

# Transición de leña a gas licuado a presión (GLP) en el sur de México, oportunidad para la mitigación del cambio climático en la región menos desarrollada del país

Transition from biomass to LP gas in southern Mexico, an opportunity for climate change mitigation in the least developed region in the country

Elio Lagunes-Díaz\*, Ma. Eugenia González-Ávila\*\*, Alfredo Ortega-Rubio\*

## RESUMEN

En los estados del sur de México, entre un 25% y un 55% de los hogares dependen de la leña para cocinar, lo cual trae consecuencias en el ambiente, el desarrollo y la salud. No obstante, el conocimiento de estas consecuencias y la migración hacia combustibles modernos ha permanecido relegada de las políticas de desarrollo. En este trabajo, partiendo de una descripción del panorama de uso de leña en el país y su importancia como fuente de energía, se presenta una aproximación para estimar ahorros en emisiones de CO<sub>2</sub> logrables por la transición a gas licuado a presión (GLP), los cuales pueden alcanzar 3.14 Mt CO<sub>2</sub>e, 26% menos que el escenario base. Se finaliza con una discusión de la transición hacia combustibles modernos, las barreras que la impiden y los logros y fallos de la distribución de estufas ahorradoras de leña, la principal iniciativa gubernamental para aliviar el consumo de leña en el país.

## ABSTRACT

Between 25% and 55% of households in southern Mexico depend on biomass for cooking, which carries serious consequences on the environment, development and health. In spite of the knowledge of these consequences, transition from biomass to modern fuels has remained outside energy and development policies. In the present work, after describing the panorama of fuelwood use in the country and its importance as an energy source, an approach is presented for estimating CO<sub>2</sub> savings achievable by transition to pressurized liquefied gas (LP). These savings can reach 3.14 Mt CO<sub>2</sub>e, 26% less than the baseline scenario. At the end we discuss on the transition to modern fuels in Mexico, the barriers that hinder it and the achievements and failures of the distribution of fuelwood saving cookstoves, as the only and most important governmental initiative to alleviate biomass use, comparing it with other priorities in the government's agenda.

## INTRODUCCIÓN

Las consecuencias del uso de leña para cocinar son diversas. En primer lugar, las afectaciones más graves son ambientales: la deforestación (López-Barrera, Manson & Landgrave, 2014) y sus efectos subsecuentes como degradación de hábitat para ciertas especies (An, Lupi, Liu, Linderman & Huang, 2002), la erosión (Ochoa-Gaona & Gonza, 2000) y la pérdida de biodiversidad (Naughton-Treves, Kammen & Chapman, 2007). En segundo lugar, las consecuencias sociales: menor productividad laboral debido al gasto de tiempo para recolectar madera y exposición a accidentes y agresiones durante la recolecta (Sovacool, 2012), afectando la salud con enfermedades respiratorias causadas por la contaminación intramuros proveniente de la quema de leña y biomasa en general (hojas, tallos y raíces), estimada como la tercera causa de muertes prematuras en el tercer mundo, siendo responsable de 1.5 millones de muertes por año, superada sólo por el Virus de Inmunodeficiencia Humana (VIH) y la malaria (*Organisation for Economic Co-operation and Development* [OECD]/*International Energy Agency* [IEA], 2006).

Recibido: 26 de junio de 2015  
Aceptado: 11 de noviembre de 2015

### Palabras clave:

Transición energética; cambio climático; política energética.

### Keywords:

Energy transition; climate change; energy policy.

### Cómo citar:

Lagunes-Díaz, E., González-Ávila, M. E., & Ortega-Rubio, A. (2015). Transición de leña a gas licuado a presión (GLP) en el sur de México, oportunidad para la mitigación del cambio climático en la región menos desarrollada del país. *Acta Universitaria*, 25(6), 30-42. doi: 10.15174/au.2015.853

\* Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Av. Instituto Politécnico Nacional núm. 195, Playa Palo de Santa Rita Sur, La Paz, Baja California Sur, México, C.P. 23096. Tel: (612) 123-8484. Correos electrónicos: aortega@cibnor.mx; e\_guarionex@hotmail.com

\*\* Colegio de la Frontera Norte. Av. Técnicos núm. 277, Monterrey, Nuevo León, México, C.P. 64700. Teléfono: (818) 387 5027. Correo electrónico: megamar@colef.mx

La falta de acceso a combustibles modernos, como el gas licuado a presión (GLP) y el gas natural, ha tenido históricamente un papel secundario entre las políticas para combatir el subdesarrollo. En comparación con la respuesta internacional a otras condiciones del subdesarrollo, como el hambre, el VIH o el agua sucia, este problema ha recibido “financiamiento extremadamente limitado y muy poco respaldo político de alto nivel” (OECD/IEA, 2006). Inclusive en países donde la leña es el principal combustible para la cocina, el acceso a la electricidad ha recibido mucha mayor atención en los planes gubernamentales, una condición que se ve reflejada en los 2.5 miles de millones de personas que utilizan leña para cocinar, frente a 1.6 miles de millones que carecen de electricidad (Gaye, 2008). Mientras tanto, los gobiernos han tenido un enfoque persistente en construir sistemas centralizados para el suministro de energía, en lugar de proveer servicios energéticos (las satisfacciones y el desarrollo que trae consigo el uso de energía, ponderando las necesidades de la población) y lograr la sustentabilidad (*United Nations Development Programme* [UNDP], 2007).

Tomando en cuenta las consecuencias previamente mencionadas del uso de leña, una recomendación de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), dentro del Proyecto del Milenio, es disminuir a la mitad el número de hogares que utilizan leña como su principal combustible para el 2015, reconociendo a través del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) que enfrentar la falta de acceso a combustibles modernos es crucial para alcanzar todos los “objetivos de desarrollo del milenio”, explícitamente, erradicar la pobreza extrema y el hambre, alcanzar educación primaria universal, promover equidad de género y empoderar a las mujeres, reducir la mortalidad infantil, mejorar la salud materna, combatir enfermedades de amplia distribución y asegurar la sustentabilidad ambiental en el mundo (UNDP, 2007).

En algunos países en desarrollo, la transición desde la leña al GLP o a gas natural ha comenzado ya. En Ecuador hicieron un esfuerzo desde hace 20 años con el que se logró que un 40% original de hogares que utilizaban leña en 1990 se redujera a 13% en el 2000 y 7% en 2010. Ahora, las políticas ecuatorianas apoyan a través de subsidios la transición desde GLP a estufas de inducción, cuya electricidad provendrá de nuevas plantas hidroeléctricas, según los planes de desarrollo de ese país (Secretaría Nacional de Planeación y Desarrollo [SNPD], 2014). En Indonesia, un esquema de subsidios logró la transición desde queroseno a GLP, mitigando así la pobreza energética extrema, aunque este programa no contempló a los usuarios de

leña para los subsidios (Andadari, Mulder & Rietveld, 2014). En los Himalayas Indios, la introducción del GLP como parte de un grupo de medidas de conservación para preservar los frágiles ecosistemas de montaña logró una reducción desde un 80% a un 30%, entre 1985 y 1995. No obstante estos casos, la transición energética ha tenido tasas de éxito muy disímiles en los países en desarrollo, con progreso lento o nulo.

Este trabajo comienza fijando un marco del uso de leña y su importancia como una fuente de energía primaria (aquella que no ha sufrido alteraciones) en México. Posteriormente, se presenta una revisión crítica de la literatura sobre el uso de leña y sus consecuencias ambientales en el país. Después, enfocándose en los estados del sur de México, aquéllos con alta dependencia de leña en la matriz energética para cocción de alimentos, se calculan las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de la combustión de ésta, comparándolas con aquéllas del uso de GLP en la región. También se presenta una estimación del ahorro en emisiones de CO<sub>2</sub> que conllevarían diferentes metas de transición de combustibles de leña a GLP.

Finalmente se presenta una discusión de la transición hacia combustibles modernos en el país, las barreras que la impiden y los logros y fallos de la distribución de estufas ahorradoras de leña, comparando estos programas con otras iniciativas gubernamentales. Cambiando el enfoque de suministro y aspectos económicos al usuario y al ambiente, este trabajo pretende transmitir una visión más profunda sobre los aspectos ambientales de la pobreza energética. Los lectores del presente artículo encontrarán argumentos ambientales para apoyar la transición hacia combustibles modernos, así también por la similitud de condiciones socioeconómicas y climáticas entre México y diversos países de América Latina y el Caribe. En este sentido, la información presentada aquí puede ser valiosa y ayuda al desarrollo de la región.

## La leña, la fuente más importante de energía primaria renovable en México

La leña se encuentra entre las fuentes de energía más importantes en México, contribuyendo con 2.8% del total de la producción de energía primaria; además, es la fuente renovable más importante, aun por encima de la energía hidráulica. En 2010, la producción de energía de leña alcanzó 259 PJ, superando a aquéllas provenientes del uranio (63.4 PJ), viento (0.9 PJ), solar (4.1 PJ) y del bagazo de caña (93 PJ). A pesar

de que la energía hidráulica ha sido históricamente mayor, con un promedio de 276.6 PJ en el periodo 1990-2002, en los años recientes su producción energética ha disminuido, con un promedio de 120 PJ en el periodo 2006-2010 (Secretaría de Energía [Sener], 2003, 2011).

El porcentaje de hogares que utilizan leña para cocinar permanece alrededor de 15% en el país, desde 1996, según los registros de la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH, 2012). Comparativamente, sólo 0.9% de las familias del país carecen de electricidad, en congruencia con las aseveraciones previamente mencionadas por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), acerca de una participación dispar de combustibles modernos y electricidad en las agendas gubernamentales. Además de su uso residencial para cocinar, en México la leña es usada extensivamente en industrias tradicionales, como panaderías, beneficios de café, ladrilleras y alfarerías, entre muchas otras (Quiroz-Carranza & Orellana, 2010). En 2010, la leña proveía 34% de la energía para el sector residencial, mientras que el GLP y el gas natural representaban el 39% y la electricidad 26% (Sener, 2011) (la diferencia entre el 15% de hogares que usan leña y el 34% de energía aportado por ésta proviene de la diferencia de metodología de los estudios o diferencias en el consumo por hogar entre las distintas regiones del país).

Otros estudios, como los realizados por Sheinbaum-Pardo & Ruiz (2012), han reportado una proporción constante de leña en el grupo de combustibles para cocinar durante el periodo 1999-2008, utilizando información de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), mientras que Rosas-Flores & Gálvez (2010) estiman un incremento en el uso de leña para calentar agua, en el periodo 1984-2006; ésta representó el 78% de la demanda total de madera en México en el 2000 (Sheinbaum & Masera, 2000). La Sener estima que el consumo residencial total de leña en 2013 era de 255.4 PJ (Sener, 2013a) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura estimó para ese mismo año que 11.7 y 27.2 millones de metros cúbicos de especies coníferas y no coníferas, respectivamente, fueron utilizadas como combustible en el país (Food and Agriculture Organisation [FAO], 2015).

El uso de leña es más intensivo en once estados del país, localizados casi totalmente en el sur, donde entre el 25% y el 55% de la proporción de combustibles son usados para cocinar. Estos estados son: Campeche, Chiapas, Guerrero, Hidalgo, Michoacán, Oaxaca,

Puebla, San Luis Potosí, Tabasco, Veracruz y Yucatán. En Durango, Guanajuato, Morelos, Nayarit, Querétaro, Quintana Roo, Sinaloa y Zacatecas, la leña representa entre el 10% y el 20%. En los trece estados restantes se utiliza en menos de 10% de los hogares. El GLP contribuye con el resto en la mayoría de los estados, mientras que el gas natural es usado principalmente en la frontera norte y el área metropolitana de la Ciudad de México, cubriendo más de 8% en Baja California, México, Coahuila, Tamaulipas, Chihuahua y Querétaro; el 22% en el DF y 49.5% en Nuevo León (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2015).

### Consecuencias ambientales de la recolección y uso de leña reportadas en México

Cuando se usa hasta cierto nivel, exclusivamente recolectando ramas caídas y árboles muertos y controlando la deforestación, el uso de leña no representa una amenaza para el ambiente y se considera sustentable (Cherni & Hill, 2009). Sin embargo, factores como el crecimiento poblacional y el cambio de uso de suelo, que incrementan la presión sobre el ecosistema, o características especiales de la vegetación, como el lento crecimiento de algunas especies, afectan la sustentabilidad de la extracción de leña. En los estados del sur de México, donde ésta es utilizada en más de 25% de los hogares y donde la densidad poblacional es superior a la media nacional, se han comenzado a detectar signos de degradación ambiental y se han pronosticado consecuencias negativas en los bosques debidas a la extracción de leña:

- En los altos de Chiapas, la leña es el recurso de mayor demanda en los bosques de la región (Ochoa-Gaona & Gonza, 2000), con un descenso en la abundancia de las especies de encino (*Quercus* spp.) registrado en las regiones donde se usa para leña y para fabricar carbón (Ramírez-López, Ramírez-Marcial, Cortina-Villa & Castillo-Santiago, 2012).
- En algunas localidades en Tabasco, las especies arbóreas utilizadas como combustible para cocinar pertenecen al bosque tropical lluvioso, dentro de algunos de los sitios mejor preservados de este ecosistema fuertemente afectado, con el deterioro consecuente de sus recursos y la biodiversidad debido a la extracción (Cabrera-Pérez *et al.*, 2013).
- En la región purépecha de Michoacán, en 32 000 ha (80%) de un total de 40 000 ha de áreas boscosas, la leña se extrae a una tasa mayor a su capacidad de regeneración, y en varias de estas áreas con

sobreextracción se calcula que la mitad de la biomasa leñosa será perdida dentro de una década (Ghilardi, Guerrero & Masera, 2009).

- En la región central de Veracruz, la recolección de leña, junto con la presión permanente de pastoreo, provocan la degradación de bosque cerrado a abierto y, finalmente, a pastizales (López-Barrera *et al.*, 2014).
- En el municipio de Yanhuitlán, Oaxaca, no obstante que los árboles vivos no suelen ser usados como leña, bajo el crecimiento poblacional actual, la demanda futura de ésta excederá las tasas de regeneración actuales del bosque, acelerando la erosión, actualmente considerada como severa, en las áreas limítrofes de éstos (Contreras-Hinojosa *et al.*, 2003).

Además de los efectos negativos de la extracción de leña en la cobertura del suelo, el hábitat y la erosión, el uso de leña también contribuye al cambio climático, debido al descenso en la captura de carbón causada por la tala de árboles, así como por la descomposición de la biomasa remanente, el incremento en la presión sobre los ecosistemas y por una mayor tasa de emisión de CO<sub>2</sub> de la madera, en comparación con el GLP, por unidad de energía; aunque debe ser considerado que, cuando se usa estrictamente en un modo sustentable, el uso de leña es neutral en emisiones de carbono. En las líneas siguientes se presenta una estimación del CO<sub>2</sub> atribuible al uso de leña y GLP en el sur de México, considerando sólo aquellas emisiones provenientes de combustión.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes del uso de leña y GLP en el sur de México

El uso de leña, total y por hogar, presenta dificultades para el cálculo preciso, debido a la naturaleza dispersa de la recolección. Sólo existen datos publicados para cinco de los estados del sur de México, así que para estimar los ahorros en las emisiones derivadas de distintos escenarios de cambio en el consumo de leña/GLP, considerando las diferencias entre los estados, el trabajo presente parte de la premisa de que los *usuarios nuevos de GLP* tendrían un consumo similar a aquellos *usuarios establecidos de GLP* en cada estado, intentando así incluir las diferencias de consumo entre éstos, considerando que el consumo de leña por persona y por

hogar es función del tamaño de la familia (Nautiyal, 2013), el clima (por la función adicional de calentar agua para bañarse), la estación, los ingredientes de la dieta (algunos alimentos requieren mayor cantidad de energía para su cocción) y otros hábitos alimenticios como comer fuera de casa o pedir comida preparada (Ramírez-López, *et al.*, 2012).

Para estimar los ahorros en emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de objetivos de transición de 50% y 75% de los usuarios de leña a GLP en los once estados, se utilizó la base de datos Gastos de la ENIGH (2012), que recolecta información por hogar de los gastos realizados en varios productos y servicios, entre éstos el GLP. La transición total no fue evaluada, considerando que a medida que se avanza la magnitud de los beneficios disminuye y se vuelve más difícil lograr una transición del 100%. La ENIGH (2012) es un documento publicado bienalmente por el INEGI; su objetivo es entregar un panorama estadístico de las características socioeconómicas de la población, así como las características, servicios y equipamiento de los hogares. El tamaño de muestra de la ENIGH está calculado para cubrir un 90% de nivel de confianza y se hace distribuido equitativamente a lo largo del país. Su cobertura temporal, desde 1984, permite comparar las condiciones pasadas y las presentes en el país para muchas variables, aunque algunos campos son de creación reciente. La ENIGH (2012) recoge encuestas de 33 726 personas de 9002 hogares.

Para determinar si existía una tasa de incremento o disminución de la prevalencia de leña entre los combustibles para cocinar, se examinó la serie temporal de ENIGH, a partir de 1996, cuando la encuesta comenzó a incluir información del combustible utilizado para la cocina; se llevó a cabo una prueba de *Cox-Stuart* para determinar la presencia de tendencias, utilizando el *software R Studio* (R Core team, 2014); la hipótesis nula fue confirmada en todos los estados donde la prevalencia de leña es > 25% ( $p > 0.125$ ), sin encontrarse tendencia alguna.

Después de descartar la necesidad de una tasa de crecimiento en la proyección, el siguiente paso fue calcular el consumo en kg de GLP por hogar para cada estado, siguiendo  $GLP_i = M_i / Precio_i$ , donde  $GLP_i$  es el consumo de GLP para el estado  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, 11$ ),  $M_i$  es el gasto promedio en GLP para el estado  $i$  en pesos, obtenido de la ENIGH y  $Precio_i$  es el precio del gas natural para el estado  $i$ , obtenido de Sener (2012). El consumo de GLP obtenido se muestra en el mapa de la figura 1, junto con el gasto total en energía por hogar.

En el mapa se observa una regionalización, presentándose un consumo mayor de gas en los estados del centro-occidente, un consumo medio en los del sur, medio-bajo en los del norte, donde es popular el gas natural; existen excepciones regionales, como Chiapas en el sur, Chihuahua en el norte y el DF en la zona central. En el mapa del gasto total en energía se muestra un claro gradiente norte-sur, donde los estados del norte presentan gastos hasta tres veces mayores en energía.

La estimación de consumo de GLP a través de las erogaciones concuerda con la escasa literatura publicada para algunos de los estados relevantes al presente trabajo, coincidiendo mayores consumos de leña donde se calcularon gastos mayores en GLP. En la tabla 1 se comparan los valores obtenidos en este trabajo sobre consumo de GLP con reportes previos de consumo de leña.

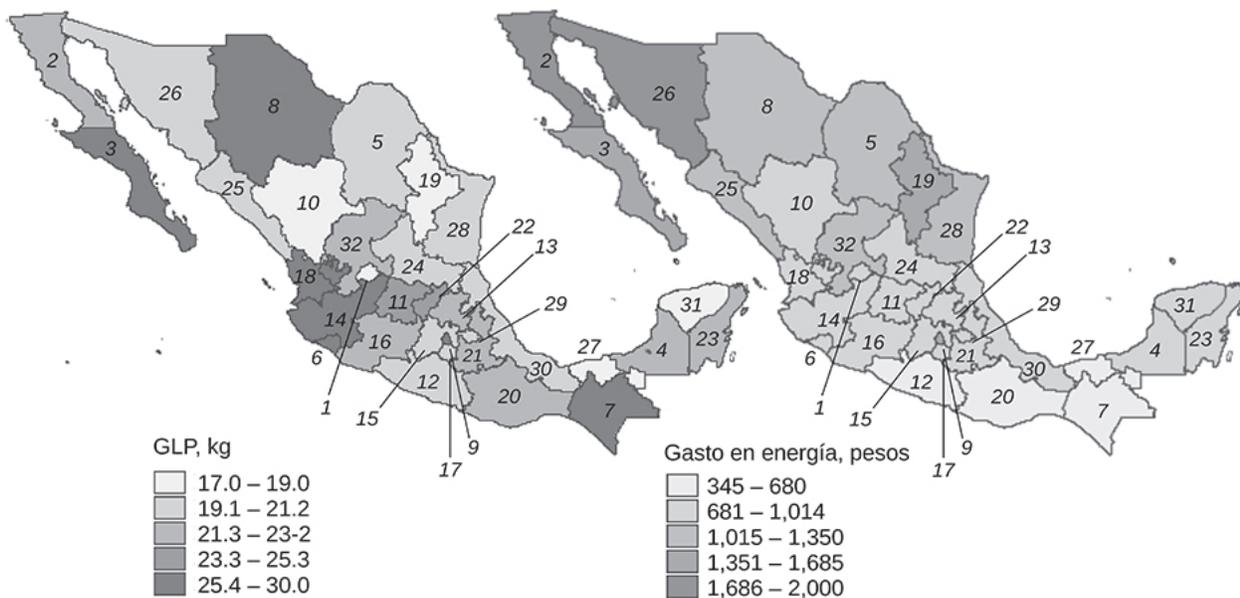
Una vez obtenido el consumo de GLP por hogar, se calculó el promedio de energía necesitada por hogar en cada estado, siguiendo  $E_i = GLP_i \cdot ef$ , donde  $E_i$  es el promedio de energía por hogar para el estado  $i$ , en MJ y  $ef$  el factor de conversión de 23.0 MJ por kg GLP, entregado a la olla de cocinar, reportado en Smith, Rogers & Cowlin (2005). El promedio de energía para cocinar

por hogar fue estimado entre 475 MJ y 600 MJ mensuales entre los distintos estados. El consumo residencial total de energía sumó 38.4 PJ de GLP y 21.4 PJ de leña en la región.

**Tabla 1.** Comparación en el consumo de GLP calculado vs consumo de leña en estados con información disponible.

Estado	GLP (kg mes <sup>-1</sup> ·hogar <sup>-1</sup> )	Leña (kg día <sup>-1</sup> ·cap <sup>-1</sup> )	Referencia del consumo de leña
Chiapas	26.3	3.8 (promedio dos estaciones)	Ramírez-López <i>et al.</i> , 2012
Michoacán	22.4	2.0	Contreras-Hinojosa <i>et al.</i> , 2003
Oaxaca	21.7	1.85 (mezclado con GLP)	Contreras-Hinojosa <i>et al.</i> , 2003
Guerrero	19.3	1.7	Contreras-Hinojosa <i>et al.</i> , 2003
Yucatán	19.0	2.06	Quiroz-Carranza & Orellana, 2010

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 1.** Consumo promedio mensual de GLP en kg y gasto total en energía por hogar.

Números de los estados en los mapas: 1: Aguascalientes; 2: Baja California; 3: Baja California Sur; 4: Campeche; 5: Coahuila; 6: Colima; 7: Chiapas; 8: Chihuahua; 9: Distrito Federal; 10: Durango; 11: Guanajuato; 12: Guerrero; 13: Hidalgo; 14: Jalisco; 15: México; 16: Michoacán; 17: Morelos; 18: Nayarit; 19: Nuevo León; 20: Oaxaca; 21: Puebla; 22: Querétaro; 23: Quintana Roo; 24: San Luis Potosí; 25: Sinaloa; 26: Sonora; 27: Tabasco; 28: Tamaulipas; 29: Tlaxcala; 30: Veracruz; 31: Yucatán y 32: Zacatecas.

Fuente: Elaborado a partir de INEGI (2015) y Sener (2012).

Después de haber estimado el consumo energético por hogar, se calcularon las emisiones de CO<sub>2</sub>, siguiendo  $C_i = E_i \cdot cf_F$ , donde  $C_i$  son las emisiones totales para el estado  $i$  en 2012 y  $cf_F$  es el factor de emisión, de 308.2 g/MJ para leña ( $F = 1$ ) y 125.6 g/MJ para GLP ( $F = 2$ ), de acuerdo con la Environmental Protection Agency (EPA) (2000).

En el caso de la leña, la tasa de emisión varía ampliamente de acuerdo con la especie y el método de combustión utilizados para cocinar. Para esta estimación fue usada la menor tasa de emisión del reporte de EPA, para confrontar al GLP con la leña utilizada en condiciones óptimas, correspondientes al uso de madera de *Acacia* (Fabacea) en una estufa ahorradora de leña. Esta especie ha sido reportada como la más frecuentemente usada como leña en Yucatán (Quiroz-Carranza & Orellana, 2010), de entre las preferidas para la cocción en Chiapas (Ramírez-López *et al.*, 2012), y ha sido considerada como un cultivo potencial para el suministro de bioenergía en México (Islas, Manzini & Masera, 2007). Las especies de encino (*Quercus* spp.) predominan en las regiones templadas, sin embargo, por el nivel de agregación de los datos de la ENIGH no es posible diferenciar con exactitud la ubicación de los hogares para determinar el clima donde se encuentran, por lo cual sólo se usó el valor para *Acacia* en los cálculos.

### Emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de la leña y del GLP en el sur México

Las emisiones de todos los estados suman 4.8 Mt CO<sub>2</sub>e de GLP y 6.6 Mt CO<sub>2</sub>e de leña (figura 2). Debido a la tasa de emisión mayor por energía entregada de la leña, en Chiapas, Oaxaca y Guerrero, donde la prevalencia de la ésta es superior al 40%, las emisiones de la biomasa duplican a aquéllas del GLP. Puebla y Veracruz, los más poblados, contribuyen juntos con un 26.8% de las emisiones. Solamente en Michoacán, Puebla y San Luis Potosí, las emisiones de GLP fueron ligeramente mayores. Chiapas, a pesar de tener un millón de habitantes menos que Puebla, debido al elevado uso de combustible por hogar, contribuye con 0.1 Mt CO<sub>2</sub>e más. Las emisiones anuales por persona oscilan entre 0.24 t (Michoacán) y 0.33 tons (Chiapas); a nivel nacional, las emisiones totales se han calculado en 3.5 t per cápita (OECD/IEA, 2013); como comparación, las emisiones totales de CO<sub>2</sub> por persona provenientes de la generación de electricidad fueron 1.1 t en 2010 en el país (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], 2015).

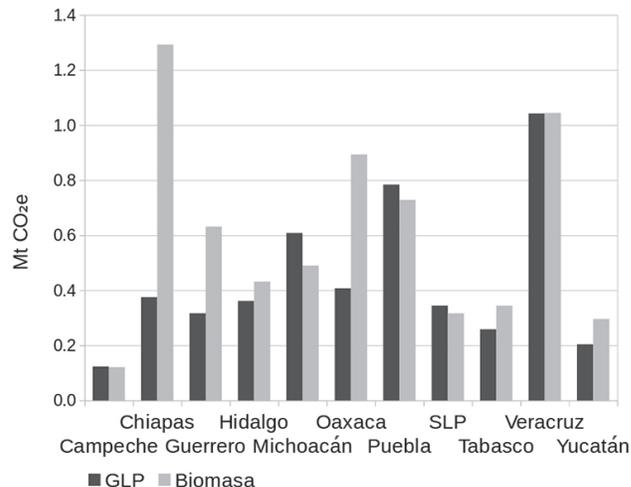


Figura 2. Emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes del uso de GLP y leña en el sur de México. Fuente: Elaborado a partir de INEGI (2015), Sener (2012) y Smith *et al.* (2005).

### Emisiones de CO<sub>2</sub> de distintos escenarios de transición de combustibles en el sur de México: oportunidades para la mitigación del cambio climático

Utilizando una proyección de población de la Comisión Nacional de Población, se elaboró una proyección de las emisiones de CO<sub>2</sub> bajo distintos escenarios, del año 2014 al 2020, en los estados con más de 25% de prevalencia de leña como combustible para cocinar. Se evaluaron tres escenarios: base, 50% y 75% de los hogares proyectados. El escenario base asume que el porcentaje de hogares utilizando leña permanece igual durante el periodo, como ha permanecido desde las últimas dos décadas; los dos otros escenarios representan los objetivos de tener 50% y 75% de los hogares proyectados migrando desde la leña hacia el GLP, para el año 2020, con tasas anuales de transición de 10.9% y 20.6%, respectivamente. Estos objetivos de transición homologarían la prevalencia con los del segundo grupo de uso de leña, entre 10% y 25%.

Los hogares que utilizan leña fueron proyectados según:

$$H_{F=1} = H_{it} \cdot S_i \cdot r^{t/T}, \quad (1)$$

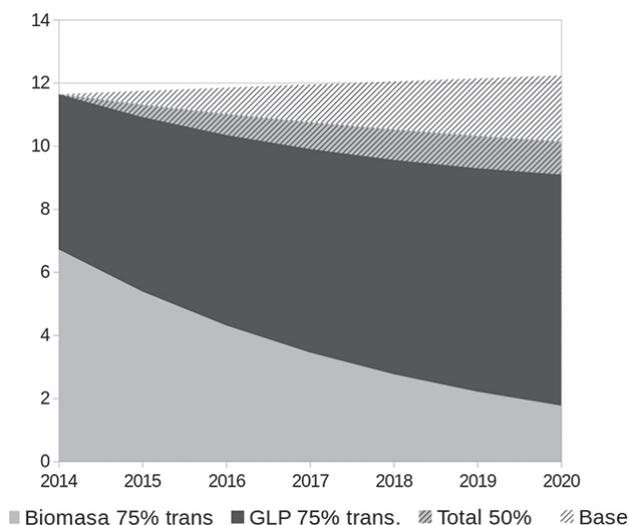
donde  $H_{it}$  es el número de hogares proyectados en el estado  $i$  en el año  $t$ , obtenido de la proyección de Consejo Nacional de Población (Conapo, 2015),  $S_i$  es la prevalencia promedio de las ENIGH 2000-2012 de los hogares utilizando leña en el estado  $i$ ,  $r$  es la razón de

transición (0.5 y 0.75),  $t$  es el año del periodo (0, 1, 2, ..., 6) y  $T$  es el total de años del periodo. Los hogares que utilizan GLP  $H_F = 2$  fueron calculados como la substracción de  $H_i - H_F = 1$ .

El consumo de energía para cocinar se asumió sin cambios para el periodo. Las emisiones de  $CO_2$  fueron calculadas según:

$$Emisiones\ CO_2\ totales = \sum_{i=1}^{11} \sum_{t=0}^T \sum_{F=1}^2 H_{itF} \cdot cf_F \cdot E_i \quad (2)$$

Para 2020, las emisiones totales serían 2.09 Mt  $CO_2e$  (16%) y 3.14 (26%) Mt  $CO_2e$  menores en comparación con el escenario base (12.23 Mt  $CO_2e$ ), respectivamente para los escenarios de 50% y 75% (figura 3). Los ahorros acumulados serían de 7.9 Mt  $CO_2e$  y 12.84 Mt  $CO_2e$  para todo el periodo, respectivamente. La reducción representaría un 0.46% (escenario 50%) y 0.69% (escenario 75%) del total de 450 Mt  $CO_2e$  para 2013 en México (Olivier, Janssens-Maenhout, Muntean & Peter, 2013). Trabajos previos han calculado una reducción máxima de emisiones de una transición a estufas ahorradoras de leña de 19.4 Mt  $CO_2e/año$  (Johnson, Alatorre, Romo & Liu, 2009). La eficiencia menor de la leña en cuanto a conversión en energía provocaría una subestimación, no una exageración, de los cálculos aquí presentados. La transición ayudaría a lograr el objetivo de una reducción de 30% de emisiones de  $CO_2e$  en el 2020, del escenario base del 2000 establecido en la Ley General de Cambio Climático (*Diario Oficial de la Federación* [DOF], 2012).



**Figura 3.** Emisiones de  $CO_2$  para cada escenario de transición en México. Fuente: Elaborado a partir de INEGI (2015), Sener (2012), Smith *et al.* (2005) y Conapo (2015).

## DISCUSIÓN

En el presente artículo se ha descrito un panorama de la magnitud del uso de leña en México, además de un análisis del ahorro en emisiones de  $CO_2$  que conllevarían distintos objetivos de transición hacia GLP, comparado con el escenario base de uso de leña en estufas ahorradoras. También se ha presentado una síntesis de las consecuencias ambientales que se han reportado en el país.

Además de las emisiones por la combustión, la contribución de la extracción de leña a la deforestación y la degradación de bosques y su consecuente contribución al cambio climático se reconoce en el programa mundial de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD+) de la ONU. Dicho programa busca mitigar, a través de crear un valor financiero para el carbono almacenado en los bosques, las emisiones del sector forestal, el cual aporta un 20% a nivel mundial y 6.7% a nivel nacional de las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI), superado sólo por el sector de generación de energía con 25.9% y 67.3% a nivel mundial y nacional, respectivamente (Comisión Nacional Forestal [Conafor], 2014). Por lo anterior, la transición energética cubriría un doble propósito en la reducción de emisiones de GEI: disminuir las emisiones por consumo doméstico de leña, debido a la mayor eficiencia del gas LP, contempladas en este trabajo, así como disminuir las emisiones por degradación y deforestación, las cuales están más allá de los cálculos aquí presentados.

Es importante resaltar que, además del uso doméstico, el uso industrial de la leña representa una demanda considerable, así como una competencia para los usuarios domésticos que la recolectan. En países de Asia y África, una gran parte de las industrias, sobre todo las tradicionales, como ladrilleras, molinos de aceites, panaderías y procesadoras de productos agrícolas, dependen de la leña (Alam & Starr, 2009; Lee *et al.*, 2015; Tahir, Rafique & Alaamer, 2010). Las emisiones de GEI provenientes de la degradación por la extracción insostenible de leña se han estimado entre 25% y 42% de las emisiones forestales totales en Asia tropical (Griscom *et al.*, 2009). En México también se requieren estudios sobre la magnitud del consumo de leña en este tipo de industrias, para evaluar los beneficios y diseñar un plan para la transición energética.

En las siguientes líneas se aborda una discusión sobre las barreras económicas, técnicas y políticas para la introducción del GLP en el sur de México, de los programas para mitigar el consumo de leña a través de la distribución de estufas ahorradoras, del rezago en

el desarrollo social, en términos de escolaridad, salud y productividad que presentan los grupos que usan leña frente a los que usan GLP, así como una descripción del deterioro ambiental actual en el sur mexicano, para entender mejor las oportunidades que la transición energética puede brindar.

## Barreras que impiden la transición a combustibles modernos

Se han señalado diversas barreras que obstaculizan la transición hacia los combustibles modernos, incluidas las sociales, tecnológicas, políticas y económicas. Desde el punto de vista social, respecto a la adopción de cualquier tecnología nueva, las tradiciones, prioridades y necesidades de los habitantes deben siempre ser tomadas en cuenta al planear la introducción de alguna innovación; en algunos casos, soslayar esto ha provocado el fracaso de programas con programas millonarios y en los que participan numerosas instituciones (Sovacool, D'Agostino & Jain, 2011). En el caso del GLP, la tecnología es bastante conocida entre la población, pero son otras barreras que afectan su penetración.

Algunos trabajos, como el de Ghilardi, Guerrero & Masera (2007), consideran la pertenencia de grupos étnicos como un factor que influye en la demanda de leña, con relación a su disposición para “cambiar sus tradiciones”; sin embargo, Ecuador, con un número mayor de indígenas y descendientes de africanos (Lizcano, 2005), ha tenido mucho éxito en la transición (SNPD, 2014).

La falta de conocimientos sobre los beneficios e incluso la existencia de alguna tecnología son otros factores sociales que afectan la transición (Sovacool *et al.*, 2011). Crear conciencia entre los usuarios de leña sobre las externalidades benéficas de la transición hacia GLP deberá ayudarles a sobrepasar la idea de que este combustible es caro, que pueden dedicarle mayor tiempo a otras actividades, incluidas aquéllas que pueden traer ingresos adicionales a la familia, en lugar de usar cerca de seis horas por semana, o 1.5 meses de trabajo al año, en promedio, a recolectar leña. Algunos trabajos han reportado la voluntad para cambiar a GLP de algunos usuarios de leña, por el “ahorro de tiempo” y considerando que “el GLP no humea, es más sencillo de usar y más rápido para cocinar” (Contreras-Hinojosa *et al.*, 2003), además de que otros usuarios potenciales reconocen los beneficios en la salud de la transición (Sierra-Vargas, Mejía & Guerrero, 2011).

El principal obstáculo técnico para la transición ha sido la distribución del GLP, la cual debe ser mejorada para alentar a las familias a usarlo. La leña es muy

accesible en el sur de México, por lo tanto, cualquiera que sea el sustituto que se pretenda utilizar debería ofrecer un suministro accesible y confiable. Aquellos usuarios de leña que han reconocido los beneficios del GLP aportan como razón que no lo utilizan porque “no llega a todos lados” (Quiroz & Cantú, 2012).

La barrera económica es a menudo considerada la más difícil de superar, bajo el argumento de que el GLP es muy caro para los pobres. Algunas encuestas han mostrado que las familias encuentran que el GLP es caro y que por eso no lo usan o que lo utilizan para tareas que requieren menos energía, como para recalentar comida, utilizando leña y ocasionalmente PET para cocinar la comida que requiere más energía (Orozco, Mireles, Jaimes & Gomora, 2012; Troncoso, Castillo, Masera & Merino, 2007). Pero, ¿es definitivamente más barata la leña que el gas? La respuesta varía entre los distintos casos, a menudo ocurriendo que el uso de leña tiene costos económicos más altos.

A nivel nacional, de acuerdo con la ENIGH, las familias en México pagan un promedio de 294 pesos MN por GLP, mientras que aquellas familias que, en lugar o además de recolectar, compran leña pagan 113 pesos MN al mes. Un estudio hecho en dos comunidades del Estado de México encontró que las familias que compran leña pagan un promedio de 600 pesos MN, y que estas familias formaban el 64% de la población muestreada (Orozco *et al.*, 2012). En Yucatán, las familias pagan hasta 480 pesos MN (Quiroz & Cantú, 2012) y entre 230 pesos MN y 450 pesos MN en Michoacán (Troncoso *et al.*, 2007). En todos los lugares mencionados en este párrafo, se reportaron algunos hogares con instalaciones para GLP, lo que indica que existe acceso a este combustible, además de comprobar así que en algunas circunstancias la economía no es una barrera, sino la falta de comprensión financiera, la cual es la incapacidad para entender conceptos económicos como *ahorros, crédito, deuda o retorno* (Sovacool *et al.*, 2011), lo que impide que los hogares transiten hacia el GLP. En la tabla 2 se presenta una comparación de las principales características entre la leña y el GLP.

Más allá de lo económico, las barreras políticas, como fijar prioridades para el desarrollo, son las más importantes por superar en el sur de México, una región rica en recursos energéticos: en 2013, Veracruz, Guerrero y Chiapas ocuparon el 1<sup>er</sup>, 3<sup>er</sup> y 5<sup>to</sup> lugar en generación de electricidad en el país, respectivamente, contribuyendo juntos con 27.4% de la generación total del sistema eléctrico nacional; además, Veracruz, Tabasco y Chiapas suman 45.2% de la producción terrestre de gas natural y 22.3% de la producción de crudo,

mientras que Campeche aporta 60% de la producción marina (Sener, 2013a). Con una visión más amplia y mayor voluntad política, se podría destinar una pequeña fracción de estos recursos o las ganancias provenientes de ellos para acelerar el desarrollo en la región, la cual es paradójicamente la que tiene menor nivel de electrificación y acceso a combustibles modernos. Bajo el actual régimen de mercado que impera en la distribución de gas, una situación que privilegia la venta de energía como mercancía a quien resulte más redituable (Elizalde & Gutiérrez, 2008), se tendrá que buscar la participación conjunta de los particulares y las agencias de estado para satisfacer las necesidades energéticas de la población. Asimismo, se debe mejorar la comunicación entre los investigadores y los tomadores de decisiones para crear “políticas basadas en evidencias científicas” (Gutsa, 2014).

**Tabla 2.**  
Comparación de características de emisión de contaminantes y económicas entre la leña y el GLP

	Leña	GLP
Factor de emisión de CO <sub>2</sub> por unidad energética g/MJ	308.2	125.6
Emisiones de material particulado, lb/MMBtus	28.0	0.0083
Gasto promedio mensual en el país, MX\$	113 (familias que compran leña)	294
Costo capital (de entrada) MX\$	0 (fogón de tres piedras) a 1491 (estufas ahorradoras entregadas por Sedesol/Conafor)	750 - 990 (estufa, tanque e instalación)
Estabilidad del precio	Sujeto a variaciones en la distancia de recolección	sujeta a variaciones de mercado y producción
Presencia en el sur de México	Disminuyendo por deforestación y degradación	suficiente
Sustentabilidad	Solo bajo un esquema de manejo	no
Principales riesgos asociados	Aspiración de contaminación intramuros. Riesgos durante recolección	Riesgo de explosión al escaparse y acumularse en hogares (existen estufas de seguridad)

Fuente: EPA (2000); INEGI (2015); Conafor (2011); Sener (2013a); OECD/IEA (2006).

La importancia de la transición hacia combustibles modernos se ha comenzado a reconocer en las políticas nacionales: la Estrategia Nacional Energética (ENE), la directriz nacional para la planificación energética, declara en su versión del 2013 que “junto con la salud y la educación, el acceso a los combustibles modernos es uno de los elementos democratizantes más importantes”; también expresa la necesidad de homologar los beneficios entre las poblaciones rurales y urbanas, ampliando el acceso a la energía a los más vulnerables, a través de la transición hacia combustibles modernos (Sener, 2013b). Asimismo, la polémica Reforma Energética reconoce que erradicar la pobreza energética es un elemento de alto impacto para alcanzar el desarrollo humano en México (Gobierno de la República, 2014).

### Estufas ahorradoras de leña en México

Desde principios de los años ochenta del siglo XX, en México se ha promovido el uso de estufas ahorradoras de leña para mitigar la intensidad de uso de leña y mejorar la calidad del aire intramuros; se reporta que éstas usan hasta 50% menos combustible, en comparación con los fogones tradicionales (Orozco *et al.*, 2012).

No obstante su eficiencia y los beneficios que producen en la salud al extraer el humo de los hogares, el uso de las estufas ahorradoras ha sido señalado como difícil y limitado, respecto a los alimentos que pueden ser cocinados en éstas (Soares, 2006). Además, no alivian totalmente la carga que representa la recolección de leña, y algunos estudios reportan una diferencia no significativa en el consumo de ésta entre hogares usando fogón abierto y los que usan estufas mejoradas (Ramírez-López *et al.*, 2012). También se ha reportado el efecto contrario, el de un incremento en el uso de leña en hogares que terminan usando ambas estufas una vez que son provistos con la estufa mejorada (Soares, 2006).

La distribución masiva de estufas mejoradas a través de programas gubernamentales no ha seguido estudios técnicos y sociales, con poco o ningún seguimiento durante el ciclo de vida de las estufas (Quiroz & Cantú, 2012), resultando esto en tasas de adopción muy bajas, con casos reportados donde únicamente 18% de las estufas distribuidas se encontraban funcionando después de tres años de entregas.

De entre los programas para la distribución de estufas mejoradas para las poblaciones vulnerables, la Conafor, a través del Programa para la Distribución de Estufas Ahorradoras de Leña, distribuyó 88 881 estufas mejoradas, con un presupuesto de

\$127 315 400.00 MN, entre 2008 y 2010, resultando en un costo unitario de \$1431.00 MN (alrededor de US\$110), incluyendo el transporte y costos operativos (Conafor, 2011). Estas estufas están hechas de concreto o barro y metal en el marco, chimenea y charola. La Red Mexicana de Bioenergía (Rembio) ha criticado estos programas por la baja calidad de las estufas distribuidas y por no considerar las necesidades de los usuarios (Rembio, 2010).

El costo inicial para comprar una estufa de GLP y un tanque oscila entre 750 y 1000 pesos MN de acuerdo con la OECD/IEA (2006). En México, no ha habido programas de equipamiento para la transición a GLP, pero es una práctica común para convencer a los electores potenciales durante las campañas políticas, repartir estufas de GLP, cuyo número o precio no está disponible al público. Estos esfuerzos efímeros, pero de gran escala, podrían dirigirse sistemáticamente a través de un cambio de la visión y voluntad política, quizá la barrera más difícil de flanquear en el sur de México, una región con abundantes recursos energéticos y, por lo tanto, amplio potencial económico, como se mencionó previamente.

### Consecuencias en el desarrollo humano del uso de leña

Previamente se mencionó que las personas que colectan leña dedican 5.2 h semanales a esta actividad, es decir, cerca de un día laboral, sumando 1.5 meses laborales al año; el efecto que esto tienen en la productividad en las personas económicamente activas se refuerza al observar que aquéllos que usan GLP reportan trabajar, consecuentemente, 6 h más por semana. Además del tiempo disponible para trabajar, el combustible usado también tiene relación con la dimensión educativa: el número de años de educación formal cursados por los usuarios de leña y GLP fueron 7.8 vs 10.7, respectivamente; aun más, la tasa de analfabetismo entre los que padecen pobreza energética alcanza 21.6%, comparado con un 4.6% para los que usan GLP (en mayores de 12 años). Estas cifras no indican causa-efecto, sino sencillamente una relación, pero sí sugieren que homologar los servicios energéticos podría disminuir el rezago que presentan los usuarios de leña. También en el porcentaje de niños nacidos muertos en el total de nacimientos, el dato sobre salud más accesible en las ENIGH muestra diferencias: 21% en los usuarios de leña frente a 12% en los de GLP. Aunado a lo anterior, se ha señalado que la exposición al humo de leña tiene un efecto genotóxico, dañando el ADN de las personas expuestas (Herrera-Portugal, Franco-Sánchez,

Pelayes, Schlottfeldt & Pérez, 2009). La ENIGH no diferencia entre estufas mejoradas y tradicionales, así que estas estimaciones de parámetros del desarrollo también incluyen a los hogares beneficiados con la aportación de estufas ahorradoras en el grupo de usuarios de leña (INEGI, 2015).

### Disminuir la presión por recursos en los ecosistemas del sur de México

Una externalidad positiva de la transición hacia GLP sería disminuir la presión por recursos en los ecosistemas nativos, en una región donde la pérdida de cobertura vegetal es crítica. De acuerdo con la Comisión Nacional para el uso y conocimiento de la Biodiversidad (Conabio), el bosque tropical lluvioso, totalmente localizado en los estados del sur, ha perdido 40.5% de su cobertura original, mientras que 73.5% ha sido deteriorada; el bosque de niebla, casi exclusivo de la región del sur, registra 40.9% de pérdida y 52.3% de deterioro (Sánchez-Colón, Flores-Martínez, Cruz-Leyva & Velázquez, 2009). La transición energética ayudaría a preservar estos recursos y a empoderar a los grupos vulnerables, conteniendo así la migración a las ciudades, además de favorecer la adaptación de las poblaciones rurales a los efectos del cambio climático.

Entre los estados del sur, Veracruz y Tabasco presentaron “tasas altas de deforestación” (entre 1% y 2% de pérdida) en el periodo 1973-1993, mientras que Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Hidalgo y Campeche tuvieron tasas medias-altas (entre 0.2% y 1%) para el mismo periodo (Aguilar, Martínez & Arriaga, 2000). La recolección de leña para cocinar acelera el deterioro de estos ecosistemas ya alterados, así como su capacidad para actuar como sumideros de carbono, ya sea por la tala o por la remoción de nutrientes del suelo.

### CONCLUSIONES

La transición hacia GLP debe ser asistida a través de programas bien diseñados cuyo objetivo sea mitigar el subdesarrollo, a través de mejorar la estructura de oportunidades entre los pobres. Entre las implicaciones políticas más trascendentales de este trabajo es la re-dirección de los esfuerzos económicos e institucionales, actualmente enfocados en proveer estufas ahorradoras, distribuir equipo para la migración hacia combustibles fluidos y promover subsidios iniciales para fomentar a los usuarios dicha la transición. Las agencias de gobierno involucradas en el desarrollo, energía y medio ambiente (Secretaría de Desarrollo Social [Sedesol], Senner, Semarnat y Conafor, en el caso de México) deberán trabajar con inversionistas privados para hacer

el mercado de GLP más atractivo en las regiones con escaso desarrollo socioeconómico, buscando evitar la necesidad de una compañía estatal que lleve el objetivo de suministrar universalmente un bien, como sucede con la electricidad y el agua. El trabajo presente debe ayudar a los tomadores de decisiones a considerar más ambiciosamente la transición a combustibles modernos en sus agendas y a diseñar las directrices para dicho cambio.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es parte de los resultados de la Red Nacional temática de investigación en Áreas Naturales Protegidas (RENANP) del Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (Conacyt). Los autores agradecemos a dos revisores anónimos, así como a la Mtra. Sonia Karina Aguirre Flores y a la Mtra. Flor Esther Aguilera Navarrete, por todo el tiempo y el esfuerzo dedicados a mejorar las primeras versiones de este manuscrito.

## REFERENCIAS

- Aguilar, C., Martínez, E., & Arriaga, L. (2000). Deforestación y fragmentación de ecosistemas: ¿Qué tan grave es el problema en México? *Biodiversitas*, 30(1), 7-11.
- Alam, S., & Starr, M. (2009). Deforestation and greenhouse gas emissions associated with fuelwood consumption of the brick making industry in Sudan. *Science of the total environment*, 407(2), 847-852.
- An, L., Lupi, F., Liu, J., Linderman, M., & Huang, J. (2002). Modeling the choice to switch from fuelwood to electricity. Implications for giant panda habitat conservation. *Ecological Economic*, 42(3), 445-457.
- Andadari, R., Mulder, P., & Rietveld, P. (2014). Energy poverty reduction by fuel switching. Impact evaluation of the LPG conversion program in Indonesia. *Energy Policy*, 66, 436-449.
- Cabrera-Pérez, S., Ochoa-Gaona, S., Mariaca, R., González-Valdivia, N., Guadarrama, M., & Gama, L. (2013). Vulnerabilidad por aprovechamiento y distribución de especies leñosas desde la perspectiva comunitaria en la reserva Cañón del Usumacinta, Tabasco, México. *Polibotánica*, 35(2), 143-172.
- Cherni, J., & Hill, Y. (2009). Energy and policy providing for sustainable rural livelihoods in remote locations – The case of Cuba. *Geoforum*, 40(4), 645-654.
- Comisión Nacional Forestal (Conafor) (2011). *Experiencia de la Comisión Nacional Forestal en la implementación de las estufas rurales ahorradoras de leña, programa nacional de dendroenergía*. Comisión Nacional Forestal, Zapopan. Recuperado en marzo de 2015 de [http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgcneca/2011\\_taller\\_estufas\\_pres\\_rmoresno.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgcneca/2011_taller_estufas_pres_rmoresno.pdf)
- Comisión Nacional Forestal (Conafor) (2014). *Estrategia Nacional para REDD+ (ENAREDD+)*. Comisión Nacional Forestal, Zapopan. Recuperado en noviembre de 2015 de [http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/35/5559Elementos%20para%20el%20dise%C3%B1o%20de%20la%20Estrategia%20Nacional%20para%20REDD\\_.pdf](http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/35/5559Elementos%20para%20el%20dise%C3%B1o%20de%20la%20Estrategia%20Nacional%20para%20REDD_.pdf)
- Consejo Nacional de Población (Conapo) (2015). *Proyecciones de la población 2010-2050*. Recuperado en marzo de 2015 de [http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones\\_Datos](http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones_Datos)
- Contreras-Hinojosa, J., Volke-Haller, V., Oropeza-Mota, J., Rodríguez-Franco, C., Martínez-Saldaña, T., & Martínez-Garza, A. (2003). Availability and Use of Fuelwood in Yanhuitlán County, Oaxaca. *Terra Latinoamericana*, 21(3), 437-445.
- Diario Oficial de la Federación (DOF) (2012). Ley Nacional de Cambio Climático. *Diario Oficial de la Federación*, 6 de junio, México, D.F.
- Elizalde, A., & Gutiérrez, G. (2008). Chile, ¿autosuficiencia o autismo energético? *Polis*, 7(21), 37-62. doi: 10.4000/polis.2845
- Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH) (2012). Recuperado el 20 de octubre de 2015 de <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/encuestas/hogares/regulares/enigh/enigh2012/ncv/default.aspx>
- Environmental Protection Agency (EPA) (2000). *Report: Greenhouse gases from small-scale combustion devices in developing countries*. Research Triangle Park, N.C.: Environmental Protection Agency.
- Food and Agriculture Organization (FAO) (2015). *On-line statistics query system*. Recuperado en marzo de 2015 de <http://faostat3.fao.org/download/F/FO/E>
- Gaye, A. (2008). *Human Development Report 2007/2008 Access to Energy and Human Development*. United Nations Development Program, Human Development Report office. Occasional paper 2007.
- Ghilardi, A., Guerrero, G., & Masera, O. (2007). Spatial analysis of residential fuelwood supply and demand patterns in Mexico using the WISDOM approach. *Biomass & Bioenergy*, 31(7), 475-491.
- Ghilardi, A., Guerrero, G., & Masera, O. (2009). A GIS-based methodology for highlighting fuelwood supply/demand imbalances at the local level: A case study for Central Mexico. *Biomass & Bioenergy*, 33(6-7), 957-972.
- Gobierno de la República (2014). *Iniciativa de decreto por el que se reforman los artículos 27 y 28 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. México, DF.
- Griscom, B., Ganz, D., Virgilio, N., Price, F., Hayward, J., Cortez, R. Dodge, G., Hurd, J., Lowenstein, F. L., & Stanley, B. (2009). *The hidden frontier of forest degradation: a review of the science, policy, and practice of reducing degradation emissions*. Arlington, VA: The Nature Conservancy.
- Gutsa, I. (2014). Climate change and policy making in Zimbabwe. In search of evidence based policy making? *Acta Universitaria*, 24(6), 21-28.
- Herrera-Portugal, C., Franco-Sánchez, G., Pelayes Cruz, Schlotfeldt Trujillo, Y., & Pérez Solís, B. (2009). Daño al ADN en mujeres expuestas al humo y la leña en Chiapas, México. *Acta Toxicológica Argentina*, 17(2), 56-61.

- Islas, J., Manzini, F., & Masera, O. (2007). A prospective study of bioenergy use in Mexico. *Energy*, 32(12), 2306-2320.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2015). *Sistema de acceso a microdatos*. México: INEGI. Recuperado en marzo de 2015 de <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/accesomicrodatos/>
- Johnson, T., Alatorre, C., Romo, Z., & Liu, F. (2009). *Low carbon development for Mexico, conference edition*. Washington, D.C.: World Bank.
- Lee, S., Kim, Y., Jaung, W., Latifah, S., Afifi, M., & Fischer, L. (2015). Forests, fuels and livelihoods -energy transition patterns in eastern Indonesia. *Energy Policy*, 85, 61-70.
- Lizcano, F. (2005). Composición étnica de las tres áreas culturales del continente americano al comienzo del siglo XXI. *Revista Argentina de Sociología*, 12(38), 185-232.
- López-Barrera, F., Manson, R., & Landgrave, R. (2014). Identifying deforestation attractors and patterns of fragmentation for seasonally dry tropical forest in central Veracruz, Mexico. *Land Use Policy*, 41, 274-283.
- Naughton-Treves, L., Kammen, D., & Chapman, C. (2007). Burning biodiversity: Woody biomass use by commercial and subsistence groups in western Uganda's forests. *Biological Conservation*, 134(2), 232-241.
- Nautiyal, S. (2013). A transition from wood fuel to LPG and its impact on energy conservation and health in the Central Himalayas, India. *Journal of Mountain Science*, 10(5), 898-912.
- Ochoa-Gaona, S., & Gonza, M. (2000). Land use and deforestation in the highlands of Chiapas, Mexico. *Applied Geography*, 20(1), 17-42.
- Olivier, J., Janssens-Maenhout, G., Muntean, M., & Peter, J. (2013). *Trends in global CO<sub>2</sub> emissions: 2013 report*. The Hague: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.
- Organisation for Economical Co-operation and Development (OECD)/International Energy Agency (IEA) (2006). *World energy outlook*. Paris: International Energy Agency, Head of Publication Service/Organization for Economic Co-operation and Development.
- Organisation for Economical Co-operation and Development (OECD)/International Energy Agency (IEA) (2013). *CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion*. Paris: International Energy Agency, Head of Publication Services, Organization for Economic Co-operation and Development.
- Orozco, M., Mireles, P., Jaimes, S., & Gomora, B. (2012). Using Wood-Saving Stoves in Two Indigenous Communities in Mexico. *Ambiente y Desarrollo*, 16(31), 91-105.
- Quiroz, J., & Cantú, C. (2012). El fogón abierto de tres piedras en la península de Yucatán: tradición y transferencia tecnológica. *Pueblos y Fronteras*, 7(13), 270-301.
- Quiroz-Carranza, J., & Orellana, R. (2010). Uso y manejo de leña combustible en viviendas de seis localidades de Yucatán, México. *Madera y Bosques*, 16(2), 47-67.
- R Core team (2014). *R: A language and environment for statistical computing*. R foundation for statistical computing.
- Ramírez-López, J., Ramírez-Marcial, N., Cortina-Villar, H., & Castillo-Santiago, M. (2012). Déficit de leña en comunidades cafetaleras de Chenalhó, Chiapas. *Ra Ximhai*, 8(3), 27-39.
- Red Mexicana de Bioenergía (Rembio) (2010). *Pronunciamento de la Red Mexicana de Bioenergía sobre el Programa Nacional de Estufas Ahorradoras de Leña del Gobierno Federal*. Morelia: Red Mexicana de Bioenergía, Morelia. Recuperado en marzo de 2015 de [http://www.anes.org/anes/formularios/Descargas/Pronunciamento\\_Estufas\\_Mexico\\_REMBIO\\_julio.pdf](http://www.anes.org/anes/formularios/Descargas/Pronunciamento_Estufas_Mexico_REMBIO_julio.pdf)
- Rosas-Flores, J., & Gálvez, D. (2010). What goes up: Recent trends in Mexican residential energy use. *Energy*, 35(6), 2596-2602.
- Sánchez-Colón, S., Flores-Martínez, A., Cruz-Leyva, I., & Velázquez, A. (2009). Estado y transformación de los ecosistemas terrestres por causas humanas. En *Capital natural de México* (vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio, pp. 75-129). México: Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad (Conabio).
- Secretaría de Energía (Sener) (2003). *Balance nacional de energía 2002*. México: Sener.
- Secretaría de Energía (Sener) (2011). *Balance nacional de energía 2010*. México: Sener.
- Secretaría de Energía (Sener) (2012). *Precios de gas LP por estado*. Recuperado el 20 de agosto de <http://www.energia.gob.mx/res/91/Precios.xls>
- Secretaría de Energía (Sener) (2013a). *Sistema de información energética*. México: Sener. Recuperado en diciembre de 2014 de <http://sie.energia.gob.mx/>
- Secretaría de Energía (Sener) (2013b). *Estrategia nacional de energía*. México: Sener.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) (2015). *Registro de emisiones y transferencia de contaminantes*. Recuperado en diciembre de 2014 de <http://app1.semarnat.gob.mx/retc/>
- Secretaría Nacional de Planeación y Desarrollo (SNPD) (2014). *Sistema Nacional de Información*. Ecuador. Recuperado en diciembre de 2014 de <http://app.sni.gob.ec/web/menu/>

- Sheinbaum, C., & Masera, O. (2000). Mitigating carbon emissions while advancing national development priorities: the case of Mexico. *Climatic Change*, 47(3), 259-282.
- Sheinbaum-Pardo, C., & Ruiz, B. (2012). Energy context in Latin America. *Energy*, 40(1), 39-46.
- Sierra-Vargas, F., Mejía-B., F. & Guerrero, C. (2011). Firewood as domestic fuel in rural zones from Usme, Bogotá. *Informador Técnico*, 75(1), 30-39.
- Smith, K., Rogers, J., & Cowlin, S. (2005). *Household Fuels and Ill-Health in Developing Countries: What improvements can be brought by LP Gas?* Paris: World LP Gas communication SARL.
- Soares, D. (2006). Género, leña y sostenibilidad: el caso de una comunidad de los Altos de Chiapas. *Economía, Sociedad y Territorio*, 6(21), 151-175.
- Sovacool, B. (2012). The political economy of energy poverty: A review of key challenges. *Energy for Sustainable Development*, 16(3), 272-282.
- Sovacool, B., D'Agostino, A. L., & Jain Bambawale, M. (2011). The socio-technical barriers to Solar Home Systems (SHS) in Papua New Guinea: "Choosing pigs, prostitutes, and poker chips over panels". *Energy Policy*, 39(3), 1532-1542.
- Tahir, S., Rafique, M., & Alaamer, A. (2010). Biomass fuel burning and its implications: Deforestation and greenhouse gases emissions in Pakistan. *Environmental Pollution*, 158(7), 2490-2495.
- Troncoso, K., Castillo, A., Masera, O., & Merino, L. (2007). Social perceptions about a technological innovation for fuelwood cooking: Case study in rural Mexico. *Energy Policy*, 35(5), 2799-2810.
- United Nations Development Programme (UNDP) (2007). *Energizing Poverty Reduction*. New York: United Nations Development Programme.