son esenciales para separar las sendas del desarrollo económico y el consumo energético, sin embargo suelen no ser suficientes.

De los estudios que se reportan en el cuadro 1, solamente el de Agostini *et al.* (2012) para el caso de Chile estimó elasticidades de consumo de electricidad con base en datos de sección cruzada, es decir para un solo periodo. Sus estimaciones que incluyen un modelo de selección por presencia de cañería de gas en el hogar se basan en las respuestas de más de 30 mil hogares dentro de la Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional del 2006 (CASEN). Las elasticidades con respecto al ingreso obtenidas en el estudio chileno son mucho más bajas comparadas con aquellas para el sector residencial de los estudios de Schmidt y Lima, (2004) e Irffi *et al.* (2009) sobre demanda de electricidad en Brasil. Por otra parte, de acuerdo a estos estudios, la elasticidad del consumo eléctrico con respecto al precio sería mayor en Chile comparada con Brasil, aunque menor cuando solamente se considera la región noreste de éste último. En su estudio sobre el consumo de electricidad proveniente de fuentes renovables en Centroamérica, Apergis y Payne (2014) encuentra una elasticidad con respecto al ingreso de 0,37 y con respecto a precios de sustitutos de 0,15 (carbón) y 0,28 (petróleo).

Es importante resaltar que la elasticidad del consumo eléctrico con respecto al precio en ambos estudios brasileños es menor en el sector residencial que en el industrial y comercial, lo cual pudiera sugerir la existencia de posibles barreras para políticas de precios encaminadas a reducir el consumo de energía eléctrica en hogares. Sin embargo, de acuerdo a Schmidt y Lima (2004), el esquema de precios implementado en el mercado brasileño de electricidad a raíz de la grave sequía del 2001 y la consiguiente reducción en la producción de las hidroeléctricas, fue capaz de racionar la demanda de electricidad. Bajo

<sup>6</sup> Los otros países son Arabia Saudita, Argelia, China, Corea del Sur, Egipto, India, Indonesia, Israel, Malasia, Pakistán; Filipinas Rumania, Sudáfrica, Sri Lanka, Siria, Tailandia y Vietnam.

dicho esquema, los hogares que rebasaran una meta de consumo pagarían una tarifa adicional mientras aquellos por debajo recibirían un descuento. Es necesario reconocer que este comportamiento no necesariamente se contrapone a los resultados sobre la baja elasticidad-precio de la demanda pues en este esquema no solamente se afectó el precio de la electricidad sino que se proporcionó información sobre consumo medio y un sistema muy claro de incentivos económicos para influenciar el consumo. Recientes experimentos realizados por Asensio y Delmas (2015) en hogares de Estados Unidos de Norteamérica revelan que aquellos que cuentan con información sobre potenciales ahorros derivados de ajustes en el consumo energético tienden a reducir su consumo. Los resultados del experimento señalan además que las reducciones son aún mayores en hogares que adicionalmente fueron informados sobre los potenciales daños a la salud y el medio ambiente derivados del consumo de energía. Aunque dicho estudio se llevó a cabo en un país con alto nivel de desarrollo económico, los resultados cobran importancia a la luz de lo ocurrido tras la sequía en regiones generadoras de hidroelectricidad en Brasil. En este país efectivamente el mecanismo de precios implementado fue acompañado de información precisa sobre los ahorros posibles a la vez que la sequía era notoria por la cobertura en medios informativos, lo cual hizo más efectivo el mecanismo y señala una avenida de oportunidad para que políticas de precios encaminadas a reducir el consumo energético resulten exitosas.

Los principales resultados de los estudios presentados en esta sección para los países de América Latina y el Caribe se pueden resumir como sigue:

- i) El crecimiento económico genera aumentos en el consumo de energía pero este impacto se reduce a medida que los países alcanzan niveles más altos de desarrollo económico.
- ii) El crecimiento en el consumo de energía genera crecimiento económico en algunos países lo cual implica que las medidas encaminadas a reducir el consumo de energía deben considerar posibles impactos negativos sobre la economía.
- iii) El consumo de energía es por lo general más sensible ante cambios en el ingreso que ante cambios en los precios. Solamente tres estudios encuentran lo contrario: Alves y Bueno (2003) y Santos (2013) para demanda de gasolinas en Brasil y el de Agostini *et al.* (2012) para consumo de electricidad en hogares.
- iv) El consumo de energía no es muy sensible ante cambios en los precios de la energía lo cual pudiera limitar la efectividad de políticas de precios para reducir la demanda de energía. Sin embargo éstas políticas pueden resultar exitosas si son acompañadas de estrategias que provean información sobre potenciales ahorros económicos y en daños a la salud y ambientales derivados de reducciones en el consumo de energía.

## B. Modelos de simulación

La mayoría de los estudios cuyo objeto es analizar al mercado completo de la energía o solamente a la oferta recurren tanto a extrapolaciones basadas en algunas tendencias como a modelos más complejos de simulación para proyectar la composición de las matrices energéticas y consumos en el futuro. Estas metodologías se prestan más para estudiar aquellos países en los que se cuenta con información insuficiente para realizar estimaciones con base en modelos econométricos. Los estudios que se revisan en esta sección muestran en general la viabilidad para desarrollar energías renovables y mejorar la eficiencia del uso de la energía debido a menores costos en el mediano y largo plazo. Desde luego, la desventaja de estos modelos es la incertidumbre de sus resultados, ya que en casos donde se tiene tan poca información, como el mercado de energías renovables, cualquier cambio en alguna variable, puede llevar a cambios drásticos en los resultados. Sin embargo, para dar mayor confiabilidad a las proyecciones generalmente se comparan escenarios optimistas y pesimistas contra un escenario base en donde las variables exógenas se mantienen en su tendencia histórica.

Imran y Barnes (1990) realizaron un primer intento por entender y proyectar las condiciones del mercado de energía para ocho países en vía de desarrollo incluyendo Brasil<sup>7</sup> que llegaron a consumir el 50% de la energía y el 35% del petróleo de los países en desarrollo. Los autores proyectan a 2010 el consumo total de petróleo, gas natural, carbón y electricidad como función del ingreso y los precios de la energía junto a otras variables técnicas. Adicionalmente, los autores consideran otro tipo de restricciones de cada país para hacer las proyecciones que no podrían ser incluidas en los modelos. En las proyecciones, Brasil seguiría siendo un importador neto de petróleo, pero en su matriz energética las fuentes de energía renovable (principalmente las hidroeléctricas) son casi igual de importantes que el petróleo para el 2010. Para el mismo país, Geller *et al.* (2004) utilizan un modelo integrado de planeación energética para proyectar que bajo un escenario que incluye medidas de eficiencia energética e impulso a las energías renovables, el consumo de energía sería 13% menor para el año 2010 comparado con un escenario base. En el modelo, la reducción en el consumo a raíz de las medidas de eficiencia energética juega un papel primordial, mientras que la participación de energías renovables pasa del 45% al 51% de la utilización total de energía en Brasil. Con base en el mismo modelo utilizado por Geller *et al.*, el cual no considera costos de las distintas tecnologías, Fernandes *et al.* (2005) pronostica la demanda de energía de 1995 a 2010 bajo tres escenarios distintos. En el escenario de bajo crecimiento, el PIB aumenta en 70% y la energía en 64%. En el de alto crecimiento los aumentos son respectivamente de 109% y 103%, mientras que en el escenario sustentable el aumento del PIB se mantiene como en el segundo escenario pero el consumo de energía solamente se eleva en un 95% debido a las ganancias en eficiencia en el sector industrial. Con base en las matrices energéticas que genera el modelo bajo los distintos escenarios, se aprecia que la participación del gas natural aumenta de 1,2% en 1995 a 4,14%, 4,8% y 5,12% en los escenarios de crecimiento bajo, alto y sustentable respectivamente. En el escenario sustentable la participación del carbón y productos del petróleo se reduce. Combinando los crecimientos en consumo y los supuestos de crecimiento económico los autores calculan elasticidades de demanda de energía con respecto al PIB siendo aquella para gas natural la más alta (6,2) y la de leña la más baja (0,34). Las elasticidades para consumo de electricidad y productos del petróleo son respectivamente 0,94 y 1,04. Por su parte, Arbex y Perobelli (2010) combinan un modelo de insumo-producto con un modelo de crecimiento para Brasil y encuentran que comparado con el escenario base, mientras mayor sea el progreso tecnológico y la tasa de regeneración de recursos renovables y menor sea el aumento de la población y la tasa de agotamiento de recursos no renovables, aumentarán tanto la tasa de crecimiento de la economía y del uso de la energía.

Siguiendo el modelo de oligopolio de Green y Newberry (1992), De la Cruz y García (2002) realizan una simulación del mercado energético para el caso peruano. Su principal resultado afirma que después de la apertura de la industria eléctrica se redujeron los precios, a pesar de que se han registrado comportamientos estratégicos por parte de productores. Para el mismo país pero basados en un método de comparación de costos, Gonzales y Nebra (2012) proyectan bajo diferentes escenarios el consumo de gas natural al 2020, explicado por el crecimiento económico, la localización de futuras inversiones para la industria del gas, así como patrones de consumo y uso de energía final. Los resultados muestran que el uso de gas natural tiene resultados positivos en todos los sectores con excepción de supermercados y centros comerciales. En otro estudio para Perú, Ferrer-Martí *et al.* (2013) presentan un modelo matemático para optimizar el diseño de los sistemas de electrificación híbridos en áreas rurales (eólico-solar). Sus resultados para dos regiones distintas muestran reducciones en los costos de generación de entre 22% y 30% al combinar las dos tecnologías y la elección óptima de los puntos de generación en las localidades. Por su parte Sauma *et al.* (2011) evalúan tres escenarios con respecto a la interconexión eléctrica entre Perú y otros países andinos como Bolivia, Chile, Colombia y Ecuador mediante un modelo de programación dinámica estocástica encontrando que es posible aumentar la eficiencia energética mediante el intercambio de energía en la región.

Para el sector rural de Nicaragua, Casillas y Kammen (2011) simulan una curva de oferta energética considerando el tamaño de las plantas y la sustitución del diésel por energías renovables. Por el lado de la demanda consideran aumentos en la eficiencia energética con elementos como un

<sup>7</sup> Los otros países son China, India, Indonesia, Malasia, Pakistán, Filipinas y Tailandia.

alumbrado público eficiente. Los datos principales para la simulación incluyen costos de capital, duración de la tecnología, electricidad ahorrada en kilowatts por hora (kW/h), litros ahorrados al día de diésel, y costos de la energía provista tanto para los factores de oferta, como para los de demanda. Los autores reportan que sí existen oportunidades reales de reducir los costos de la provisión de servicios energéticos y transitar a un sistema de electricidad bajo en emisiones.

Ghilardi *et al* (2007) hacen un análisis usando la metodología WISDOM<sup>8</sup> para simular la oferta y demanda del mercado de leña en México para el período 1993-2000, incluyendo estadísticas descriptivas e identificando las zonas en riesgo. Los resultados del análisis arrojan que la proporción de usuarios de leña ha disminuido durante el periodo de análisis y 13% del total de municipios son considerados como zonas de riesgo en las que no disminuiría el uso de esta fuente de combustión con incrementos subsecuentes en las emisiones de GEI.

En un análisis de demanda de vehículos en México, Bauer *et al.* (2003) utilizan coeficientes de una función Gompertz estimada econométricamente por Dargay y Gately (1999) para proyectar la cantidad de vehículos per cápita. En el escenario base se considera la tendencia histórica de tenencia de autos para llegar a 0,28 autos per cápita con un crecimiento del 130% en la demanda de gasolina en 2030. Los escenarios de rápido crecimiento de autos resultan en 0,45-0,6 vehículos per cápita para el mismo año, incrementando la demanda de gasolina en un 250-378%.

Otras metodologías se relacionan más a estudios de caso. Henao *et al.* (2012) proponen un análisis multi-criterio y un mecanismo de robustez para evaluar la sustentabilidad y posibilidad de llevar energía a áreas remotas, el cual se aplica y evalúa para un análisis de factibilidad del caso de las áreas rurales del municipio de Jambaló, en el suroccidente colombiano, sugiriendo que sí es posible implementar este tipo de proyectos. También para Colombia, Devis-Morales *et al.* (2014) analizan el potencial de las aguas marítimas colombianas para producir electricidad mediante un sistema de Conversión de Energía Termal Oceánica. En su análisis se tomaron en cuenta las condiciones oceanográficas (gradientes térmicos), meteorológicos (vientos), medio ambientales (batimetría, las olas, las corrientes y las tormentas) y socio-económicas para la determinación de sitios adecuados para la instalación de este sistema renovable. Encuentran que una instalación de este tipo sería capaz de producir 50% de la demanda de electricidad en la Isla de San Andrés con varios co-beneficios ambientales.

Los principales resultados de los estudios presentados en esta sección para los países de América Latina y el Caribe se pueden resumir como sigue:

- i) Las proyecciones energéticas para Brasil generalmente son las más optimistas para la región en términos de la participación de fuentes de energías alternativas y renovables en la matriz energética.
- ii) México se proyecta como un país que seguirá dependiendo de los combustibles fósiles en gran proporción, pero disminuirá la dependencia de fuentes de deforestación como el consumo de leña.
- iii) En el caso de Colombia, resalta el potencial para llevar energía a regiones apartadas a costos menores respecto a modelos actuales, que están basados en un alto consumo de energías fósiles.
- iv) En economías más pequeñas como Nicaragua, Bolivia y Perú hay expectativas positivas hacia una mayor participación del gas natural (en los dos últimos), una reducción de los costos de la energía, y una mayor eficiencia tanto en la producción como en el consumo de energía.
- v) Los escenarios base y de menores emisiones proyectan un aumento en la participación del gas natural en la matriz energética para distintos países de la región.

---

<sup>8</sup> “WISDOM (*woodfuel integrated supply/demand overview mapping*) es un método explícito espacialmente, basado en tecnología de Sistema de Información Geográfica (SIG), el cual organiza un conjunto de unidades espaciales de acuerdo a un grupo de indicadores, para así identificar áreas de prioridad o áreas críticas por el uso de la leña” (traducción por los autores).





## II. Trayectorias posibles de la oferta y la demanda de energía con referencia al cambio climático

Los trabajos descritos en la sección anterior se enfocan en el mercado de la energía y hacen algún llamado a la consideración de las emisiones de CO<sub>2</sub>, sin embargo no ahondan en este tema, por lo que en esta sección reportamos aquella literatura que ha considerado explícitamente el cambio climático en su análisis. Parte de esta literatura enfrenta el problema de información limitada respecto al cambio climático que es incluso más escasa que la del mercado energético, pero generalmente el interés en el tema es acerca de las perspectivas futuras, por lo que los estudios en esta área hacen proyecciones de emisiones de GEI así como efectos del cambio climático bajo diferentes tecnologías, circunstancias económicas y políticas entre otros.

Como parte del programa GEA de la IIASA (2015b) se han generado proyecciones de consumo regional de energía a partir de alteraciones en los escenarios base adoptados por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) mostrados en los gráficos 7 y 8. Los escenarios construyen las sendas futuras de la demanda y oferta de energía para todo el mundo por tipo de fuente y uso final de acuerdo a las medidas adoptadas para mitigar el cambio climático, lo que resulta en cuatro escenarios, incluyendo un escenario base. Las proyecciones presentadas en los gráficos 7 y 8 se realizaron para el modelo que considera el forzamiento radiativo más alto (MESSAGE), es decir, mayor forzamiento radiativo implicando menores esfuerzos de mitigación. Por su parte el gráfico 9 presenta los diferentes escenarios de emisiones de CO<sub>2</sub> para América Latina y el Caribe y el mundo.

A pesar de las diferentes sendas tomadas bajo cada escenario de forzamiento radiativo mostrado en el gráfico 9, es notable la baja participación de América Latina y el Caribe respecto a las emisiones mundiales. Por ejemplo, la región alcanza su punto más alto en 2 petagramos de carbón (PgC) en 2070 en el escenario con el más alto nivel de forzamiento radiativo hacia 2100 (MESSAGE RCP8.5). A partir de este punto la región disminuye sus emisiones, mientras en el mundo continúan en ascenso superando los 25 PgC. A partir de la línea base de emisiones del modelo MESSAGE RCP8.5 Vergara *et al.* (2013) analizan las trayectorias que pudieran seguir las emisiones en América Latina y el Caribe bajo distintos escenarios que contemplan la implementación de medidas para reducir las emisiones de GEI. Las medidas comprendidas están encaminadas a reducir el contenido de carbono de los combustibles modificando la combinación de fuentes de energía desde el lado de la oferta y a disminuir su consumo incrementando la eficiencia energética desde el lado de la demanda. De acuerdo a los resultados reportados por Vergara *et al.* (2013), las estrategias combinadas que incorporen medidas tanto de oferta como de demanda prometen alcanzar mayores reducciones de GEI a menores costos.

En las siguientes secciones presentamos primero estudios econométricos que buscan encontrar la asociación entre crecimiento económico y emisiones de GEI para después presentar una revisión sobre estudios que han utilizado otras metodologías para estimar las relaciones entre consumo de energía y cambio climático en sus dos direcciones causales y sus efectos en otros sectores.

## A. Proyecciones econométricas para la relación entre crecimiento económico y emisiones GEI

Como muestran los estudios revisados en la sección A el crecimiento económico tiene impactos sobre el consumo de energía pero esta relación también puede presentarse en la dirección opuesta en algunos países. Es decir, aumentos en el consumo de energía pueden generar crecimiento económico. La relación entre consumo energético y emisiones de GEI es unidireccional del primero hacia las segundas, sin embargo entre las emisiones y el crecimiento económico también es posible encontrar una relación en ambas direcciones debido al posible impacto que pudieran tener restricciones en la emisión de gases sobre la economía. Aunque solamente algunos de los estudios que se reportan en esta sección contemplan todas las posibles direcciones causales entre estas tres variables, cada uno de ellos hace aportaciones significativas hacia un mejor entendimiento de las relaciones que existen entre crecimiento económico, consumo de energía y emisiones de GEI.

El impacto del PIB, la población e intensidad energética sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> en Chile entre 1971 y 2007 lo estima Mundaca (2013). Aunque el autor no reporta elasticidades y no lleva a cabo análisis de causalidad, sus resultados se encuentran en línea con el resto de la literatura en cuanto a la importancia del PIB como determinante del CO<sub>2</sub>. De acuerdo a un estudio citado en Mundaca (2013), entre 2008 y 2025 las emisiones de GEI del país se duplicarán. Chile, un país altamente dependiente de importaciones de combustibles fósiles, logró bajar su intensidad de CO<sub>2</sub> al importar gas natural de Argentina pero aumentó la misma ante la crisis en ese país que redujo su producción al mismo tiempo que se presentaron sequías en Chile que afectaron la generación de electricidad por hidroeléctricas, aumentando la participación del carbón como fuente de energía primaria. De acuerdo a Mundaca (2013), en 2020, la participación de la generación de energía eléctrica con base en carbón alcanzará el 26% (de 17% en 2005). Para Chile será difícil expandir la participación de hidroelectricidad en la matriz de generación de energía eléctrica por cuestiones políticas transfronterizas y sociales al interior. Es importante notar que en el estudio de Aravena *et al.* (2012) sobre disponibilidad a pagar por energías limpias, los chilenos estarían dispuestos a pagar 16% más al mes por su consumo de electricidad si ésta fuera generada por energías renovables no convencionales en sustitución de hidroeléctricas y de 19% más en sustitución de combustibles fósiles. De acuerdo a los cálculos de los autores, estos valores serían suficientes para compensar el costo adicional de generación de electricidad con base en energías renovables en comparación al de hidroeléctricas pero no sería suficiente para cubrir los costos adicionales de generación por medio de energía geotérmica.

Los resultados de las estimaciones en Saboori *et al.* (2014) para 27 países de la OCDE incluidos Chile y México, muestran una relación bi-direccional entre emisiones y PIB en estos dos países. Ello implica que las estrategias de mitigación en Chile, ya de por sí restringidas como reporta Mundaca (2013) deben ser evaluadas en consideración de los posibles efectos negativos que pudieran tener sobre la actividad económica. La elasticidad del PIB con respecto a las emisiones para el caso mexicano es menor y en cualquier caso las políticas de largo plazo relacionadas con el uso eficiente de la energía y el cambio a los biocombustibles, la energía renovable y nuclear pueden aportar importantes beneficios en la mitigación de gases de efecto invernadero sin representar un obstáculo para el crecimiento económico.

Chang y Soruco (2011) realizan un análisis similar enfocado en países de América Latina y el Caribe para el periodo 1971-2005 pero de acuerdo a las estimaciones no es posible encontrar una relación de largo plazo entre las variables consumo energético, emisiones y PIB para cada uno de los 20 países considerados. En específico, se encontraron relaciones de largo plazo entre estas variables para Chile, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Paraguay y Venezuela pero no para

Bolivia, Brasil, Ecuador, Jamaica, Nicaragua, Perú, Trinidad y Tobago y Uruguay. A pesar de esta restricción se presentan resultados que no corroboran la bi-direccionalidad de la relación entre emisiones y PIB en ningún caso (aunque sí existe una causalidad desde el consumo energético hacia el PIB en Brasil, Perú y Uruguay).

En el estudio de Pao y Tsai (2011) con datos anuales de 1980-2007 para Brasil y otros tres países en desarrollo se estima la relación entre CO<sub>2</sub>, energía, PIB e inversión extranjera directa. Los resultados de causalidad indican que la relación entre emisiones y PIB es bidireccional, lo mismo que la relación entre energía y PIB, verificando la hipótesis de crecimiento mencionada en la sección A. Por otra parte, los autores contribuyen a la literatura sobre la llamada curva de Kuznets ambiental que propone una relación en forma de U-invertida para las emisiones y el PIB. Los autores encuentran que el punto de inflexión ocurre en un nivel excesivamente alto de desarrollo equivalente a los USD 280.000 anuales per cápita. En el largo plazo, las emisiones son inelásticas con respecto al PIB per cápita si éste último es mayor a USD 3.200 y elásticas si es menor. La elasticidad de las emisiones con respecto al consumo de energía es prácticamente unitaria, mientras que la elasticidad se acerca a cero con respecto a la inversión extranjera directa, la cual a su vez es influenciada por el PIB, las emisiones y el consumo de energía.

El resultado sobre la inelasticidad de las emisiones con respecto al PIB per cápita a partir de cierto nivel de desarrollo no está aislado de otros obtenidos por medio de otras metodologías. Con base en un método de descomposición, De Freitas y Kaneko (2011) analizan los cambios en la matriz energética en Brasil entre los años 1970-2009. Aunque el crecimiento del PIB y la población son los factores más importantes en la trayectoria del CO<sub>2</sub>, es notable la separación entre el crecimiento económico y las emisiones a partir de 2004 debido a la penetración de energías renovables y la consolidación del mercado de etanol como combustible para el transporte y electricidad lo cual ha contribuido mayormente a reducir la intensidad energética. Mientras el etanol de caña de azúcar y las hidroeléctricas aumentaron su participación en la matriz energética (de 6% y 7% a 15% y 16% respectivamente), la utilización de biomasa como la leña disminuyó de 35% a 11%. Por su parte, el petróleo se mantuvo con una participación de alrededor de 45% durante este periodo en el cual el consumo de energía total en Brasil creció en 259%. Los autores de este estudio además reportan que entre 1970-1999 disminuyó el consumo de energía en los hogares debido a la sustitución de biomasa por gas natural y etanol pero aumentó para 2009. A pesar de que algunos de estos resultados para Brasil son positivos, Vahl y Filho (2015) llaman la atención sobre la tendencia creciente del gas natural en la generación de electricidad en Brasil que se colocaría hacia el 2022 como la principal fuente primaria de energía para producir electricidad, por encima de las hidroeléctricas.

En otro estudio relacionado con la curva de Kuznets ambiental y mediante un modelo de transición para datos panel, Galindo y Samaniego (2010) estiman la relación entre CO<sub>2</sub> per cápita y PIB per cápita en países de América Latina y el Caribe con datos del WRI. Los resultados son consistentes con la curva de Kuznets ambiental pues los países más pobres y los más ricos de la región mantienen una tendencia de decrecimiento en la elasticidad de las emisiones con respecto al PIB mientras los medios, es decir aquellos con PIB per cápita entre USD 936 y USD 3.848, muestran una tendencia creciente. Cabe señalar que el nivel de ingreso per cápita a partir del cual se reduce la elasticidad de las emisiones con respecto al ingreso es muy cercano al encontrado por Pao y Tsai (2011).

Los principales resultados de los estudios presentados en esta sección para los países de América Latina y el Caribe se pueden resumir como sigue:

- i) El crecimiento económico genera aumentos en las emisiones de CO<sub>2</sub> pero este impacto se reduce a medida que los países alcanzan niveles más altos de desarrollo económico.
- ii) El crecimiento en las emisiones de CO<sub>2</sub> genera crecimiento económico en algunos países lo cual implica que las medidas encaminadas a reducir las emisiones deben considerar posibles impactos negativos sobre la economía.
- iii) El desacoplamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> del consumo de energía no se ha observado en la mayoría de los países de la región pero algunos estudios apuntan que en países con

ingreso per cápita superior a los USD 4.000 se podría comenzar a observar una ligera separación de las trayectorias. Ello está ligado con medidas de eficiencia energética y sustitución de combustibles de alto contenido de carbón por otros de menor contenido y así como fuentes de energía renovables.

## B. Proyecciones energéticas y cambio climático usando otros métodos

Los escenarios de referencia del IPCC en sus distintas versiones han sido utilizados en algunos estudios para simular los posibles impactos de medidas que tienen como objetivo reducir las emisiones de GEI (véase el gráfico 9). Esta sección describe algunos estudios que usan dichas proyecciones entre otras para simular su relación con el sector energético de la región. Gomes y de Melo (2013) analizan el efecto de un aumento del biodiesel en el mercado de combustibles en las emisiones de CO<sub>2</sub> para el caso brasileño. Los resultados del análisis muestran que para reducir las emisiones en cumplimiento de la política nacional de cambio climático se requiere aumentar la proporción de biodiesel del actual 5% al 12% en 2020 y reducir para el mismo año el consumo de diésel entre el 3% y 5%. De Lucena *et al.* (2009) realizan una simulación para evaluar las variaciones potenciales en la generación de energía en el sistema hidroeléctrico usando el modelo SUSHI-O<sup>9</sup>, desarrollado por Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), que junto a estimaciones del flujo de agua por precipitaciones en cada planta generadora les permite encontrar que la generación de energía renovable (producción de biocombustibles, generación de energía eléctrica y eólica en las regiones más pobres) es altamente vulnerable a los posibles cambios climatológicos. No obstante, los cambios climatológicos aún son inciertos.

Es importante destacar de nuevo que el caso brasileño ha sido uno de los más estudiados por llevar iniciativas contra el cambio climático en la región desde algún tiempo atrás. Así, Halsnaes *et al.* (2008) hacen un análisis descriptivo para cuatro países incluyendo Brasil<sup>10</sup> sobre factores relacionados con el cambio climático y el desarrollo sostenible. Las principales variables para su análisis son el crecimiento económico, la intensidad energética, la intensidad de la contaminación local y emisiones de GEI, la eficiencia energética, la inversión en nuevas plantas de energía, la participación de la energía renovable y el acceso a la energía. Los autores encuentran que a pesar de que sí hay un esfuerzo por aumentar la participación de las energías renovables, existe una tendencia para seguir usando energía más intensa en emisiones.

Otro ejemplo se puede encontrar en Calili *et al.* (2014), quienes utilizan un modelo de simulación para la minimización de costos para Brasil para demostrar las ventajas en términos de ahorros y costos de invertir en políticas dirigidas a aumentar la eficiencia energética en comparación a grandes proyectos energéticos con grandes impactos sociales y ambientales como la hidroeléctrica de Bel Monte en el norte de Brasil. Por su parte Borba *et al.* (2012) calcula costos de abatimiento para distintas medidas en los sectores industrial, petróleo y transporte en Brasil. En comparación con un escenario base sus resultados muestran un potencial para reducir las emisiones de GEI relacionadas con la energía en un 27% en 2030, sin embargo esas reducciones no son suficientes para obtener emisiones de GEI relacionadas con la energía por debajo del nivel actual en Brasil.

Siguiendo esta última metodología, Caspary (2009) hace una simulación y proyección de curvas de costos de desarrollo de energías renovables bajo diferentes escenarios asumiendo variaciones en los precios del petróleo para el caso colombiano. El autor encuentra que los costos del desarrollo de todas las energías renovables del estudio son competitivos en el tiempo, con excepción de la solar fotovoltaica (PV), que no es competitiva bajo ningún escenario proyectado. Similarmente, Abraham (2006) plantea un problema de minimización de costos para el mercado de la energía en El Salvador que considera en su

<sup>9</sup> *Modelo de Simulação a Usinas Individualizadas para Subsistemas Hidrotérmicos Interligados*, es un modelo de simulación de la operación energética de sistemas interconectados que utilizan la representación de las plantas de forma individual.

<sup>10</sup> Los otros países son India, China y Sudáfrica.

función objetivo los costos de operación de las plantas de energía, la importación de energía, la generación por otras fuentes y la transmisión, restringido por la demanda, la ley de voltaje de Kirchoff, la capacidad de los factores generadores, el margen de reserva, capacidades de las plantas y límites de importación. Las plantas son analizadas por tres tipos de energía: termal, hidroenergía y geotermal. La solución al modelo con datos sobre la demanda de energía para los años 2000-2004 reporta que es posible expandir la capacidad de energía eléctrica, incluyendo la geotermal, manteniendo los precios bajos para los consumidores finales. Para Chile, los resultados de Mosnaim (2001) muestran que hacia 2010 es posible reducir emisiones de CO<sub>2</sub> en un 7% con respecto al escenario base con costos negativos mediante medidas de eficiencia energética y 114% con costos por debajo de los USD 11 por tonelada de CO<sub>2</sub>.

Con otra aproximación, Machicano (2014) utiliza un modelo de equilibrio general computable para proyectar la curva de costos de la producción de energía para el período 2000-2100 en Bolivia, y encuentran que la producción caería entre el 10% y 20% debido a la disminución de precipitaciones derivado del cambio climático. La energía adicional requerida para cubrir estos costos climáticos representaría entre el 0,05-0,06% del PIB. Flores *et al.* (2011) estudia el potencial energético de Honduras que cuenta con suficientes recursos naturales para ser autosuficiente y ya comenzó a implementar una política de desarrollo energético en el largo plazo y debe estar al pendiente de posibles modificaciones para mejorarlo y fortalecerlo.

En el caso de México, Islas *et al.* (2007) usan el modelo *long-range energy alternatives planning system* (LEAP)<sup>11</sup> creado por el *Stockholm Environment Institute at Boston* (SEI-B) para la simulación de escenarios 2005-2030 del sector energético y su futuro en energías renovables, especialmente biocombustibles. En el escenario base el uso de combustibles derivados del gas natural y petróleo es el más usado. Dos escenarios adicionales asumen una mejora moderada y radical en el uso de biocombustibles. En el escenario más optimista su principal resultado es que los biocombustibles logran suministrar el 16,17% del total de energía consumida mientras que en el escenario moderado representa el 7,08%. Santoyo-Castelazo y Azapagic (2014) muestran con un análisis de ciclo de vida que una vez considerados los impactos ambientales las trayectorias de crecimiento de consumo energético basadas en combustibles fósiles, aunque menos costosas, no son las más recomendadas en su análisis multicriterio para México. Campbell *et al.* (2011) estudia las opciones de generación de electricidad en Baja California, México hacia 2025 que requerirá de tres veces la capacidad instalada en 2005. Los resultados indican que mediante la planeación sistémica que incluye la expansión de la energía geotérmica y medidas de eficiencia energética será posible obtener grandes ahorros en recursos económicos y emisiones de GEI.

Bautista (2012) utiliza el LEAP para proyectar el sector de generación de energía al 2050 en Venezuela bajo diferentes escenarios, incluyendo un escenario sostenible con un alto componente de energías renovables, principalmente energía solar y biodiesel de Jatrofa. En otra aplicación basada en LEAP, McPherson y Karney (2014) evalúa cuatro escenarios que mezclan niveles de penetración de nuevas tecnologías en la matriz energética y potenciales de calentamiento global para Panamá. Los resultados muestran que la diversificación de la matriz de generación de electricidad con energías renovables reduciría la vulnerabilidad de Panamá ante shocks de precios de los combustibles fósiles al mismo tiempo que reduce emisiones de CO<sub>2</sub>. Otra de la aplicaciones del modelo LEAP se hace para proyectar el sector energético de Brasil a 2030 por Andrade *et al.* (2014). Los autores comparan un escenario que sigue la tendencia histórica y otro en el que se implementan medidas adicionales de mitigación de emisiones de GEI. Los autores encuentran que Brasil podría reducir en 30% su demanda de energía aprovechando su potencial hidroeléctrico, de viento, biomasa y solar para cambiar su matriz energética en conjunto con medidas que aumenten la eficiencia energética.

---

<sup>11</sup> LEAP es una herramienta para crear modelos de diferentes sistemas de energía, donde cada uno de los escenarios construidos requiere sus propios datos.

O’Ryan *et al.* (2001) analizan el sector de transporte chileno y sus implicaciones en las emisiones de GEI proyectando hacia 2020 un escenario base y uno con baja de emisiones. Los escenarios son estimados principalmente a través de entrevistas a expertos del sector, líderes políticos, y el uso de información histórica. Los autores encuentran viable la solución de bajas emisiones con políticas como peajes, eliminación de preferencias tributarias a camiones, restricciones al uso del automóvil, mejoramiento del sistema de transporte de personas, y mejores líneas del metro.

En un análisis del sector del transporte brasileño Wills y La Rovere (2010) analizan tres escenarios sobre estándares de consumo de combustible para vehículos para proyectar el consumo de gasolina. Se simulan los consumos de gasolina con base en incrementos anuales de la eficiencia de los motores de 0,25% (A), 1,12% (B), y 2,38% (C). Los escenarios B y C se construyen con base en las metas japonesas para los estándares que serían alcanzadas en Brasil en 2025 y 2015 respectivamente. En la simulación se asume que la flota se cuadruplica dados el incremento de 5% en ventas anuales de autos nuevos y una fórmula de desecho de los vehículos. Al igual que la flota vehicular, los kilómetros recorridos se mantienen constantes en todos los escenarios. Comparado con A, B reduce en 15% y C en 31% las emisiones de CO<sub>2</sub> en 2030. Es importante notar que el factor de emisión brasileño es más bajo que en Japón y Europa debido al uso del etanol y que dadas las mejoras en eficiencia de los vehículos en el escenario C el factor sería solamente la mitad de aquél en dichos países. A pesar del aumento de la flota hacia 2030, las emisiones del sector transporte se elevarían solamente en 45% bajo el escenario C. Cabe señalar que estos cálculos no consideran las emisiones directas e indirectas por cambios de uso de suelo originadas por la conversión de tierras para producir la caña de azúcar con la que se produce el etanol. En un análisis comparativo de los costos de producción de etanol entre Estados Unidos de Norteamérica y Brasil, Crago *et al.* (2010) reportan que pudieran sobreestimarse los ahorros en emisiones de GEI debido a la sustitución de gasolinas convencionales por etanol hasta en un 25% al ignorar emisiones por conversión de suelo. Por otra parte, los requerimientos de agua para la producción de etanol brasileño es 25 veces mayor que aquellos para producir gasolina de acuerdo a Gerbens-Leenes *et al.* (2009). Ambos aspectos apuntan hacia la importancia de incorporar estos elementos en los ejercicios comparativos de los daños ambientales de las distintas fuentes de energía, en particular de los biocombustible que como muestra Lamers *et al.* (2008) para el caso argentino, tienen un alto potencial de penetración en otros mercados.

Adoptando el modelo *Multi-Scale Integrated Analysis of Societal and Ecosystem Metabolism*<sup>12</sup>, Recalde y Ramos-Martin (2012) analizan los patrones de comportamiento del consumo de energía en Argentina para explicar el PIB y la actividad humana en el país como una función del promedio exomático de la tasa metabólica, del trabajo exomático remunerado de la tasa metabólica, de la tasa metabólica exomática por hogar, de la productividad económica laboral, y de la eficiencia energética de la producción<sup>13</sup>. Como resultado encuentran que el país no está preparado para ser sustentable en el largo plazo porque la intensidad de consumo ha aumentado.

Con un análisis más descriptivo, Pereira *et al.* (2012) hacen un balance del estado de las energías renovables y sus perspectivas en Brasil. Los autores resaltan la importancia de los recursos públicos asignados al sector energético en los últimos años para expandirlo y principalmente su efecto positivo en la expansión de la energía eólica y de las pequeñas hidroeléctricas. A su vez hacen un llamado a incrementar la inversión y aprovechamiento de la energía solar, que se ha quedado rezagada. Siguiendo

---

<sup>12</sup> De acuerdo a los autores, este modelo permite llevar a cabo un control sobre la viabilidad y conveniencia de los patrones de metabolismo de los sistemas socioeconómicos, proporcionando una caracterización a diferentes niveles y escalas de: i) la realización de actividades socio-económicas (para hogares, empresas, sectores económicos, las economías nacionales, la economía mundial) y ii) limitaciones ecológicas (micro, meso, macro) observando la interferencia que el metabolismo de la materia y flujos de energía controladas por la actividad humana induce en el patrón esperado de metabolismo de la materia y flujos de energía asociados con la auto-organización de los ecosistemas naturales.

<sup>13</sup> El concepto de metabolismo "exosomático" se utiliza para medir la viabilidad de la relación entre los recursos naturales y la producción. La idea es conocer cuál es la dotación de recursos que hay en la naturaleza, cuántos necesita el sistema para mantenerse, y cuánto puede ser capturado por el hombre sin afectar a la pervivencia de los ecosistemas. Esto requiere utilizar estadísticas biofísicas, pero con sentido económico, por eso desde la economía biofísica se utiliza balances o "presupuestos" de recursos.

un método descriptivo también, Bertoni y Román (2006) relatan la transición de Uruguay de la energía tradicional (principalmente leña y carbón) a la energía moderna (principalmente petróleo e hidroelectricidad). Los autores concluyen de esta parte que el país se transformó en un importador neto de petróleo. Los autores también buscan evidencia para la curva ambiental de Kuznets, la cual no se obtiene cuando incluyen el consumo de energía tradicional y moderna juntas. Otro combustible con menores emisiones pero que no es renovable es el gas natural, del cual varios países hacen una importante fuente de ingreso. Morales *et al.* (2007) hacen un estudio espacial para Bolivia sobre las reservas y los ductos de gas para Bolivia y el mercado de eco-diésel, con énfasis en Sudamérica y la factibilidad de exportar a Brasil. Realizan también un análisis sobre el monto de inversión necesario para implementar el GTL-FT diésel (diésel a partir de gas de síntesis), encontrando que la industrialización del gas natural es viable con la producción de GTL-FT diésel y que el país sería competitivo internacionalmente en estos combustibles. También haciendo un análisis descriptivo, Suárez *et al.* (2012) describen el progreso del sector energético cubano, el cual a pesar de haber alcanzado una cobertura casi total, no está listo para la entrada completa de los mercados extranjeros, por lo que requiere aumentar la explotación de su petróleo, como al mismo tiempo aumentar la eficiencia energética y la producción y uso de energías renovables.

Los principales resultados de los estudios presentados en esta sección para los países de América Latina y el Caribe se pueden resumir como sigue:

- i) Las políticas dirigidas hacia la disminución de costos energéticos por medio de incrementos en la eficiencia energética y adopción de tecnologías más limpias como las geotermales o biocombustibles, le permitirían a la región consumir la energía proyectada para su crecimiento y disminuir las emisiones de GEI comparado con un escenario base.
- ii) La matriz energética de Brasil es de las que más participación tiene de energías renovables y alternativas. Sin embargo, dada la tendencia hacia el incremento en el consumo de combustible fósiles, este país también deberá incrementar su esfuerzo hacia un mayor uso de energías limpias, incluido el biodiesel, si se plantean ambiciosos objetivos de reducción de GEI.
- iii) Las emisiones en el sector transporte pueden reducirse aumentando la eficiencia de los motores vehiculares y una mayor utilización de los biocombustibles. Sin embargo, en el caso del etanol, éste merece un análisis más detallado para determinar si resulta en reducciones de emisiones netas aún al incluir los impactos en la conversión indirecta del suelo y el consumo de agua.

## **C. Impactos del cambio climático y la energía en otros sectores económicos y sociales**

Algunos sectores como la educación, la cultura, o la salud también son afectados directamente por cambios en el sector energético y desde luego por el cambio climático. Esta sección describe brevemente algunos estudios que sin deslindarse de la energía y el cambio climático, analizan sus efectos en otros sectores que son claves en el desarrollo social. Andersen *et al.* (2009), por ejemplo, estiman el efecto del cambio climático en el ingreso y esperanza de vida para el caso peruano. Para medir el cambio climático usan datos históricos para la temperatura y niveles de precipitación (de 1948 a 2008) en 1.828 distritos peruanos. Ellos encuentran que los habitantes que viven en temperaturas entre 18 y 20 grados centígrados estarían mejor en términos de bienestar que habitantes que viven en otras temperaturas. Sin embargo señalan que se requieren nuevas inversiones en represas y sistemas de irrigación, porque la capacidad existente de agua e hidroeléctricas puede ser afectada por un menor flujo debido al deshielo de los glaciares. Por su parte, Escribano (2013) estudia la disyuntiva en Ecuador de desarrollar nuevas energías renovables en el país o no afectar las poblaciones y tradiciones indígenas, esto se da en el contexto del aumento del crédito del país con China para desarrollar proyectos de energía, a lo cual el autor concluye que este tipo de estrategia solo funciona en el corto plazo. Así, el



autor señala que se requiere un desarrollo coherente de las energías renovables y la energía en el largo plazo que llevaría a Ecuador a una composición energética más equilibrada, la cual requiere inversiones significativas y transferencia tecnológica desde el exterior. Asimismo, estos cambios para modernizar la matriz energética deben ser apoyados con la mejora de la eficiencia energética. Sin embargo, este apoyo no será exitoso si se aplican de manera fragmentada y siguiendo diferentes objetivos en ámbitos políticos. En cambio, señala Escribano, el gobierno debe diseñar una política energética integral y bien especificada que envíe las señales correctas al mercado y a las oportunidades de cooperación, manteniendo la coherencia entre las diferentes acciones.

En términos de la concentración del ingreso, Jacobson *et al.* (2005) extienden la aplicación tradicional del coeficiente de GINI y las curvas de Lorenz al sector energético de cinco países incluyendo El Salvador. El GINI energético se construye en base al acceso y consumo de energía y el ingreso de los hogares. Los autores encuentran que hay una relación positiva entre los países con menos GINI de desigualdad y menos GINI energético y relación positiva entre más GINI de desigualdad y más GINI energético. Es decir aquellos países donde hay mayor acceso de los hogares y equitativo a la electricidad, por ejemplo, son los mismos países donde el ingreso está distribuido más equitativamente. En el área de la salud, Grand *et al.* (2002) utilizan la metodología de los “costos en salud evitados” para evaluar los beneficios de reducir la contaminación en el área metropolitana de Buenos Aires. Los autores construyen tres escenarios: BAU (*business-as-usual* o base), un escenario con solo opciones para la mitigación de GEI, y uno que combina opciones de mitigación de GEI y uso de energía eficiente. El impacto en la salud lo calculan con funciones de concentración respuesta y los convierten a valores económicos. Los resultados indican que dado que los hacedores de política en general prefieren usar medidas directas de costos de salud como costos médicos y pérdidas de productividad y colocar en segundo plano las medidas de disposición a pagar, el escenario más económico sería incluir solo opciones de mitigación de GEI, en cuyo caso el papel del cambio climático sí es muy relevante en los costos locales de salud. En el campo de la educación, Filippín (2000) calcula la eficiencia energética y las emisiones GEI para 15 colegios públicos en la ciudad de Santa Rosa, Argentina, para el período 1991-1996. El estudio concluye que las emisiones en estos espacios físicos son innecesariamente altas y deben implementarse programas para la reducción de emisiones de GEI.

Por su parte, Ramírez (2008) hace un análisis descriptivo temporal y espacial de los glaciares de La Paz y el Alto, Bolivia, así como una descripción de las variaciones en las temperaturas globales derivadas del cambio climático. Con ello construye curvas de oferta y demanda de agua para proyectar las condiciones de este mercado dado los cambios climatológicos. Su principal conclusión apunta a que los glaciares se han derretido a un paso acelerado, sin embargo hay sobreoferta de agua por el derretimiento de los mismos, aunque en un futuro puede haber escasez si disminuyen las precipitaciones. Así la recomendación del autor apunta a tomar medidas inmediatas para incentivar el uso ineficiente del agua y mejorar la cultura de la población hacia el ahorro de agua y energía.

La principal implicación de los estudios presentados en esta sección para los países de América Latina y el Caribe se puede resumir en que en el diseño de políticas dirigidas al sector energético y mitigación del cambio climático, los gobiernos deberían considerar los efectos en otros sectores así como el respeto a las diferencias culturales y costumbres de las minorías.

La siguiente sección retoma los resultados y recomendaciones descritas en las tres secciones anteriores para asociarla con literatura adicional que lleva más específicamente a recomendaciones de política pública.

### III. Políticas públicas energéticas y sus impactos en el cambio climático

Esta sección describe qué instrumentos o mecanismos se aplican en el sector energético de la región en busca de mitigar el cambio climático. Muchos de los instrumentos usados en los países de América Latina y el Caribe buscan una mayor eficiencia en el uso de la energía y generar la energía de manera más limpia y sustentable. A pesar de los esfuerzos, los datos mostrados en el gráfico 6 revelan que la región ha aumentado su dependencia de energías fósiles y que la participación del uso de energías alternativas y renovables alcanza solamente una tercera parte del consumo total de energía. Dicho esto, sin embargo la región goza de una participación promedio mayor que el mundo en cuanto a este tipo de energías tal como lo señala Vergara *et al.* (2013). Dado el estado actual de la generación de energía en la región y las tendencias proyectadas, resulta particularmente importante detenerse a analizar los instrumentos disponibles y propuestos para los países de América Latina y el Caribe.

La OCDE describe una gran variedad de impuestos y subsidios usados en algunos países de América Latina y el Caribe como lo muestra el cuadro 2. Se destaca el contraste entre países como Colombia y Brasil versus México y Chile, donde el primer grupo opta primordialmente por impuestos sobre los combustibles, mientras el segundo por subsidios a favor de mayor eficiencia energética. En cuanto a la literatura económica, ésta realiza diferentes recomendaciones de políticas tanto institucionales como instrumentales, que en ambos casos requerirían de compromisos serios de los gobiernos y las entidades de cooperación internacional entre otros agentes decisivos para su exitosa implementación.

Una útil clasificación por tipología de las políticas públicas y medidas para aumentar la eficiencia energética a cambio de menor conservación energética para el período 1975-2009 se puede encontrar en el trabajo de Tanaka (2011). El análisis es para los países miembros de la IEA, Brasil, China, India, México, Rusia y Sudáfrica. El autor señala que las necesidades y características de cada país o región son diferentes por lo que no se pueden implementar el mismo tipo de políticas o medidas. También recalca que existen pocas evaluaciones sobre el desempeño de tales políticas o medidas, y que las acciones técnicas necesarias para mejorar la situación actual pueden enfrentar grandes barreras institucionales para ser implementadas.

El cuadro 3 muestra las medidas evaluadas en la literatura indicando si la medida ya ha sido implementada así como su potencial de mitigación y costos asociados. Con relación al uso energético eficiente, Valenzuela y Qi (2012) hacen un análisis comparativo de las políticas para la energía eficiente y las renovables entre México y China. Se destaca en el análisis el Programa Especial de Cambio Climático de México que se enfoca más hacia el uso eficiente de la energía en el sector agrícola y el tratamiento a desperdicios, pero no tanto hacia el sector transporte para el cual Solís y Sheinbaum (2013)

recomiendan introducir estándares de eficiencia de los motores de vehículos, tal como lo hace Wills y La Rovere (2010) y Geller *et al.* (2001) para el caso brasileño. Valenzuela y Qi destacan que México no destina recursos significativos para proyectos de energías renovables. Estos problemas se pueden deber a que políticamente es más factible la implementación de mecanismos con incentivos dirigidos hacia el uso de energías más eficientes por parte de los consumidores que aquellos que pudieran afectar a los productores con instrumentos de política ambiental. A este respecto, Campbell *et al.* (2011) propone impulsar la eficiencia energética en la industria y la expansión de la plantas eléctricas geotermales por medio de mecanismos de financiamiento internacionales para desarrollos limpios. Similarmente, Bodach y Hamhaber (2010) analizan el contexto energético y los retos de la política pública de construcción de viviendas en Mangueira, Río de Janeiro, por medio de una revisión de la literatura y entrevistas a expertos. El principal resultado apunta a que las deficiencias en el control térmico de las casas produce una sensación térmica incluso más alta de lo normal, lo que hace que los hogares tengan que gastar parte de sus recursos en aparatos que mitiguen esta situación. Por lo que un mejor diseño en las viviendas podría bajar el consumo de energía y beneficiar a los estratos más bajos. También para Brasil pero en el contexto rural, Borges-Neto *et al.* (2010) proponen el uso de un sistema de generación de gas a base de desechos combinado con celdas solares.

**Cuadro 2**  
**Instrumentos usados para política ambiental**

País	Categoría del Instrumento	Dirigido a:	Propósito del Instrumento	Inicio	Última revisión	En qué consiste el instrumento	Tamaño del Instrumento
Brasil	Impuestos, cuotas	Contaminación del aire, eficiencia energética, cambio climático, transporte			2012	Impuesto a los combustibles	R\$ 39.147 en 2010
Chile	Subsidio	Eficiencia energética		2009		Crédito fiscal para los sistemas solares de calentamiento de agua	
	Subsidio	Transporte		2009		Incentivos para cambiar los tractores	
Colombia	Impuestos, cuotas	Contaminación del aire, eficiencia energética, cambio climático, transporte		1998	2002	Sobretasa al Diésel	USD 292,1 millones (2011)
	Impuestos, cuotas	Contaminación del aire, eficiencia energética, cambio climático, transporte	Generar ingresos para el gobierno de Colombia	2012	2013	Impuesto Nacional sobre el diésel y el petróleo	USD 877,3 millones a 2011; \$ 277,38 pesos Colombianos (COP) por litro desde 2013
	Impuestos, cuotas	Cambio climático, transporte	Desalentar la compra de vehículos	2012	2013	Impuesto al consumo de vehículos de motor	8% sobre el valor del vehículo si es menor a USD 30 mil y 16% si es mayor a USD 30 mil
	Impuestos, cuotas	Cambio climático, transporte, contaminación del aire		1998	2013	Impuesto sobre la posesión de vehículos de motor	1,5% sobre el valor si su precio es menor a COP\$ 39 millones; 2,5% sobre el valor si su precio está entre COP\$ 39 y COP\$ 88 millones; 3,5% sobre el valor si su precio excede los COP\$ 88
	Impuestos, cuotas	Contaminación del aire, eficiencia energética, cambio climático, transporte		1998	2002	Sobretasa al Petróleo	USD 782,5 millones; COP\$ 1.168,12/galón

Cuadro 2 (conclusión)

País	Categoría del Instrumento	Dirigido a:	Propósito del Instrumento	Inicio	Última revisión	En qué consiste el instrumento	Tamaño del Instrumento
México	Subsidio	Eficiencia energética	Inversiones en tecnologías para la transición al consumo de gas natural y el cumplimiento de la regulación en materia de contaminación ambiental		2014 (derogado)		
	Subsidio	Eficiencia energética	Promover la renovación de equipo relacionado a la energía para apoyar el incremento en la productividad y para ahorrar en el consumo de energía	2005	2014	Las inversiones para la generación de energías renovables o cogeneración de sistemas eficientes de electricidad serán 100% deducibles del impuesto sobre la renta	
	Subsidio	Transporte	Promover la renovación de equipo relacionado a la energía para apoyar el incremento en la productividad	2005		Crédito fiscal al impuesto sobre la renta para los compradores de tractores, camiones, plataformas y chasis con el fin de promover la renovación de los autobuses de pasajeros y camiones de carga actuales	

Fuente: (OCDE 2015).

**Cuadro 3**  
**Instrumentos de política ambiental relacionados al mercado energético**

País	Instrumento o mecanismo	Referencia	Implementado/ propuesta	Mitigación en MtCO <sub>2</sub> (periodo)	Costo promedio por tCO <sub>2</sub> reducida (costo negativo indica beneficio). indica pago por kWh en esquemas feed-in-tariff (USD)
Argentina	Mandato etanol y biodiesel	Global Renewable Fuels Alliance	Implementado	N/A	N/A
	Feed-in tariffs	Jacob <i>et al.</i> (2013)	Implementado	N/A	Adicional de 0,004 (renovables) y 0,242 (PV)
Brasil	<i>Flex-fuel</i> y mandato de etanol	Riberiro y Abreu (2008)	Implementado	500 y 1 200 (2030)	N/A
		Global Renewable Fuels Alliance	Implementado	N/A	N/A
		Geller <i>et al.</i> (2004)	Propuesto	N/A	N/A
	Mandato biodiesel	Global Renewable Fuels Alliance	Implementado	N/A	N/A
	Programa nacional de Biodiesel	Riberiro y Abreu (2008)	Implementado	1,98 (2005-2007)	N/A
		Castanheira <i>et al.</i> (2013)		N/A	N/A
	Reciclaje en industria	Borba <i>et al.</i> (2012)	Propuesto	74,8 (2010-2030)	-118
Mayor uso de energía solar en industria	Borba <i>et al.</i> (2012)	Propuesto	25,8 (2010-2030)	-147	

Cuadro 3 (continuación)

País	Instrumento o mecanismo	Referencia	Implementado/ propuesta	Mitigación en MtCO <sub>2</sub> (periodo)	Costo promedio por tCO <sub>2</sub> reducida (costo negativo indica beneficioso). indica pago por kWh en esquemas feed-in-tariff (USD)
Brasil	Substitución de combustibles en industria por gas natural y biomasa en industria	Borba <i>et al.</i> (2012)	Propuesto	113 (2010-2030)	-67,2 a - 61,4
	Eliminación de biomasa no-renovable en industria	Borba <i>et al.</i> (2012)	Propuesto	567 (2010-2030)	-11
	Cogeneración de calefacción en la quema de biomasa residual en industria	Borba <i>et al.</i> (2012)	Propuesto	93,8 (2010-2030)	-49
		Geller <i>et al.</i> (2004)	Propuesto	N/A	N/A
	Medidas de eficiencia y recuperación de energía en el sector petrolero	Borba <i>et al.</i> (2012)	Propuesto	204 (2010-2030)	-120 a 825
	Programa nacional de eficiencia de los vehículos	Borba <i>et al.</i> (2012)	Propuesto	20,2 (2010-2030)	-120
		Riberiro y Abreu (2008)	Implementado en el municipio de Sao Paulo	0,4 (2000-2004)	N/A
		Wills y La Rovere (2010)	Propuesto	15%-31% (2000-2030)	N/A
		Geller <i>et al.</i> (2004)	Propuesto	N/A	N/A
	Medidas de eficiencia en industria	Borba <i>et al.</i> (2012)	Propuesto	597 (2010-2030)	-402 a -96
		Geller <i>et al.</i> (2004)	Propuesto	N/A	N/A
	Vehículos híbridos-eléctricos	Borba <i>et al.</i> (2012)	Propuesto	19,4 (2010-2030)	360
	Sistemas inteligentes de transportación	Borba <i>et al.</i> (2012)	Propuesto	51,6 (2010-2030)	0
	Optimización de sistemas de autobuses	Borba <i>et al.</i> (2012)	Propuesto	47 (2010-2030)	35
	Mejoras en infraestructura vial	Borba <i>et al.</i> (2012)	Propuesto	7,5 (2010-2030)	66
	Programa de inspección y mantenimiento de automóviles	Riberiro y Abreu (2008)	Implementado en Rio de Janeiro	0,21-0,36 (2002)	N/A
	Estándares de eficiencia de aparatos electrodomésticos	Geller <i>et al.</i> (2004)	Propuesto	N/A	N/A
	Normas de energía en nuevas edificaciones	Geller <i>et al.</i> (2004)	Propuesto	N/A	N/A
	Sistema de Subastas con el criterio del precio más bajo para expandir la oferta de energía	Pereira <i>et al.</i> (2012)	Propuesto	N/A	N/A
	Feed-in-tariffs	Jacob <i>et al.</i> (2013)	Implementado	N/A	N/A
Geller <i>et al.</i> (2004)		Propuesto	N/A	N/A	
Chile	Mandato etanol	Global Renewable Fuels Alliance	Implementado	N/A	N/A
	Feed-in-tariffs	Jacob <i>et al.</i> (2013)	Implementado	N/A	N/A
	Mandato de energías renovables	Aravena <i>et al.</i> (2012)	Propuesto	N/A	N/A
		Mundaca (2013)	Implementado	Impacto limitado	N/A
Precios de electricidad	Mundaca (2013)	Implementado	Impacto limitado	N/A	

Cuadro 3 (continuación)

País	Instrumento o mecanismo	Referencia	Implementado/ propuesta	Mitigación en MtCO <sub>2</sub> (periodo)	Costo promedio por tCO <sub>2</sub> reducida (costo negativo indica beneficio). indica pago por kWh en esquemas feed-in-tariff (USD)
Chile	Medidas de eficiencia energética en hogares e industria	Mundaca (2013)	Implementado	Impacto limitado	N/A
		Mosnaim (2001)	Propuesto	2,4-6,4 (2010)	-118 a -55
	Expansión de plantas nucleares de generación de electricidad	Mosnaim (2001)	Propuesto	0,9-2,3 (2010)	67 a 83
	Expansión de plantas de generación de electricidad a base de gas natural	Mosnaim (2001)	Propuesto	6,6 (2010)	57
	Modificaciones en motores de vehículos de diesel	Mosnaim (2001)	Propuesto	0,8-2 (2010)	100
	Substitución de combustible de carbón a gas en industria acerera	Mosnaim (2001)	Propuesto	,3-1 (2010)	3,5
	Substitución de combustible de carbón a gas en industria cementera	Mosnaim (2001)	Propuesto	1,1-2 (2010)	25
Colombia	Mandato de etanol	Valencia y Cardona (2014)	Implementado y proyectado	5%-81% para bioetanol de caña de azúcar y 73% por bioetanol de yuca (2013)	N/A
		Global Renewable Fuels Alliance	Implementado y proyectado	N/A	N/A
	Mandato de biodiesel	Valencia y Cardona (2014)	Implementado y proyectado	8%-81% (2013)	N/A
		Global Renewable Fuels Alliance	Implementado y proyectado	N/A	N/A
	Exención de impuestos para la caña de azúcar, palma de aceite, venta de biocombustibles	Valencia y Cardona (2014)	Implementado		N/A
	Subsidios para proyectos en biocombustibles	Valencia y Cardona (2014)	Implementado	N/A	N/A
Costa Rica	Mandato etanol y biodiesel	Global Renewable Fuels Alliance	Implementado	N/A	N/A
Ecuador	Feed-in tariffs	Jacob <i>et al.</i> (2013)	Implementado	N/A	Precio garantizado depende de la ubicación (continente o Islas Galápagos) y tipo de energía: 0,09 y 0,12 (eólica), 0,52 y 0,57 (PV), 0,10 y 0,11 (biomasa y biogas), 0,09 y 0,10 (geotérmica), 0,06 (hidroeléctrica de hasta 5 MW), 0,05 y 0,06 (hidroeléctrica entre 5–10 MW)
Honduras	Feed-in tariffs	Jacob <i>et al.</i> (2013)	Implementado	N/A	Adicional de 10% sobre el precio base. En 2010 fue de 0,11 (energías renovables)
Jamaica	Mandato etanol	Global Renewable Fuels Alliance	Implementado	N/A	N/A

Cuadro 3 (conclusión)

País	Instrumento o mecanismo	Referencia	Implementado/ propuesta	Mitigación en MtCO <sub>2</sub> (periodo)	Costo promedio por tCO <sub>2</sub> reducida (costo negativo indica beneficioso). indica pago por kWh en esquemas feed-in-tariff (USD)
México	Programa Especial de Cambio Climático	Valenzuela y Qi (2012)	Implementado y proyectado	129 MtCO <sub>2</sub> en electricidad, 30 petróleo y gas, 12 por eficiencia residencial, 13 por eficiencia no residencial, 51 por cogeneración y 132 en transporte (2030)	N/A
	Mandato etanol	Global Renewable Fuels Alliance	Implementado en Guadalajara y proyecto para DF y Monterrey	N/A	N/A
	Financiamiento mediante mecanismos de desarrollo limpio para eficiencia energética en industria y expansión de energía geotérmica	Campbell <i>et al.</i> (2011)	Propuesto	3-8,5 (2005-2025-2030)	400 a 800
Nicaragua	Lámparas fluorescentes compactas	Meza <i>et al.</i> (2014)	Proyectado	0,4514 (2013-2017)	-153
	Feed-in tariffs	Jacob <i>et al.</i> (2013)	Implementado	N/A	Precio garantizado de 0,05 a 0,06 (energías renovables)
Panamá	Mandato etanol	Global Renewable Fuels Alliance	Implementado y proyectado	N/A	N/A
Paraguay	Mandato etanol y biodiesel	Global Renewable Fuels Alliance	Implementado	N/A	N/A
Perú	Mandato etanol y biodiesel	Global Renewable Fuels Alliance	Implementado	N/A	N/A
	Feed-in tariffs	Jacob <i>et al.</i> (2013)	Implementado	N/A	N/A
República Dominicana	Feed-in tariffs	Jacob <i>et al.</i> (2013)	Implementado	N/A	Adicional 0,13 (eólica-autogenerador), 0,05 (eólica-autogenerador), 0,12 (biomasa-autogenerador), 0,05 (biomasa-autogenerador), 0,09 (desechos municipales), 0,54 (PV-generador >25 MW), 0,10 (PV-autogenerador >25 MW), 0,60 (PV-generador <25MW), 0,10 (PV-auto-generador <25MW), 0,07 (hidroeléctrica pequeña).
Uruguay	Mandato biodiesel	Global Renewable Fuels Alliance	Implementado	N/A	N/A
	Mandato etanol	Global Renewable Fuels Alliance	Proyectado	N/A	N/A

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de Chile, O’Ryan *et al.* (2001) encuentran viable soluciones para reducir emisiones en el sector transporte como peajes, eliminación de preferencias tributarias a camiones, restricciones al uso del automóvil, mejoramiento del sistema de transporte de personas, y mejores líneas del metro. En cuanto al sector residencial del mismo país, Mundaca (2013) reporta que de acuerdo a un estudio de la Comisión Nacional de Energía la demanda de electricidad podría disminuir en un 20% a partir de medidas de eficiencia energética que incluyen etiquetado verde de aparatos, insulación y campañas de información. Además indica que el incremento de 20% en las tarifas eléctricas de 2006 se asoció con una reducción de

la intensidad energética de hasta un 20% a pesar de la baja elasticidad de la demanda con respecto al precio como muestra Agostini *et al.* (2012). Para su estudio sobre la estructura económica y las emisiones de GEI en Uruguay, Piaggio *et al.* (2014) también sugiere la implementación de medidas de eficiencia energética en el sector transporte y electricidad por su alto potencial de mitigación.

Es importante resaltar que las proyecciones de consumo de energía de la región no presentan aumentos significativos en el corto plazo, como lo muestran los gráficos 7 y 8, especialmente los sectores residencial y comercial. Asimismo, el sector industrial tendría la mayor proporción en el consumo, por lo que definitivamente políticas dirigidas a la mayor eficiencia en el uso de energía en la industria y el transporte deberían tener un gran impacto en el consumo energético.

En el intermedio de una mayor eficiencia y el uso de tecnologías limpias, Meza *et al.* (2014) hacen un análisis costo/beneficio con proyección a diez años del programa de lámparas fluorescentes compactas en Nicaragua. En el trabajo buscan explicar el costo de la energía ahorrada como función del factor de recuperación de capital, la tasa de descuento, el costo anual de energía consumida por tecnología eficiente y tecnología sustituta, la inversión inicial para tecnología sustituta, y el tiempo útil de la tecnología eficiente. El programa debería llevar a una reducción de los costos al consumidor final y un ahorro para la sociedad en la proyección a 2023 siempre y cuando la implementación sea llevada a cabo de forma coordinada.

Por el lado de implementar políticas ambientales hacia energías más limpias, algunos estudios como Francis *et al.* (2007), Glachant y Ménière (2011), y Pao y Tsai (2011) señalan que lo óptimo sería que países desarrollados lleven las tecnologías limpias a los países en desarrollo y estos se encargan de su difusión interna por ellos. En este contexto, Pueyo *et al.* (2011) plantean los elementos necesarios para que países en desarrollo se puedan adaptar a la transferencia tecnológica de energías renovables y hacen un estudio de caso para la energía eólica en Chile. Su principal conclusión es que para que la transferencia tecnológica funcione en una economía pequeña como Chile, una demanda interna debe ser garantizada y debe haber acceso a mercados regionales para atraer proveedores extranjeros de conocimiento.

Ya en el caso de mecanismos para incentivar el uso de energías renovables, los gobiernos latinoamericanos generalmente optan por usar regulaciones directas como lo muestran los cuadros 2 y 3. Un ejemplo claro son los mandatos para mezclar biocombustibles con los combustibles tradicionales en la mayoría de países (véase el cuadro 3). En esta política Brasil lleva la delantera desde hace más de 40 años, principalmente impulsando el uso del etanol de caña de azúcar. Actualmente, este país impone un mandato de hasta el 30% para etanol y del 5% para el bio-diésel. En esta misma línea, otros países como Colombia, Argentina, Uruguay, Perú, Paraguay, Panamá y Costa Rica también han impuesto mandatos de etanol y diésel (Global Renewable Fuels Alliance 2014). Sin embargo, la bioenergía es cuestionada por sus efectos en el uso del suelo, el cual tiene que competir con los recursos para la producción de alimentos y puede llevar indirectamente a mayor deforestación. Por esto algunos estudios buscan alternativas o complementos a la producción de biocombustibles que la haga ambientalmente sostenible. Por ejemplo, Geraldine *et al.* (2014) hacen un análisis descriptivo sobre las materias primas para la producción de biodiesel y su uso del suelo en Brasil. Los autores encuentran que los impactos de la producción de biodiesel pueden ser mitigados si se sigue una política de optimización de la producción de alimentos y bioenergía acompañado de una zonificación de la misma. Asimismo, recomiendan incrementar los rendimientos de cultivos, diversificar las materias primas y adoptar la transesterificación ética para ayudar a disminuir el impacto en el uso del suelo y por tanto en las emisiones.

En el caso más específico de complementos a la producción de biocombustibles, Seabra y Macedo (2011) hacen una simulación de una planta adyacente a un ingenio de caña de azúcar en Brasil, para producir etanol o electricidad con los residuos de la caña de azúcar. Sus resultados muestran que la opción de etanol sería más viable cuando los costos de los residuos son altos. El problema, señalan los autores, es la disponibilidad de la tecnología para convertir los residuos, que tendrían un menor impacto en las emisiones GEI, en etanol, por lo que la opción de generar más electricidad sería más viable en el corto y mediano plazo. Otro ejemplo es el trabajo de Valencia y Cardona (2014), quienes analizan las perspectivas del caso de la oferta de biocombustibles en Colombia usando un algoritmo de reducción de desperdicios y una evaluación de ciclo de vida para el etanol de caña de azúcar, el biodiesel



de yuca y jatrofa. El análisis describe entre otros, los instrumentos de política para la producción y consumo de etanol y biodiesel como son la exención de impuestos para la caña de azúcar, palma de aceite, venta de biocombustibles, y subsidios para proyectos en biocombustibles, y muy importante, el mandato de mezcla de etanol y biodiesel en la gasolina y diésel, respectivamente. La principal conclusión del estudio es que la introducción de los biocombustibles en las cadenas de suministro sí ha tenido un impacto positivo en el ambiente. Para Nicaragua, como se ha mencionado antes, Casillas y Kammen (2011) consideran la sustitución del diésel por energías renovables. En el caso de Brasil, Ribeiro y Abreu (2008) analizan cuatro programas brasileños en el sector de transportes para mejorar la calidad del aire: vehículos *flex-fuel*, el programa nacional de Biodiesel, el programa nacional de eficiencia de los vehículos, y el programa de inspección y mantenimiento de automóviles en Rio de Janeiro. Este último programa es el que de acuerdo a los autores produciría mayores beneficios, pero desafortunadamente no ha contado con el apoyo para continuarlo y extenderlo en el resto del país.

El impulso a las plantas hidroeléctricas ha sido otra medida ampliamente implementada por los gobiernos de países LAC encaminada a la generación de energía más limpia. Sin embargo, como se había mencionado en la sección anterior, Calili *et al.* (2014) señalan que en términos de ahorros y costos, comparado con grandes proyectos energéticos con impactos sociales y ambientales significativos como la hidroeléctrica de Bel Monte en el norte de Brasil, sería mejor invertir en políticas dirigidas a aumentar la eficiencia energética como las señaladas arriba: mejor diseño en las viviendas, sistemas de generación de gas a base de desechos, celdas solares, peajes, eliminación de preferencias tributarias a transporte pesado, restricciones al uso del automóvil, mejoramiento del sistema de transporte de personas, etiquetado verde de aparatos, y campañas de información. Como lo señala Ometto *et al.* (2013), las emisiones de las hidroeléctricas son positivas debido principalmente a las aguas apresadas pero significativamente menores que la mayoría de otras tecnologías del sector. Sin embargo, dadas las limitadas opciones de mitigación en el sector eléctrico de países como Brasil y Colombia, donde la producción hidroeléctrica ya es elevada, la alternativa es desarrollar medidas de eficiencia energética en los sectores industrial y transporte. Adicionalmente como reporta Borba *et al.* (2012) se debería obligar a las compañías distribuidoras de electricidad a que cuenten con un portafolio que incluya un porcentaje de energía renovable diferente a las hidroeléctricas, como en el caso chileno.

Los gobiernos también han buscado implementar instrumentos con incentivos económicos directos como los *feed-in tariffs* (FIT). Este es un mecanismo que tiene como objetivo incentivar las inversiones en energías renovables mediante el pago al generador de energía renovable independiente por la energía que suministra a la red. Por ejemplo, Jacobs *et al.* (2013) comparan en diferentes países los diseños y resultados de implementación de energías renovables siguiendo las *feed-in tariffs* (véase el cuadro 3). Entre los países que las implementan se incluye a Argentina, Perú, Ecuador, Nicaragua, Honduras y República Dominicana. Las principales características para comparar son tener generadores elegibles, contratos estándar, duración de contratos, conocer estructura de pago, tener materias primas compradas, tamaño de las plantas y del sistema. El principal resultado muestra que la larga duración de los contratos (10-30 años) permite una amplia gama de tecnologías y el diseño no es obstáculo para que el mercado de energías renovables crezca. Para Chile (Aravena *et al.* 2012) y Brasil (Geller *et al.* 2004) también se ha recomendado el uso de FIT con pagos diferenciados dependiendo del tipo de tecnología que genera la energía.

En términos más generales, algunos estudios no mencionan instrumentos o mecanismos particulares, sino el uso de algunas políticas en su conjunto como los estudios econométricos de Pao y Tsai (2011) y Saboori *et al.* (2014) quienes consideran que las políticas encaminadas a incrementar la eficiencia energética y transición hacia biocombustibles y energías renovables serían las más apropiadas en países en desarrollo al no afectar negativamente el crecimiento económico. Asimismo, Schaeffer y Szklo (2001) utilizan un modelo de programación lineal detallado para el sector energético de Brasil para proyectar un escenario BAU, además de uno que combina nuevas tecnologías ambientales que reciben un incentivo por su implementación que no reciben las tecnologías convencionales, y otro donde solo se implementan tecnologías limpias sin espacio para las convencionales. Los autores encuentran que la cogeneración de energía (el segundo escenario) tiene un papel importante como la opción menos costosa en los tres escenarios. Adicionalmente, los autores afirman que el uso de tecnologías para la

reducción global de emisiones de GEI puede producir problemas de contaminación locales dados los gases que emiten. Por ejemplo, aquellas tecnologías que consumen biomasa o plantas de energía hidroeléctrica afectarán las condiciones locales, pero también puede haber tecnologías amigables a nivel local como las plantas de celdas de gas natural que tendrían mayores impactos negativos en términos globales. En la misma línea, Lucon *et al.* (2013) reportan los resultados del grupo de trabajo sobre regulación y política para las emisiones de CO<sub>2</sub> en Brasil que analiza los esfuerzos internacionales para combatir el cambio climático en perspectiva con los esfuerzos internos de Brasil. Las conclusiones del trabajo apuntan hacia una preferencia por generar mayores incentivos en políticas de “abajo hacia arriba” restando importancia a la adopción de políticas internacionales, dado que las primeras pueden ser más eficientes en la reducción de las emisiones de GEI. Asimismo, Jannuzzi (2005) hace un análisis descriptivo de los proyectos e inversiones de investigación y desarrollo (I&D) antes y después de las reformas que fortalecieron el marco regulatorio del sector energético en Brasil, concluyendo que hubiera sido poco probable que los avances en I&D se dieran sin las reformas que reforzaron el sector. Para su análisis, el autor usa el costo, el promedio de duración y distribución por duración de los proyectos de R&D, así como el gasto promedio por categoría de investigación, distribución de las inversiones y número total de las mismas en I&D.

Los principales resultados de los estudios presentados en esta sección para los países de América Latina y el Caribe se pueden resumir como sigue:

- i) Se distinguen políticas enfocadas en modificaciones en los patrones de consumo de los hogares para reducir su consumo de energía y hacerlo más eficiente. Se resalta una política clave que son las campañas de información. Otras políticas incluyen impuestos a los combustibles, a la compra de vehículos, peajes, inspección y mantenimiento de automóviles, impuestos y subsidios al consumo de electricidad, y restricciones al uso del automóvil. Algunas tecnologías recomendadas incluyen celdas solares para generación de electricidad calentamiento de agua y lámparas fluorescentes compactas.
- ii) También se distinguen políticas destinadas a cambiar el comportamiento del productor usando instrumentos de política ambiental. Existen cuestionados créditos fiscales o subsidios, pero en muchos casos efectivos, para renovar el parque automotor utilitario (camiones, buses, tractores, etc.), para incrementar la eficiencia energética en la industria y la expansión de energías alternativas, como la geotérmica, y para el desarrollo de biocombustibles. Otros instrumentos incluyen *feed-in-tariffs*, la eliminación de preferencias tributarias a transporte pesado, imposición de estándares de eficiencia para motores de vehículos y máquinas, y portafolios que incluyan un porcentaje de energía renovable diferente a las hidroeléctricas.
- iii) Entre las políticas que pueden afectar tanto oferta como demanda se encuentran los etiquetados verdes de aparatos electrodomésticos, el desarrollo de vehículos *flex-fuel* para el uso de biocombustibles, mandato de biocombustibles, mejoramiento del diseño de viviendas de interés social, y mejoramiento del sistema de transporte masivo.
- iv) Las medidas enfocadas en mejorar la eficiencia energética en hogares e industria destacan por su potencial de reducción de emisiones sin incurrir en costos, incluso con beneficios económicos.
- v) La sustitución de combustibles por fuentes con menor contenido de carbón tiene un alto potencial de mitigación de emisiones, sin embargo, los costos asociados son mayores comparados con aquellos de las medidas para mejorar la eficiencia energética.
- vi) La transferencia de tecnologías limpias de países desarrollados a América Latina y el Caribe puede funcionar si estos últimos se encargan de aprehenderla y de impulsar una demanda interna con acceso a mercados regionales para atraer proveedores extranjeros de conocimiento.



## IV. Conclusión

En este estudio se han sintetizado los principales resultados encontrados en la literatura concerniente al mercado de la energía y su relación con el cambio climático en Latinoamérica. Aunque el estudio es realmente comprensivo en la literatura, más que buscar ser exhaustivo, busca definir diferentes tópicos relacionados al tema y clasificar la literatura disponible, de forma que estudios futuros sobre el tema y la región puedan ubicarse mejor. Una de las limitaciones que encontramos para el desarrollo de esta literatura es la poca disponibilidad de información principalmente a través del tiempo, y en especial para países menos desarrollados, es decir se encuentra información con mayor facilidad para países como Brasil, Chile y México, principalmente respecto al consumo de energía. Así, muchos de los estudios econométricos incluyen generalmente a estos tres países, y están especialmente dirigidos a estimar las elasticidades ingreso y precio de la demanda casi siempre junto a más países fuera de la región, resultando en valores bastante inelásticos para los países de la región. En este mismo sentido, solo hay pocos estudios que han estimado la relación de causalidad bidireccional entre consumo, ingreso y precio, generalmente quedándose en la causalidad de las dos últimas variables hacia la primera. Igualmente, algunos de los estudios econométricos son utilizados para hacer algunas proyecciones del comportamiento de los países respecto al crecimiento económico, consumo energético y las emisiones GEI. Se destaca en estos estudios que pocos países de América Latina y el Caribe ya han llegado al punto donde continúan creciendo sin necesariamente incrementar las emisiones en la misma tasa.

Del lado de la oferta energética, la información es aún más limitada en la región, lo que hace que existan muy pocos estudios econométricos a este respecto. Debido a ello esta área se ha concentrado más en hacer modelos de simulación económicos para hacer proyecciones al futuro, donde generalmente comparan un escenario en el cual hay pocos cambios hacia mayor eficiencia energética y tecnologías limpias (BAU) contra escenarios más optimistas con mayor participación de energías renovables y/o mejor uso de la energía.

En términos de proyecciones del mercado energético y su relación al cambio climático es difícil encontrar una metodología predominante, sin embargo muchos trabajos usan las proyecciones climáticas hechas para el IPCC para junto a otros factores proyectar las sendas futuras del cambio climático dados ciertos escenarios en el mercado energético que exploran las posibilidades de desarrollar más energías renovables. En general, los resultados encontrados en la literatura muestran bastante dificultad en la región para moverse hacia una senda donde predominen las energías renovables, principalmente por la voluntad política que debe enfrentar la disyuntiva debatible de mayor crecimiento económico o menor consumo de energías intensas en emisiones de GEI. Muchos

de los estudios destacan las preferencias en los países de la región hacia mejorar la eficiencia energética por parte de los consumidores que a incentivar el uso de tecnologías limpias por parte de la industria, lo cual está directamente asociado con los costos de mitigación de ambos grupos de medidas. Asimismo, destaca que la región confía más en mecanismos de regulación directa como mandatos de biocombustibles que en instrumentos económicos para incentivar menores emisiones de parte del sector energético.

## Bibliografía

- Abraham, Jun. 2006. "Investment Prospects for Geothermal Power in El Salvador ' S Electricity Market." *Energy Policy* 34: 3877-86. doi:10.1016/j.enpol.2005.09.009.
- Agostini, Claudio, M Cecilia Plottier, and Eduardo H Saavedra. 2012. "La Demanda Residencial de Energía Eléctrica En Chile." *Economía Chilena* 15 (3): 64-83.
- Alves, Denisard C O, Rodrigo De Losso da Silveira Bueno, and Rodrigo De Losso da Silveira Bueno. 2003. "Short-Run, Long-Run and Cross Elasticities of Gasoline Demand in Brazil." *Energy Economics* 25 (2): 191-99.
- Andersen, Lykke, Addy Suxo, and Dorte Verner. 2009. "Social Impacts of Climate Change in Peru A District Level Analysis of the Effects of Recent and Future Climate Change on Human Development and Inequality." *World Bank Policy Research Working Paper* 5091 (October).
- Andrade Guerra, José Baltazar Salgueirinho Osório, Luciano Dutra, Norma Beatriz Camisão Schwinden, and Suely Ferraz De Andrade. 2014. "Future Scenarios and Trends in Energy Generation in Brazil: Supply and Demand and Mitigation Forecasts." *Journal of Cleaner Production*, October, 1-14. doi:10.1016/j.jclepro.2014.09.082.
- Apergis, Nicholas, and James E. Payne. 2009. "Energy Consumption and Economic Growth in Central America: Evidence from a Panel Cointegration and Error Correction Model." *Energy Economics* 31 (2). Elsevier B.V.: 211-16. doi:10.1016/j.eneco.2008.09.002.
- \_\_\_\_\_. 2014. "Renewable Energy, Output, CO<sub>2</sub> Emissions, and Fossil Fuel Prices in Central America: Evidence from a Nonlinear Panel Smooth Transition Vector Error Correction Model." *Energy Economics* 42. Elsevier B.V.: 226-32. doi:10.1016/j.eneco.2014.01.003.
- Aravena, Claudia, W. George Hutchinson, and Alberto Longo. 2012. "Environmental Pricing of Externalities from Different Sources of Electricity Generation in Chile." *Energy Economics* 34 (4). Elsevier B.V.: 1214-25. doi:10.1016/j.eneco.2011.11.004.
- Arbex, Marcelo, and Fernando S. Perobelli. 2010. "Solow Meets Leontief: Economic Growth and Energy Consumption." *Energy Economics* 32 (1). Elsevier B.V.: 43-53. doi:10.1016/j.eneco.2009.05.004.
- Asensio, Omar I, and Magali a. Delmas. 2015. "Nonprice Incentives and Energy Conservation." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112 (6): E510-15. doi:10.1073/pnas.1401880112.
- Battese, George E, and Tim J Coelli. 1992. *Frontier Production Functions, Technical Efficiency and Panel Data: With Application to Paddy Farmers in India*. Springer.
- Bauer, Mariano, Elizabeth Mar, and Alberto Elizalde. 2003. "Transport and Energy Demand in Mexico: The Personal Income Shock." *Energy Policy* 31 (14): 1475-80.
- Bautista, Santiago. 2012. "A Sustainable Scenario for Venezuelan Power Generation Sector in 2050 and Its Costs." *Energy Policy* 44. Elsevier: 331-40. doi:10.1016/j.enpol.2012.01.060.
- Bentham, Arthur Van, and Mattia Romani. 2009. "Fuelling Growth: What Drives Energy Demand in Developing Countries?" *Energy Journal* 30 (3): 91-114.

- Bertoni, Reto, and Carolina Román. 2006. "Energía Y Desarrollo : La Transición Energética En Uruguay (1882-2000 )." *Boletín de Historia Económica* IV (5): 19-31.
- Bodach, Susanne, and J Hamhaber. 2010. "Energy Efficiency in Social Housing : Opportunities and Barriers from a Case Study in Brazil." *Energy Policy* 38 (12). Elsevier: 7898-7910. doi:10.1016/j.enpol.2010.09.009.
- Borba, Bruno S M C, André F P Lucena, Régis Rathmann, Isabella V L Costa, Larissa P P Nogueira, Pedro R R Rochedo, David a. Castelo Branco, Mauricio F H Júnior, Alexandre Szklo, and Roberto Schaeffer. 2012. "Energy-Related Climate Change Mitigation in Brazil: Potential, Abatement Costs and Associated Policies." *Energy Policy* 49 (October): 430-41. doi:10.1016/j.enpol.2012.06.040.
- Borges Neto, M. R., P. C M Carvalho, J. O B Carioca, and F. J F Canafistula. 2010. "Biogas/photovoltaic Hybrid Power System for Decentralized Energy Supply of Rural Areas." *Energy Policy* 38 (8): 4497-4506. doi:10.1016/j.enpol.2010.04.004.
- Calili, Rodrigo F, Reinaldo C Souza, Alain Galli, Margaret Armstrong, André Luis, and M Marcato. 2014. "Estimating the Cost Savings and Avoided CO<sub>2</sub> Emissions in Brazil by Implementing Energy Ef Cient Policies." *Energy Policy* 67. Elsevier: 4-15. doi:10.1016/j.enpol.2013.09.071.
- Campbell, Héctor, Gisela Montero, Carlos Pérez, and Alejandro Lambert. 2011. "Efficient Energy Utilization and Environmental Issues Applied to Power Planning." *Energy Policy* 39 (6): 3630-37. doi:10.1016/j.enpol.2011.03.065.
- Casillas, Christian E, and Daniel M Kammen. 2011. "The Delivery of Low-Cost , Low-Carbon Rural Energy Services." *Energy Policy* 39 (8). Elsevier: 4520-28. doi:10.1016/j.enpol.2011.04.018.
- Caspary, Georg. 2009. "Gauging the Future Competitiveness of Renewable Energy in Colombia." *Energy Economics* 31 (3). Elsevier B.V.: 443-49. doi:10.1016/j.eneco.2008.12.007.
- Chang, Ching-Chih, and Claudia Fabiola Soruco Carballo. 2011. "Energy Conservation and Sustainable Economic Growth: The Case of Latin America and the Caribbean." *Energy Policy* 39 (7). Elsevier: 4215-21. doi:10.1016/j.enpol.2011.04.035.
- Crago, Christine L., Madhu Khanna, Jason Barton, Eduardo Giuliani, and Weber Amaral. 2010. "Competitiveness of Brazilian Sugarcane Ethanol Compared to US Corn Ethanol." *Energy Policy* 38 (11). Elsevier: 7404-15. <http://purl.umn.edu/60895>.
- Dargay, Joyce, and Dermot Gately. 1999. "Income's Effect on Car and Vehicle Ownership, Worldwide: 1960-2015." *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 33 (2): 101-38. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0965-8564\(98\)00026-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0965-8564(98)00026-3).
- De Freitas, L C, and S Kaneko. 2011. "Decomposition of CO<sub>2</sub> Emissions Change from Energy Consumption in Brazil: Challenges and Policy Implications." *Energy Policy* 39 (3). Elsevier: 1495-1504. doi:10.1016/j.enpol.2010.12.023.
- De la Cruz Sandoval, Ricardo, and Raul Garcia Carpio. 2002. "Mecanismos de Competencia En Generación de Energía Y Su Impacto En La Eficiencia : El Caso Peruano." *Proyectos Breves CIES*.
- De Lucena, André Frossard Pereira, Alexandre Salem Szklo, Roberto Schaeffer, Raquel Rodrigues de Souza, Bruno Soares Moreira Cesar Borba, Isabella Vaz Leal da Costa, Amaro Olimpico Pereira Júnior, and Sergio Henrique Ferreira da Cunha. 2009. "The Vulnerability of Renewable Energy to Climate Change in Brazil." *Energy Policy* 37 (3): 879-89. doi:10.1016/j.enpol.2008.10.029.
- Devis-Morales, Andrea, Raúl a. Montoya-Sánchez, Andrés F. Osorio, and Luis J. Otero-Díaz. 2014. "Ocean Thermal Energy Resources in Colombia." *Renewable Energy* 66 (June). Elsevier Ltd: 759-69. doi:10.1016/j.renene.2014.01.010.
- Escribano, Gonzalo. 2013. "Ecuador's Energy Policy Mix : Development versus Conservation and Nationalism with Chinese Loans." *Energy Policy* 57. Elsevier: 152-59. doi:10.1016/j.enpol.2013.01.022.
- Fernandes, Elton, Marcus Vinícius De a. Fonseca, and Paulo Sergio R. Alonso. 2005. "Natural Gas in Brazil's Energy Matrix: Demand for 1995-2010 and Usage Factors." *Energy Policy* 33 (3): 365-86. doi:10.1016/j.enpol.2003.08.006.
- Ferrer-Martí, L., B. Domenech, a. García-Villoria, and R. Pastor. 2013. "A MILP Model to Design Hybrid Wind-Photovoltaic Isolated Rural Electrification Projects in Developing Countries." *European Journal of Operational Research* 226 (2): 293-300. doi:10.1016/j.ejor.2012.11.018.
- Filippín, C. 2000. "Benchmarking the Energy Efficiency and Greenhouse Gases Emissions of School Buildings in Central Argentina." *Building and Environment* 35: 407-14.

- Filippini, Massimo, and Lester C Hunt. 2011. "Energy Demand and Energy Efficiency in the OECD Countries: A Stochastic Demand Frontier Approach Stochastic Demand Frontier Approach." *Energy Journal* 32 (2): 59-80.
- Flores, Wilfredo C, Osvaldo A Ojeda, Marco A Flores, and Francisco R Rivas. 2011. "Sustainable Energy Policy in Honduras: Diagnosis and Challenges." *Energy Policy* 39 (2). Elsevier: 551-62. doi:10.1016/j.enpol.2010.10.020.
- Francis, Brian M., Leo Moseley, and Sunday Osaretin Iyare. 2007. "Energy Consumption and Projected Growth in Selected Caribbean Countries." *Energy Economics* 29 (6): 1224-32. doi:10.1016/j.eneco.2007.01.009.
- Galindo, Luis M, and Luis Sánchez. 2005. "El Consumo de Energía Y La Economía Mexicana: Un Análisis Empírico Con VAR." *Economía Mexicana Nueva Epoca XIV* (2): 271-98.
- Galindo, Luis Miguel. 2005. "Short- and Long-Run Demand for Energy in Mexico: A Cointegration Approach." *Energy Policy* 33 (9): 1179-85. doi:10.1016/j.enpol.2003.11.015.
- Galindo, Luis Miguel, and Jose Luis Samaniego. 2010. "The Economics of Climate Change in Latin America and the Caribbean: Stylized Facts." *CEPAL Review* 100: 69-96.
- Geller, Howard, Roberto Schaeffer, Alexandre Szklo, and Mauricio Tolmasquim. 2004. "Policies for Advancing Energy Efficiency and Renewable Energy Use in Brazil." *Energy Policy* 32 (12): 1437-50. doi:10.1016/S0301-4215(03)00122-8.
- Geraldes, Érica, Renata Grisoli, Fausto Freire, and Vanessa Pecora. 2014. "Environmental Sustainability of Biodiesel in Brazil." *Energy Policy* 65. Elsevier: 680-91. doi:10.1016/j.enpol.2013.09.062.
- Gerbens-Leenes, P. W., a. Y. Hoekstra, and Th van der Meer. 2009. "The Water Footprint of Energy from Biomass: A Quantitative Assessment and Consequences of an Increasing Share of Bio-Energy in Energy Supply." *Ecological Economics* 68 (4). Elsevier B.V.: 1052-60. doi:10.1016/j.ecolecon.2008.07.013.
- Ghilardi, Adrian, Gabriela Guerrero, and Omar Masera. 2007. "Spatial Analysis of Residential Fuelwood Supply and Demand Patterns in Mexico Using the WISDOM Approach." *Biomass and Bioenergy* 31: 475-91. doi:10.1016/j.biombioe.2007.02.003.
- Glachant, Matthieu, and Yann Ménière. 2011. "Project Mechanisms and Technology Diffusion in Climate Policy." *Environmental and Resource Economics* 49: 405-23. doi:10.1007/s10640-010-9439-5.
- Global Renewable Fuels Alliance. 2014. "Global Biofuel Mandates." <http://globalrfa.org/>.
- Gomes, Vallência Maíra, and Alexandre Magno de Melo Faria. 2013. "Limits on Use of Diesel in Brazil: Measurement of Increase of Biodiesel in Mitigation of GHG" *Estudios de Economía Aplicada* 31: 171-95.
- Gonzales, Raul, and Silvia A Nebra. 2012. "The Potential of Natural Gas Use Including Cogeneration in Large-Sized Industry and Commercial Sector in Peru." *Energy Policy* 50. Elsevier: 192-206. doi:10.1016/j.enpol.2012.04.054.
- Grand, Mariana Conte, Fabián Gaioli, Elizabeth Perone, Anna Sörensson, Tomas Svensson, and Pablo Tarela. 2002. "Impacts of Greenhouse and Local Gases Mitigation Options on Air Pollution in the Buenos Aires Metropolitan Area: Valuation of Human Health Effects." *Universidad Del CEMA, CEMA Working Papers* 230: 1-28.
- Green, Richard, and David Newbery. 1992. "Competition in the British Electricity Spot Market." *Journal of Political Economy* 100 (5).
- Halsnæs, Kirsten, P R Shukla, and Amit Garg. 2008. "Sustainable Development and Climate Change: Lessons from Country Studies Sustainable Development and Climate Change: Lessons from Country Studies." *Climate Policy* 8: 202-19. doi:10.3763/cpol.2007.0475.
- Henoa, Felipe, Judith A Cherni, Patricia Jaramillo, and Isaac Dyner. 2012. "A Multicriteria Approach to Sustainable Energy Supply for the Rural Poor." *European Journal of Operational Research* 218 (3). Elsevier B.V.: 801-9. doi:10.1016/j.ejor.2011.11.033.
- IEA. 2015. "Statistics." *International Energy Agency*. <http://www.iea.org/statistics/>.
- IIASA. 2015a. "GEA Scenario Database." *Version 2.0.2. GEA Transformation Pathways. International Institute for Applied Systems Analysis*. <http://www.iiasa.ac.at/web-apps/ene/geadb/dsd?Action=htmlpage&page=about>.
- \_\_\_\_\_. 2015b. "RCP Database." *Versión 2.0.5. Representative Concentration Pathways (RCPs). International Institute for Applied Systems Analysis*. <http://tntcat.iiasa.ac.at:8787/RcpDb/dsd?Action=htmlpage&page=welcome>.



- Imran, Mudassar, and Philip Barnes. 1990. "Energy Demand in the Developing Countries Prospects for the Future." *World Bank Staff Commodity Working Paper*, World Bank Commodity Working Paper, No. 23. Washington.
- Irffi, Guilherme, Ivan Castelar, Marcelo Lettieri Siqueira, and Fabricio Carnero Linhares. 2009. "Previsao de Demanda Por Energia Eletrica Para Clases de Consumo Na Regiao Nodrdeste, Usando OLS Dinamico E Mudanca de Regime." *Economia Aplicada* 13 (1): 69-98.
- Islas, Jorge, Fabio Manzini, and Omar Masera. 2007. "A Prospective Study of Bioenergy Use in Mexico." *Energy* 32: 2306-20. doi:10.1016/j.energy.2007.07.012.
- Jacobs, David, Natacha Marzolf, Juan Roberto, Wilson Rickerson, Hilary Flynn, Christina Becker-birck, and Mauricio Solano-peralta. 2013. "Analysis of Renewable Energy Incentives in the Latin America and Caribbean Region: The Feed-in Tariff Case." *Energy Policy* 60. Elsevier: 601-10. doi:10.1016/j.enpol.2012.09.024.
- Jacobson, Arne, Anita D Milman, and Daniel M Kammen. 2005. "Letting the (energy) Gini out of the Bottle: Lorenz Curves of Cumulative Electricity Consumption and Gini Coefficients as Metrics of Energy Distribution and Equity." *Energy Policy* 33: 1825-32. doi:10.1016/j.enpol.2004.02.017.
- Jannuzzi, Gilberto De Martino. 2005. "Power Sector Reforms in Brazil and Its Impacts on Energy Efficiency and Research and Development Activities." *Energy Policy* 33: 1753-62. doi:10.1016/j.enpol.2004.02.015.
- Lamers, Patrick, Kes McCormick, and Jorge Antonio Hilbert. 2008. "The Emerging Liquid Biofuel Market in Argentina: Implications for Domestic Demand and International Trade." *Energy Policy* 36 (4): 1479-90. doi:10.1016/j.enpol.2007.12.023.
- Lucon, Oswaldo, Viviane Romeiro, and Sergio Pacca. 2013. "Reflections on the International Climate Change Negotiations : A Synthesis of a Working Group on Carbon Emission Policy and Regulation in Brazil." *Energy Policy* 59. Elsevier: 938-41. doi:10.1016/j.enpol.2013.04.058.
- Machicado, Carlos Gustavo. 2014. "La Economía Del Cambio Climático En Bolivia Impactos En Hidroenergía." *Banco Interamericano de Desarrollo Monografía Del BID* 193.
- McPherson, Madeleine, and Bryan Karney. 2014. "Long-Term Scenario Alternatives and Their Implications: LEAP Model Application of Panama's Electricity Sector." *Energy Policy* 68 (May). Elsevier: 146-57. doi:10.1016/j.enpol.2014.01.028.
- Medlock, Kenneth B., and Ronald Soligo. 2001. "Economic Development and End-Use Energy Demand." *Energy Journal* 22 (2): 77-105.
- Meza, Carlos Germán, Sonia Seger Mercedes, and Ildo Luis Sauer. 2014. "Nicaragua's 2013 Residential Lighting Program: Prospective Assessment." *Energy Policy* 67. Elsevier: 522-30. doi:10.1016/j.enpol.2013.12.037.
- Morales Udaeta, Miguel Edgar, Geraldo Francisco Burani, Jose Omar Arzabe Maure, and Cidar Ramon Oliva. 2007. "Economics of Secondary Energy from GTL Regarding Natural Gas Reserves of Bolivia." *Energy Policy* 35: 4095-4106. doi:10.1016/j.enpol.2007.02.014.
- Mosnaim, Ariel. 2001. "Estimating CO<sub>2</sub> Abatement and Sequestration Potentials for Chile." *Energy Policy* 29 (8): 631-40. doi:10.1016/S0301-4215(00)00160-9.
- Mundaca T., Luis. 2013. "Climate Change and Energy Policy in Chile: Up in Smoke?" *Energy Policy* 52 (January). Elsevier: 235-48. doi:10.1016/j.enpol.2012.08.073.
- O'Ryan, Raul, Daniel Sperling, Tom Turrentine, and Mark Delucchi. 2001. "Transportation in Developing Countries: Greenhouse Gas Scenarios for Chile." *Centro de Economía Aplicada, Universidad de Chile, Documentos de Trabajo* 111: 1-37.
- Ometto, Jean P, André C P Cimbleiris, A Marco, Luiz P Rosa, Donato Abe, José G Tundisi, José L Stech, Nathan Barros, and Fábio Roland. 2013. "Carbon Emission as a Function of Energy Generation in Hydroelectric Reservoirs in Brazilian Dry Tropical Biome." *Energy Policy* 58: 109-16. doi:10.1016/j.enpol.2013.02.041.
- Pao, Hsiao-Tien, and Chung-Ming Tsai. 2011. "Multivariate Granger Causality between CO<sub>2</sub> Emissions, Energy Consumption, FDI (foreign Direct Investment) and GDP (gross Domestic Product): Evidence from a Panel of BRIC (Brazil, Russian Federation, India, and China) Countries." *Energy* 36 (1). Elsevier Ltd: 685-93. doi:10.1016/j.energy.2010.09.041.
- Pereira, Marcio Giannini, Cristiane Farias Camacho, Marcos Aurélio Vasconcelos Freitas, and Neilton Fidelis Da Silva. 2012. "The Renewable Energy Market in Brazil: Current Status and Potential." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (6). Elsevier Ltd: 3786-3802. doi:10.1016/j.rser.2012.03.024.

- Piaggio, Matías, Vicent Alcántara, and Emilio Padilla. 2014. "Greenhouse Gas Emissions and Economic Structure in Uruguay." *Economic Systems Research* 26 (2). Routledge: 155-76. doi:10.1080/09535314.2013.869559.
- Pueyo, Ana, and Rodrigo Garcí. 2011. "The Role of Technology Transfer for the Development of a Local Wind Component Industry in Chile." *Energy Policy* 39: 4274-83. doi:10.1016/j.enpol.2011.04.045.
- Ramírez, Edson. 2008. "Impactos Del Cambio Climático Y Gestión Del Agua Sobre La Disponibilidad de Recursos Hídricos Para Las Ciudades de La Paz Y El Alto." *Revista Virtual REDESMA* 2 (3): 49-61.
- Recalde, Marina, and Jesús Ramos-Martin. 2012. "Going beyond Energy Intensity to Understand the Energy Metabolism of Nations : The Case of Argentina Q." *Energy* 37 (1). Elsevier Ltd: 122-32. doi:10.1016/j.energy.2011.07.011.
- Recalde, Marina Yesica. 2011. "Determinantes de La Inversión En Exploración de Hidrocarburos: Un Análisis Del Caso Argentino." *Cuadernos de Economía* 34: 40-52.
- Reyes, Orlando, and Roberto Escalante. 2010. "La Demanda de Gasolinas En México: Efectos Y Alternativas Ante El Cambio Climático" *Economía: Teoría Y Práctica*, no. 32: 83-111.
- Ribeiro, Suzana Kahn, and Adrianna Andrade de Abreu. 2008. "Brazilian Transport Initiatives with GHG Reductions as a Co-Benefit Brazilian Transport Initiatives with GHG Reductions as a Co-Benefit." *Climate Policy* 8: 220-40. doi:10.3763/cpol.2007.0431.
- Saboori, Behnaz, Maimunah Sapri, and Maizan bin Baba. 2014. "Economic Growth, Energy Consumption and CO<sub>2</sub> Emissions in OECD (Organization for Economic Co-Operation and Development)'s Transport Sector: A Fully Modified Bi-Directional Relationship Approach." *Energy* 66 (March). Elsevier Ltd: 150-61. doi:10.1016/j.energy.2013.12.048.
- Santos, Gervásio F. 2013. "Fuel Demand in Brazil in a Dynamic Panel Data Approach." *Energy Economics* 36 (March). Elsevier B.V.: 229-40.
- Santoyo-Castelazo, Edgar, and Adisa Azapagic. 2014. "Sustainability Assessment of Energy Systems: Integrating Environmental, Economic and Social Aspects." *Journal of Cleaner Production* 80 (October). Elsevier Ltd: 119-38. doi:10.1016/j.jclepro.2014.05.061.
- Sauma, Enzo, Samuel Jerardino, Carlos Barria, Rodrigo Marambio, Alberto Brugman, and José Mejía. 2011. "Electric-Systems Integration in the Andes Community: Opportunities and Threats." *Energy Policy* 39 (2): 936-49. doi:10.1016/j.enpol.2010.11.019.
- Schaeffer, Roberto, and Alexandre Salem Szklo. 2001. "Future Electric Power Technology Choices of Brazil: A Possible Conflict between Local Pollution and Global Climate Change." *Energy Policy* 29: 355-69.
- Schmidt, Cristiane A J, and Marcos A M Lima. 2004. "A Demanda Por Energia Eletrica No Brasil." *Revista Brasileira de Economia* 58 (1): 67-98.
- Seabra, Joaquim E A, and Isaias C. Macedo. 2011. "Comparative Analysis for Power Generation and Ethanol Production from Sugarcane Residual Biomass in Brazil." *Energy Policy* 39 (1). Elsevier: 421-28. doi:10.1016/j.enpol.2010.10.019.
- Sheinbaum-Pardo, Claudia, and Belizza J. Ruiz. 2012. "Energy Context in Latin America." *Energy* 40 (1). Elsevier Ltd: 39-46. doi:10.1016/j.energy.2011.10.041.
- Solís, Juan Carlos, and Claudia Sheinbaum. 2013. "Energy Consumption and Greenhouse Gas Emission Trends in Mexican Road Transport." *Energy for Sustainable Development* 17 (3). International Energy Initiative. Published by Elsevier Inc. All rights reserved.: 280-87. doi:10.1016/j.esd.2012.12.001.
- Suárez, José Antonio, Pedro Anibal Beatón, Ronoldy Faxas Escalona, and Ofelia Pérez Montero. 2012. "Energy, Environment and Development in Cuba." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (5). Elsevier Ltd: 2724-31. doi:10.1016/j.rser.2012.02.023.
- Tanaka, Kanako. 2011. "Review of Policies and Measures for Energy Efficiency in Industry Sector." *Energy Policy* 39 (10). Elsevier: 6532-50. doi:10.1016/j.enpol.2011.07.058.
- The World Bank. 2015. "World Development Indicators Data." <http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators>.
- Vahl, Fabrício Peter, and Nelson Casarotto Filho. 2015. "Energy Transition and Path Creation for Natural Gas in the Brazilian Electricity Mix." *Journal of Cleaner Production* 86 (January). Elsevier Ltd: 221-29. doi:10.1016/j.jclepro.2014.08.033.
- Valencia, Monica J, and Carlos A Cardona. 2014. "The Colombian Biofuel Supply Chains : The Assessment of Current and Promising Scenarios Based on Environmental Goals." *Energy Policy* 67. Elsevier: 232-42. doi:10.1016/j.enpol.2013.12.021.

- Valenzuela, Jose Maria, and Ye Qi. 2012. "Framing Energy Efficiency and Renewable Energy Policies : An International Comparison between Mexico and China." *Energy Policy* 51: 128-37. doi:10.1016/j.enpol.2012.03.083.
- Vergara, Walter, Ana R. Rios, Luis M. Galindo, Pablo Gutman, Paul Isbell, Paul H. Suding, and Joseluis L. Samaniego. 2013. *The Climate and Development Challenge for Latin America and the Caribbean. Options for Climate-Resilient, Low-Carbon Development*. Washington, D.C.: Inter-American Development Bank.
- Wills, William, and Emilio Lèbre La Rovere. 2010. "Light Vehicle Energy Efficiency Programs and Their Impact on Brazilian CO<sub>2</sub> Emissions." *Energy Policy* 38 (11): 6453-62. doi:10.1016/j.enpol.2009.06.057.
- WRI. 2015. "Maps & Data | World Resources Institute." <http://www.wri.org/resources>.
- Zhang, Xing-Ping, Xiao-Mei Cheng, Jia-Hai Yuan, and Xiao-Jun Gao. 2011. "Total-Factor Energy Efficiency in Developing Countries." *Energy Policy* 39 (2). Elsevier: 644-50. doi:10.1016/j.enpol.2010.10.037.

## **Anexo**

**Cuadro A.1**  
**Relación de publicaciones revisadas por fuente, año, metodología y región**  
**de América Latina y el Caribe**

Fuente	Título	Año	Metodología	Región
Banco Interamericano de Desarrollo	La Economía del cambio climático en Bolivia Impactos en hidroenergía	2014	Simulación	Bolivia
Biomass and Energy	Spatial analysis of residential fuelwood supply and demand patterns in Mexico using the WISDOM approach	2007	Simulación	México
Boletín de Historia Económica	Energía y Desarrollo La transición energética en Uruguay (1882, 2000)	2006	Descriptivo	Uruguay
Building and Environment	Benchmarking the energy efficiency and greenhouse gases emissions in Central Argentina	2000	Descriptivo	Argentina
Centro de Economía Aplicada, Universidad de Chile, Documentos de Trabajo	Transportation in Developing Countries: Greenhouse Gas Scenarios for Chile	2001	Simulación	Chile
CEPAL Review	The Economics of Climate Change in Latin America and the Caribbean: Stylized Facts	2010	Econométrico	América Latina y el Caribe
CIES Febrero	Mecanismos de competencia en generación de energía y su impacto en la eficiencia	2002	Simulación	Perú
Climate Policy	Brazilian Transport Initiatives with GHG Reductions as a Co-benefit	2008	Descriptivo	Brasil
	Sustainable Development and Climate Change: Lessons from Country Studies	2008	Descriptivo	Brasil
Cuadernos de Economía	Determinantes de la inversión en exploración de hidrocarburos: un análisis del caso argentino	2011	Econométrico	Argentina
Ecological Economics	The Water Footprint of Energy from Biomass: A Quantitative Assessment and Consequences of an Increasing Share of Bio-energy in Energy Supply	2009	Simulación	Brasil
Economía Aplicada/Brazilian Journal of Applied Economics	Previsao de demanda por energia eletrica para classes de consumo na regio Nordeste, usando OLS dinamico e mudanca de regime.	2009	Econométrico	Brasil
Economía Chilena	La Demanda Residencial de Energía Eléctrica en Chile.	2012	Econométrico	Chile
Economía Mexicana Nueva Época	El consumo de energía y la economía mexicana: un análisis empírico con VAR	2005	Econométrico	México
Economía: Teoría y Práctica	La demanda de gasolinas en México: efectos y alternativas ante el cambio climático	2010	Econométrico	México
Economic Systems Research	Greenhouse Gas Emissions and Economic Structure in Uruguay	2014	Simulación	Uruguay
Energy	Energy context in Latin America	2012	Descriptivo	América Latina y el Caribe
	Multivariate Granger causality between CO <sub>2</sub> emissions, energy consumption, FDI (foreign direct investment) and GDP (gross domestic product): Evidence from a panel of BRIC (Brazil, Russian Federation, India, and China) countries	2011	Econométrico	Brasil
	Economic growth, energy consumption and CO <sub>2</sub> emissions in OECD's transport sector: A fully modified bi-directional relationship approach	2011	Econométrico	Chile y México
	A prospective study of bioenergy use in Mexico	2007	Simulación	México
	Going beyond energy intensity to understand the energy metabolism of nations: The case of Argentina	2012	Simulación	Argentina

Cuadro A.1 (continuación)

Fuente	Título	Año	Metodología	Región
Energy Economics	Short-run, long-run and cross elasticities of gasoline demand in Brazil	2003	Econométrico	Brasil
	Energy consumption and projected growth in selected Caribbean countries	2007	Econométrico	Haití, Jamaica, y Trinidad y Tobago
	Energy consumption and economic growth in Central America: Evidence from a panel cointegration and error correction model	2009	Econométrico	Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, y Panamá
	Environmental pricing of externalities from different sources of electricity generation in Chile	2012	Econométrico	Chile
	Fuel demand in Brazil in a dynamic panel data approach	2013	Econométrico	Brasil
	Renewable Energy, Output, CO <sub>2</sub> Emissions, and Fossil Fuel Prices in Central America: Evidence from a Nonlinear Panel Smooth Transition Vector Error Correction Model	2014	Econométrico	Centroamérica
	Gauging the future competitiveness of renewable energy in Colombia	2009	Simulación	Colombia
	Solow meets Leontief: Economic growth and energy consumption	2010	Simulación	Brasil
Energy for Sustainable Development	Energy consumption and greenhouse gas emission trends in Mexican road transport	2013	Econométrico	México
Energy Journal	Economic Development and End-Use Energy Demand	2001	Econométrico	Brasil y México
	Fuelling Growth: What Drives Energy Demand in Developing Countries?	2009	Econométrico	Brasil; Chile; Colombia; México; Perú; Venezuela
	Energy Demand and Energy Efficiency in the OECD Countries: A Stochastic Demand Frontier Approach	2011	Econométrico	México
Energy Policy	Power sector reforms in Brazil and its impacts on energy efficiency and research and development activities	2005	Descriptivo	Brasil
	Economics of secondary energy from GTL regarding natural gas reserves of Bolivia	2007	Descriptivo	Bolivia
	The emerging liquid biofuel market in Argentina: Implications for domestic demand and international trade	2008	Descriptivo	Argentina
	Biogas/photovoltaic hybrid power system for decentralized energy supply of rural areas	2010	Descriptivo	Brasil
	Review of policies and measures for energy efficiency in industry sector	2011	Descriptivo	Brasil y México
	The role of technology transfer for the development of a local wind component industry in Chile	2011	Descriptivo	Chile
	Framing Energy Efficiency and Renewable Energy Policies: An International Comparison between Mexico and China	2012	Descriptivo	México
Energy Policy	Analysis of renewable energy incentives in the Latin America and Caribbean region: The feed-in tariff case	2013	Descriptivo	Argentina, Perú, Ecuador, Nicaragua, Honduras y República Dominicana
	Reflections on the international climate change negotiations: A synthesis of a working group on carbon emission policy and regulation in Brazil	2013	Descriptivo	Brasil
	Ecuador's energy policy mix: Development versus conservation and nationalism with Chinese loans	2013	Descriptivo	Ecuador
	Environmental sustainability of biodiesel in Brazil	2014	Descriptivo	Brasil

Cuadro A.1 (continuación)

Fuente	Título	Año	Metodología	Región	
Energy Policy	Letting the (energy) Gini out of the bottle: Lorenz curves of cumulative electricity consumption and Gini coefficients as metrics of energy distribution and equity	2005	Econométrico	El Salvador	
	Short- and long-run demand for energy in Mexico: a cointegration approach	2005	Econométrico	México	
	Total-factor energy efficiency in developing countries	2011	Econométrico	Argentina, Bolivia, Chile, Dominicana, Ecuador, Guatemala, Honduras, México, Panamá, Paraguay, Perú y Venezuela	
	Decomposition of CO <sub>2</sub> Emissions Change from Energy Consumption in Brazil: Challenges and Policy Implications	2011	Econométrico	Brasil	
	Energy conservation and sustainable economic growth: The case of Latin America and the Caribbean	2011	Econométrico	América Latina y el Caribe	
	Climate Change and Energy Policy in Chile: Up in Smoke?	2013	Econométrico	Chile	
	Future electric power technology choices of Brazil:: a possible conflict between local pollution and global climate change	2001	Simulación	Brasil	
	Estimating CO <sub>2</sub> abatement and sequestration potentials for Chile	2001	Simulación	Chile	
	Transport and energy demand in Mexico: the personal income shock	2003	Simulación	México	
	Policies for advancing energy efficiency and renewable energy use in Brazil	2004	Simulación	Brasil	
	Natural gas in Brazil's energy matrix: demand for 1995-2010 and usage factors	2005	Simulación	Brasil	
	Investment prospects for geothermal power in El Salvador's electricity market	2006	Simulación	El Salvador	
	Competitiveness of Brazilian Sugarcane Ethanol Compared to US Corn Ethanol	2010	Simulación	Brasil	
	Light Vehicle Energy Efficiency Programs and Their Impact on Brazilian CO <sub>2</sub> Emissions	2010	Simulación	Brasil	
	Energy efficiency in social housing: Opportunities and barriers from a case study in Brazil	2010	Simulación	Brasil	
	Electric-systems integration in the Andes community: Opportunities and threats	2011	Simulación	Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador and Perú	
	Comparative Analysis for Power Generation and Ethanol Production from Sugarcane Residual Biomass in Brazil	2011	Simulación	Brasil	
	Sustainable energy policy in Honduras: Diagnosis and challenges	2011	Simulación	Honduras	
	Energy Policy	Efficient energy utilization and environmental issues applied to power planning	2011	Simulación	México
		The delivery of low-cost, low-carbon rural energy services	2011	Simulación	Nicaragua
Energy-Related Climate Change Mitigation in Brazil: Potential, Abatement Costs and Associated Policies		2012	Simulación	Brasil	
The potential of natural gas use including cogeneration in large-sized industry and commercial sector in Peru		2012	Simulación	Perú	
A Sustainable Scenario for Venezuelan Power Generation Sector in 2050 and Its Costs		2012	Simulación	Venezuela	
Carbon Emission as a Function of Energy Generation in Hydroelectric Reservoirs in Brazilian Dry Tropical Biome		2013	Simulación	Brasil	
Estimating the Cost Savings and Avoided CO <sub>2</sub> Emissions in Brazil by Implementing Energy Efficient Policies		2014	Simulación	Brasil	
The Colombian biofuel supply chains: The assessment of current and promising scenarios based on environmental goals		2014	Simulación	Colombia	

Cuadro A.1 (conclusión)

Fuente	Título	Año	Metodología	Región
Energy Policy	Nicaragua's 2013 residential lighting program: Prospective assessment	2014	Simulación	Nicaragua
	Long-term scenario alternatives and their implications: LEAP model application of Panama's electricity sector	2014	Simulación	Panamá
	The vulnerability of renewable energy to climate change in Brazil	2009	Todos	Brasil
Environmental and Resource Economics	Project Mechanisms and Technology Diffusion in Climate Policy	2011	Simulación	Países en desarrollo
Estudios de Economía Aplicada	Limits on Use of Diesel in Brazil: Measurement of Increase of Biodiesel in Mitigation of GHG	2013	Econométrico	Brasil
European Journal of Operational Research	A multicriteria approach to sustainable energy supply for the rural poor	2012	Descriptivo	Colombia
	A MILP model to design hybrid wind–photovoltaic isolated rural electrification projects in developing countries	2013	Simulación	Perú
Journal of Cleaner Production	Energy transition and path creation for natural gas in the Brazilian electricity mix	2015	Econométrico	Brasil
	Future scenarios and trends in energy generation in Brazil: supply and demand and mitigation forecasts	2014	Simulación	Brasil
	Sustainability assessment of energy systems: integrating environmental, economic and social aspects	2014	Simulación	México
Journal of Economic Literature	Energy demand in the developing countries: Prospects for the future	1991	Todos	Brasil
Renewable and Sustainable Energy Reviews	The renewable energy market in Brazil: Current status and potential	2012	Descriptivo	Brasil
	Energy, environment and development in Cuba	2012	Descriptivo	Cuba
Renewable energy	Ocean thermal energy resources in Colombia	2014	Simulación	Colombia
Revista Brasileira de Economia	A Demanda por Energia Eletrica no Brasil	2004	Econométrico	Brasil
Revista Virtual REDESMA	Impactos del Cambio Climático y Gestión del Agua sobre la disponibilidad de recursos hídricos para las ciudades de La Paz y El Alto	2008	Simulación	Bolivia
The World Bank, Policy Research Working Paper Series	Social impacts of climate change in Peru: a district level analysis of the effects of recent and future climate change on human development and inequality	2009	Econométrico	Perú
Universidad del CEMA, CEMA Working Papers	Impacts of Greenhouse and Local Gases Mitigation Options on Air Pollution in the Buenos Aires Metropolitan Area: Valuation of Human Health Effects	2002	Simulación	Argentina

Fuente: Elaboración propia.





Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)  
Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC)  
[www.cepal.org](http://www.cepal.org)