

# BES

BOSQUES | ENERGÍA | SOCIEDAD



OCDM  
OBSERVATORIO DE  
LOS COMBUSTIBLES  
RENOVABLES DE LA  
MADERA

BES | Nº 1 | AÑO 1  
OCTUBRE 2015



**EL DILEMA DE LA LEÑA,**  
¿cómo reducir la contaminación del aire  
sin incrementar el costo en calefacción?

# BES

BOSQUES | ENERGÍA | SOCIEDAD

Informes BES | Número 01 | Año 01 | OCT. 2015

**Producción y diagramación:** Verónica Ortega **Editor general:** René Reyes **Comité editor:** Este artículo fue publicado en la Revista Energy for Sustainable Development 28 (2015) 75-87. **Editor periodístico:** Richard Velasquez **Colaboradores:** Santiago Barros, Banco de fotografías Agrupación de Ingenieros Forestales por el Bosque Nativo, Empresa de Calefacción Kalor, Verónica Ortega.

UNA PUBLICACIÓN:



**OCDM** | OBSERVATORIO DE  
LOS COMBUSTIBLES  
DERIVADOS DE LA  
MADERA



**INFOR**

**Instituto Forestal**  
Sucre 2397 Ñuñoa  
Santiago, Chile  
Fono. 223669115

[www.infor.cl](http://www.infor.cl)

ISSN N°

Reg. Propiedad Intelectual N°

Se autoriza la reproducción parcial de esta publicación siempre y cuando se efectúe la cita correspondiente:

INFOR, 2015. El Dilema de la Leña. ¿Cómo reducir la contaminación del aire sin incrementar el costo en calefacción?. En: Boletín BES, Bosques - Energía - Sociedad, Año 1 N° 1. Octubre 2015. Observatorio de los Combustibles Derivados de la Madera OCDM. Instituto Forestal, Chile. p. 22

---

# índice

**03** RESUMEN

---

**04** 1. INTRODUCCIÓN

---

**07** 2. MATERIAL Y  
MÉTODOS

---

**10** 3. RESULTADOS Y  
DISCUSIÓN

---

**15** 4. CONCLUSIONES  
E IMPLICACIONES  
POLÍTICAS

---

**17** 5. REFERENCIAS

---

**20** APÉNDICES

---

# EL DILEMA DE LA LEÑA, ¿cómo reducir la contaminación del aire sin incrementar el costo en calefacción?

René Reyes<sup>a,b,\*</sup>, Harry Nelson<sup>b</sup>, Fabián Navarro<sup>c</sup>, Constantino Retes<sup>d</sup>

\*Autor de correspondencia: <sup>a</sup>Instituto Forestal, Fundo Teja Norte s/n, Valdivia, Chile, Tel.: +56 63 2335200, rreyes@infor.cl

<sup>b</sup>University of British Columbia, Faculty of Forestry, Department of Forest Resources Management, 2045-2424 Main Mall, Vancouver, BC, V6T1Z4, Canadá, Tel.: +1 604 8223482,

<sup>c</sup>Consultor en energías limpias, 202-1686 W 12th Avenue, Vancouver, BC, V6J2E4, Canadá

<sup>d</sup>Consultor en energías limpias, 201-1575 W 12th Avenue, Vancouver, BC, V6J2E2, Canadá

## RESUMEN

Para mitigar el cambio climático se deben desarrollar alternativas a los combustibles fósiles, mientras se buscan vías para aumentar la resiliencia de los sistemas socio-ecológicos, especialmente de aquellos que dependen de los bienes y servicios que proveen los ecosistemas. En ese contexto, la biomasa forestal está recibiendo mucha atención como fuente de energía renovable; aunque al mismo tiempo un aumento en el uso de estos combustibles puede asociarse a problemas de salud, y a procesos de deforestación y degradación de los bosques. Por ello, cuando el consumo de estos combustibles es significativo se elaboran políticas para desincentivar su uso y “escalar” hacia fuentes de energía “más modernas”. A partir de un caso de estudio en Chile, donde la contaminación del aire producida por la combustión residencial de leña ha llegado a ser un problema serio, mostramos que tales políticas si bien podrían reducir la contaminación atmosférica en el corto plazo, probablemente no mejorarán el bienestar de la población o la sustentabilidad en el uso de los recursos naturales. A través de un análisis general a los subsistemas energía y recursos, y al contexto socioeconómico dentro del cual los combustibles derivados de la madera son utilizados, se plantea que una combinación de acciones orientadas a la adopción de tecnologías de ahorro de energía, manteniendo a la biomasa forestal como fuente de energía primaria, producirían mayores beneficios sociales, ambientales y económicos, que diseñar políticas orientadas a eliminar el uso de estos combustibles.

**Palabras clave** | leña, calefacción, contaminación del aire, pobreza de energía, gases de efecto invernadero (GEI), Chile

## 1. INTRODUCCIÓN

Los combustibles derivados de la madera<sup>1</sup> son utilizados por 2.800 millones de personas, especialmente en países en vías de desarrollo (Food and Agricultural Organization of the United Nations, FAO, 2010; Bonjour et al., 2013), y representan el 9% de la matriz de energía primaria a nivel mundial (International Energy Agency, IEA, 2014). El 52% de la cosecha anual de madera se utiliza como combustible (FAO, 2015), siendo Asia, África y América Latina los mayores consumidores de combustibles derivados de la madera con el 42%, 32% y 17% del volumen total, respectivamente (FAO, 2010). Los impactos asociados al uso de combustibles derivados de la madera dependen del tipo de biomasa utilizada, y la forma en que éstos son producidos y consumidos. En África y Asia, regiones que han concentrado la investigación relativa a este tema, la biomasa forestal se emplea en cocinas a leña de baja eficiencia o

en fogones abiertos, lo cual se observa también en algunas regiones de América Latina. Sin embargo, en los países más desarrollados de Sudamérica (Uruguay, Argentina y Chile), los combustibles derivados de la madera son ocupados principalmente para cocina y calefacción en áreas rurales y para calefacción en zonas urbanas, utilizando equipos de mayor eficiencia (Costa y Delgado, 2001; Reyes, 2013). En estos países se utiliza gas natural o gas propano (GLP) para cocinar, especialmente en áreas urbanas<sup>2</sup>. En Norteamérica y en Europa el uso de biomasa forestal está creciendo, especialmente el consumo de pellets (*Imagen 1*), los cuales son producidos a partir de desechos forestales (Goh et al., 2013). Éstos se utilizan tanto para calefacción residencial como para generación de electricidad. Existen distintas políticas en relación a los combustibles derivados de la madera. En Europa y Norteamérica se promueve su utilización, especialmente en forma de pellet, como una manera

de reducir el consumo de combustibles fósiles (Lundmark y Mansikkasalo, 2009; Sikkema et al., 2011). En otras regiones, el consumo de combustibles derivados de la madera se asocia a problemas de salud, debido a contaminación intradomiciliaria<sup>3</sup> y contaminación atmosférica por material particulado fino (Lim et al., 20112). En el África Sub-Sahariana y el sur de Asia los problemas de salud relativos a contaminación intradomiciliaria representan entre el 4% y el 6% del total de años perdidos por discapacidad y muerte prematura (DALY<sup>4</sup>), mientras que en Chile representan sólo el 0,75%. En el sur de Chile, el consumo de combustibles derivados de la madera está asociado más bien a contaminación atmosférica, generando más del 80% del material particulado fino (Ministerio de Medio Ambiente, 2013), con un significativo impacto en la salud pública (Secretaría de Medio Ambiente Región de Los Ríos, 2014). Por otra parte, se ha generado un extenso debate sobre el rol que cumplen los combustibles derivados de la madera en

<sup>1</sup> Todo tipo de biocombustibles obtenidos de forma directa o indirecta de la biomasa forestal (FAO, 2004).

<sup>2</sup> A diferencia de África y Asia, en América Latina los combustibles derivados de la madera se utilizan también en el sector industrial (fábricas de acero y cerámicas, plantas de producción de alimentos y bebidas, plantas lecheras, aserraderos e industrias forestales, etc.), el comercio (restaurantes, panaderías, hoteles, etc.) y en instituciones públicas (hospitales, colegios, municipalidades, etc.) (Baker et al., 2014; Ministerio de Minas y Energía de Brasil, 2009; Reyes, 2013).

<sup>3</sup> El humo que se produce por combustión de biomasa forestal y otros materiales en lugares sin ventilación, es un promotor importante de enfermedades respiratorias, enfermedades cardiovasculares, entre otras (Srogi, 2007; Fullerton et al., 2008; Pénard-Morand et al., 2010). La contaminación intradomiciliaria produce aproximadamente 3,5 millones de muertes y 108 millones de años de vida perdidos por discapacidad y muerte prematura a nivel mundial (Lim et al., 2012). Esto ha dado pie a muchas iniciativas de investigación y desarrollo orientadas a la promoción de nuevas cocinas, el uso de combustibles más limpios, etc. (Kanagawa y Nakata, 2007; Ruiz-Mercado et al., 2011).

<sup>4</sup> Este factor refleja la cantidad de años perdidos debido a malas condiciones de salud, discapacidad o muerte temprana (Murray, 1994) y es una medida común utilizada en salud pública para capturar mejor los impactos sobre la salud, más allá de las cifras de mortalidad.

la pérdida y degradación de bosques, el cual se inició en los años 70 con la publicación de *The Other Energy Crisis* (Eckholm, 1977). Si bien la incidencia de la producción de combustibles derivados de la madera sobre la deforestación sigue siendo un tema controversial (Bensel, 2008; Bhatt y Sachan, 2004), se ha aceptado que la extracción desmedida de madera para combustible contribuye a degradar los bosques (Ahrends et al., 2010; FAO, 2010). No obstante, el balance entre oferta y demanda, y la potencial sobre cosecha, varía significativamente entre países y regiones (Bailis et al., 2015), siendo algunos países asiáticos y africanos los que tienen los mayores consumos de biomasa no renovable (Bailis et al., 2015).

Gran parte del análisis y de las preocupaciones sobre el impacto social y ambiental del consumo de combustibles derivados de la madera se ha basado en la experiencia de lugares como India, China y el África Sub-Sahariana, donde la pobreza, la alta densidad de población y otros factores crean un escenario complejo para el consumo de estos combustibles. En cambio, Chile (y otras regiones de América Latina) presenta un escenario diferente, con: a) mayores niveles de ingreso y desarrollo; b) una

mejor gobernanza de los bosques; y c) una demanda orientada principalmente a calefacción (*Imagen 2*).

Es así como Chile ofrece la oportunidad de analizar el tema de los combustibles derivados de la madera en un escenario distinto, en el cual una gran demanda (28% de la matriz de energía primaria; CNE, 2014) se asocia a una baja tasa de deforestación (Zamorano et al., 2014). De esta forma, los problemas asociados al uso de combustibles derivados de la madera no implican necesariamente eliminarlos de la matriz, llevando a los usuarios peldaños arriba en la escala de los combustibles (desde “menos modernos” a “más modernos”), sino más bien analizar el problema en toda su magnitud, implementando políticas que optimicen el bienestar de la población más allá de los indicadores de contaminación atmosférica.

### 1.1. SITUACIÓN EN CHILE

En las últimas cuatro décadas Chile ha experimentado un rápido desarrollo, lo que ha mejorado considerablemente las condiciones socioeconómicas de la población. Según el Banco Mundial (2014), el ingreso per cápita (21.000 USD/

año) y la expectativa de vida (80 años) en Chile son comparables con los de países desarrollados, así como también sus niveles de pobreza y corrupción, lo que permite clasificar al país como un caso exitoso de desarrollo (Ramírez y Silva, 2008; Rehner et al., 2014). Al mismo tiempo, Chile es uno de los países con mayor consumo de madera per capita en el mundo (Bailis et al., 2015), existiendo una fuerte variación regional, determinada por diferencias en la disponibilidad de recursos y factores climáticos. El consumo de combustibles derivados de la madera por parte del sector industrial está más concentrado en la zona central de Chile (entre las regiones de Valparaíso y Biobío), donde la actividad económica es más intensa, mientras que el consumo residencial se concentra en el sur del país debido al clima. El consumo promedio de combustibles derivados de la madera en el sector residencial urbano en la zona central de Chile es de 1 m<sup>3</sup>/hogar/año, a diferencia de los 18 m<sup>3</sup>/hogar/año que se utilizan en la Patagonia<sup>5</sup> (Reyes, 2013). El consumo de combustibles derivados de la madera está profundamente arraigado en las tradiciones y la cultura chilena, dada la abundancia de biomasa forestal, la escasez relativa y el alto costo de los combustibles fósiles, y la existencia de inviernos fríos y lluviosos (Burschel et al., 2003). El mercado de los combustibles derivados de la madera es muy importante también desde el punto de vista socioeconómico, ya que genera empleo para unas 60.000 personas en la cadena de suministro y otros servicios relacionados con el sector (mantención de calefactores y cañones, comercialización de insumos, y otros) (Burschel et al., 2003). El mercado de la leña representa una importante fuente de ingreso para miles de pequeños y medianos propietarios (*Imagen 3*), especialmente en invierno, cuando la actividad agrícola disminuye, y en períodos de recesión. En este documento se analiza el caso de la ciudad de Valdivia, en el sur de Chile,



*Imagen 1: Pellets elaborado a partir de aserrín, el cual es comercializado en la ciudad de Valdivia para calefacción residencial.*



*Imagen 2: Calefactor a leña del tipo “combustión lenta” en el interior de una vivienda valdiviana.*

<sup>5</sup> Metro cúbico sólido. 1m<sup>3</sup> sólido = 1,5625 m<sup>3</sup> estéreo (leña apilada con espacio entre las piezas de madera).

Imagen 3: Productor de leña de la Región de los Ríos (leña producida a partir de bosques nativos).



con el fin de mostrar el impacto potencial que tendrían políticas orientadas a limitar o eliminar el consumo de combustibles derivados de la madera, versus políticas alternativas. Valdivia es la ciudad más grande de la Región y es representativa de otras ciudades del sur, tanto en términos demográficos como de las características socio-ambientales relacionadas con el consumo de leña. Además, se han realizado varios estudios en Valdivia en las últimas dos décadas, lo que permite realizar un análisis más integral del tema.

## 1.2. EL PROBLEMA DE LA LEÑA EN VALDIVIA

El consumo de combustibles derivados de la madera (principalmente leña) en la ciudad de Valdivia fue de 211.000 m<sup>3</sup>/año (Reyes y Frene, 2006), siendo consumidos por el 84% de los hogares, básicamente para calefacción, con un promedio de 8.3 m<sup>3</sup>/hogar/año (Reyes y Frene, 2006). Incluso en el decil socioeconómico más alto (ingreso promedio superior a 70.000 US\$/hogar/año) el 62% de los hogares usa leña, lo cual deja en evidencia que el consumo de estos combustibles no está asociado a pobreza, sino más bien a una mezcla de factores: costumbres, disponibilidad, confort, entre otros (Reyes y Frene, 2006), tal como ha sido reportado en otros países (Hiemstravan der Horst y Hovorka, 2008).

Una de las consecuencias de esta situación ha sido la contaminación por material particulado respirable. Desde 2008, año en que comienza a implementarse el Programa de Monitoreo de la Calidad del Aire en Valdivia, las concentraciones de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> han sobrepasado frecuentemente los límites permitidos<sup>6</sup> (Ministerio de Medio Ambiente, 2015). En 2014, Valdivia fue declarada zona saturada por material particulado (PM<sub>10</sub>), requiriendo la elaboración de un Plan de Descontaminación Ambiental. Entre las medidas propuestas está reemplazar a

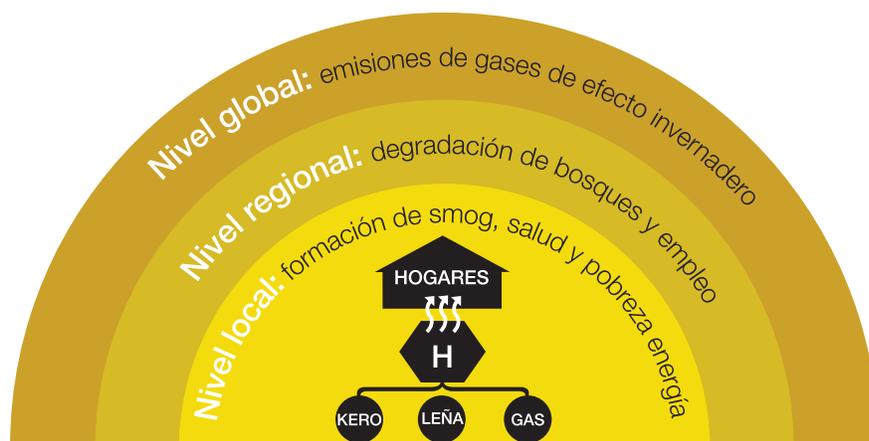
los combustibles derivados de la madera por gas licuado u otros derivados del petróleo. Sin embargo, la experiencia internacional muestra que el reemplazo de combustibles tradicionales por derivados del petróleo, normalmente a través de prohibiciones o/y subsidios, no ha sido realmente efectivo (Gangopadhyay et al., 2005; Hosier y Kipondya, 1993; Pitt, 1985). La sustitución de un combustible por otro no es un proceso lineal, en especial cuando son varias las fuentes de energía que se utilizan simultáneamente para satisfacer las necesidades de la familia (Hiemstravan der Horst y Hovorka, 2008). Es en torno a este tema que se plantea la pregunta central de este estudio: ¿cuáles son los costos y beneficios de sistemas de calefacción basados en combustibles derivados de la madera versus alternativas fósiles, y cuáles ofrecen los mayores beneficios sociales y ambientales, con foco en el bienestar de los residentes de Valdivia?

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

Estas preguntas son respondidas a través de un análisis detallado del sistema de calefacción residencial (SCR) de Valdivia,

incluyendo aspectos ambientales y sociales (Figura 1). Para esto se utiliza la metodología de Análisis de Ciclo de Vida en el cual se analizan los impactos ambientales del SCR, tanto a nivel local como global, comparando distintos tipos de fuentes de energía y calefactores. El Análisis de Ciclo de Vida se complementa con un análisis social, evaluando el sistema de calefacción residencial en términos de salud pública, pobreza de energía y empleo. Los cambios se evalúan en relación al *statu quo*, asumiendo que cualquier iniciativa que se proponga disminuiría el consumo de combustibles derivados de la madera, pero no lo reemplazaría completamente (suponiendo que los cambios en las preferencias de los usuarios y las políticas son graduales). Por consiguiente, no se asumen cambios importantes en inversiones de capital o infraestructura, ni la adopción de tecnologías que no estén actualmente en uso (aunque estén siendo usadas en forma limitada). Finalmente, se concluye con algunas propuestas de política pública para alcanzar de mejor forma objetivos sociales y ambientales, mejorando no sólo la salud humana sino más bien, en términos más amplios, el bienestar de las personas y el medio ambiente.

Figura 1.  
Modelo analítico



<sup>6</sup> Esto es 150 y 50 ug/m<sup>3</sup> promedio 24 horas, para PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, respectivamente (Ministerio de Medio Ambiente, 2013). La información muestra que PM<sub>2.5</sub> es dominante en el total de PM<sub>10</sub> (Ministerio de Medio Ambiente, 2015).

La clave para establecer un nuevo marco de análisis está en definir adecuadamente los límites de los sistemas a estudiar. En este documento definimos tres niveles de análisis: local, regional y global. La escala local corresponde a la ciudad de Valdivia, donde se requiere energía para satisfacer necesidades de calefacción. A ese nivel se analizan la formación de smog, la salud humana y la pobreza de energía. La escala regional corresponde a la Región de Los Ríos, donde los combustibles derivados de la madera utilizados en la ciudad de Valdivia son producidos y comercializados. En este nivel se analiza el impacto que tiene la demanda valdiviana de combustibles derivados de la madera sobre el empleo y la conservación de los bosques nativos. Finalmente, dado que las emisiones también contribuyen a la creación de gases de efecto invernadero (GEI), se emprende un análisis global para capturar el rango completo de emisiones que se producen durante el proceso de extracción, refinación y transporte de los combustibles, y su aporte al calentamiento global.

## 2.1. ÁREA DE ESTUDIO

Valdivia es la capital de la Región de Los Ríos (39°48'50"S - 73°14'45"O), ciudad ubicada en el sur de Chile con 154.000 habitantes (Instituto Nacional de Estadísticas, INE, 2012). La Región de Los Ríos se caracteriza por un clima oceánico (Cfb), parecido al de Nueva Zelanda, Reino Unido, los Estados de Washington y Oregon en los Estados Unidos, y la Provincia de British Columbia en Canadá (Peel et al., 2007). Las precipitaciones anuales promedian 1.800 mm y la temperatura 12.9°C (Castillo, 2001). Estas condiciones implican una alta demanda de energía para calefacción. La ciudad de Valdivia tiene 40.000 viviendas (INE, 2012), de las cuales el 84% utiliza leña, el 29% gas licuado y el 9% parafina para calefacción

(Reyes y Frene, 2006). La suma de los porcentajes supera el 100% ya que casi un tercio de las viviendas combina dos o tres combustibles, aunque en general prevalece el uso de leña. La parafina se usa sobretudo en familias de ingresos bajos, mientras que los hogares de ingresos medios y medio-altos utilizan gas licuado (Reyes y Frene, 2006). La parafina y el gas licuado son los combustibles más usados para complementar o reemplazar a la leña. Según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 1996), las estufas a leña usadas en Valdivia pueden ser clasificadas como "convencionales" (eficiencia del 45%) y "no catalíticas" (eficiencia del 60%), las que representan el 56% y el 44% del total de equipos, respectivamente (Ambiente Consultores, 2007; Reyes y Frene, 2006; Ulloa et al., 2011). La estufa a leña convencional no tiene ningún mecanismo o característica de diseño que sirva para reducir las emisiones, siendo dos de las más comunes la "cocina chilota"<sup>7</sup> y la "salamandra". Por otra parte, la estufa no catalítica más común es la "estufa de combustión lenta". Este aparato tiene una segunda cámara de combustión, pequeña, que complementa la cámara principal<sup>8</sup> (Ambiente Consultores, 2007; Ulloa et al., 2011). En el sector residencial se usan también las estufas a gas licuado (GLP) y a parafina (Imagen 4). Ambos sistemas son más eficientes, pues son capaces de convertir casi toda la energía primaria en calor, a pesar de que también producen contaminación intradomiliaria debido a la ausencia de ductos de la extracción de gases (Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad Católica de Chile, DICTUC, 2011). Se asumió una eficiencia del 100% para ambos tipos de estufas (gas licuado y parafina<sup>9</sup>). En el caso de los combustibles derivados de la madera se asume que toda la energía se usa en calefacción.



Imagen 4: Estufa a gas y hongos en cara interior del muro por condensación superficial.

## 2.2. IMPACTOS SOCIALES Y AMBIENTALES

### 2.2.1. Impactos ambientales

La unidad funcional para el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) fue definida como "megajoule (MJ) de calefacción efectiva" (calor total producido a partir de los combustibles menos el calor perdido a través de los ductos de descarga). Se definieron dos niveles de análisis: local (para formación de smog) y global (para gases de efecto invernadero). El nivel global incluye todos los procesos asociados al suministro de combustible, incluyendo su consumo final. El ACV considera cuatro diferentes fuentes de energía y tecnologías de calefacción: estufa a leña convencional, estufa a leña no catalítica, estufa a parafina y estufa a gas licuado. En el caso de las estufas a leña, el proceso empieza con la extracción de leña desde el bosque. Esta etapa implica el uso de gasolina para hacer funcionar la motosierra que se utiliza en la cosecha y trozado de madera. En la etapa del transporte se utilizan camiones diésel para transportar la leña del campo a la ciudad, donde finalmente se quema para producir calor. La información necesaria

<sup>7</sup> <http://www.flickr.com/photos/pbb/5204262659/>

<sup>8</sup> [http://images03.olx.cl/ui/8/92/04/1279924001\\_106568804\\_1-Fotos-de-ESTUFA-BOSCA-NUEVA-1279924001.jpg](http://images03.olx.cl/ui/8/92/04/1279924001_106568804_1-Fotos-de-ESTUFA-BOSCA-NUEVA-1279924001.jpg)

<sup>9</sup> La eficiencia de estufas sin ventilación se suele evaluar al 99-100%. La mayor parte de la energía que se produce en la combustión se vuelve a recuperar en forma de agua que se condensa sobre las superficies de las habitaciones. Se supone que el equipo está adecuadamente calibrado con la proporción ideal de combustible y aire.

para caracterizar la cadena de suministro fue obtenida de Medel (2008).

En el caso de las estufas a parafina y gas licuado, el proceso comienza con la extracción de petróleo desde pozos. Después de eso, el petróleo se transporta en buques a refinerías chilenas, las que se encuentran en la zona central del país. Los buques petroleros funcionan con petróleo pesado (heavy oil)<sup>10</sup>. En las refinerías el petróleo se convierte en parafina y gas licuado, transportándose a Valdivia en camiones diésel donde finalmente es consumido. Cada combustible utilizado en el proceso de suministro tiene distintas procedencias, lo que determina la distancia promedio recorrida por los buques-tanque. Los datos de procedencia fueron proporcionados por la Comisión Nacional de Energía (CNE, 2012), mientras que las distancias promedio se estimaron en base a Google Earth.

Todas las emisiones generadas en el proceso de extracción y refinación de petróleo y derivados, utilizados en el transporte, fueron estimadas en función de las unidades de combustible producido (Lewis, 1997) (emisiones por unidad de combustible producido). La producción, mantenimiento y eliminación definitiva (vertederos o centros de reciclaje) de las estufas a leña y calefactores no fueron considerados en la evaluación porque el enfoque del estudio está en el flujo de emisiones. El mismo criterio aplica a las emisiones generadas por la construcción, mantención y desmontaje de refinerías, buques tanque y camiones cisterna, así como aquellas asociadas a la exploración y perforación de pozos petroleros.

Los impactos ambientales evaluados corresponden a la emisión de gases de efecto invernadero y smog. Los primeros contribuyen al calentamiento global, mientras que el segundo incrementa los índices de contaminación atmosférica en la ciudad de Valdivia. El calentamiento global se midió en términos de CO<sub>2</sub>

equivalente (CO<sub>2</sub>e), considerando NOx, N<sub>2</sub>O, CO, CH<sub>4</sub>, COVs y HAPs. Normalmente, los análisis de ciclos de vida consideran que el CO<sub>2</sub> proveniente de la quema de biomasa es neutro (no se contabiliza), especialmente cuando la biomasa tiene un origen sustentable. No obstante, algunos investigadores señalan que el CO<sub>2</sub> siempre debería ser contabilizado (Rabl et al., 2007; Johnson, 2009). Para abordar este aspecto, el análisis de ciclo de vida consideró ambos escenarios.

El material particulado no fue contabilizado como un gas de efecto invernadero, a pesar de que el hollín (black carbon) y el carbón orgánico tienen un impacto sobre el calentamiento global (y el enfriamiento) (MacCarty et al., 2008), debido a la incertidumbre que persiste sobre el tipo de impacto y su magnitud (Cappa et al., 2012; Bond et al., 2013). La formación de smog fue medida en términos de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> equivalente (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>e), pero también en términos de sus componentes: material particulado (se consideró solamente PM<sub>10</sub>, ya que los factores de emisión que se utilizaron para estos cálculos no consideran PM<sub>2,5</sub>), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (COVs) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs). El no considerar el PM<sub>2,5</sub> es una de las principales debilidades de este estudio, aunque la información proporcionada por el monitoreo de la calidad del aire de Valdivia muestra que el PM<sub>2,5</sub> prevalece en el total de PM<sub>10</sub> (Sanhueza et al., 2009; Ministerio de Medio Ambiente, 2013; Secretaría de Medio Ambiente Región de Los Ríos, 2014). También se llevó a cabo un análisis regional orientado a evaluar el impacto de la producción de leña sobre los bosques. Aunque algunos autores han relacionado producción de leña con degradación de bosques y deforestación (Carmona et al., 2010; Echeverría et al., 2008; Marín et al., 2011), existen pocos estudios formales que efectivamente hayan evaluado dicho

impacto. Para incorporar este elemento, y definir tendencias generales, se analizó la investigación llevada a cabo en los últimos 10 años en la Región de Los Ríos.

### 2.2.2. Impactos sociales

Los impactos sociales que fueron considerados en este análisis son: salud pública, pobreza de energía y empleo. Los primeros dos fueron evaluados a escala local, mientras que el tercero fue evaluado a escala regional. El impacto sobre la salud pública fue evaluado a partir de un indicador elaborado por el Banco Mundial y la Organización Mundial de la Salud, que mide la cantidad de años de vida potencialmente perdidos (*disability-adjusted life years, DALY*) (Murray, 1994).

Los factores DALY fueron obtenidos de la base de datos del software GaBi 6<sup>11</sup> y de la metodología del Eco-indicador 99 (método orientado al daño), que es un método de ponderación desarrollado por Pre Consultants y publicado por el Instituto de Ciencias Ambientales de la Universidad de Leiden (Goedkoop y Spriensma, 2001). Para el análisis se utilizó la Perspectiva Igualitaria (*Egalitarian Perspective*) que toma en cuenta todas aquellas sustancias que son sospechosas de ser cancerígenas (Hofstetter, 1998). Esta metodología estima la cantidad de años perdidos debido a mala salud, discapacidad o muerte temprana, por una exposición (modelada) a diferentes compuestos (Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment of Netherland, 2000). Esto implica que las estimaciones tienen un alto nivel de incertidumbre, por lo que los resultados de esta sección no pueden ser comparados con otros estudios a menos que hayan utilizado la misma metodología.

La pobreza de energía<sup>12</sup> fue estimada comparando el gasto total en energía de las familias valdivianas con su ingreso (deciles de ingreso). Los gastos en

<sup>10</sup> La fracción de aceite obtenida por el proceso de hidrocrackeo. Es el combustible más pesado, producido en el proceso de destilación a presión atmosférica.

<sup>11</sup> DALY por kilogramo de contaminantes (de GABI 6): CO<sub>2</sub>: 21 X 10<sup>-1</sup>; CO: 7,3 x 10<sup>-1</sup>; NOx: 8,9 x 10<sup>-2</sup>; SO<sub>2</sub>: 5,5 x 10<sup>-2</sup>; CH<sub>4</sub>: 1,3 x 10<sup>-8</sup>; PM<sub>10</sub>: 3,8 x 10<sup>-4</sup>; N<sub>2</sub>O: 6,9 x 10<sup>-3</sup>; benceno: 4,7 x 10<sup>-1</sup>; tolueno: 1,4 x 10<sup>-1</sup>; o-xileno: 2,2 x 10<sup>-6</sup> y otros compuestos emitidos por los combustibles.

<sup>12</sup> La pobreza de energía es un concepto multidimensional que incluye elementos de acceso, precios, etc. En este estudio se consideró solamente la relación entre el ingreso medio de las familias y su gasto total en energía. La pobreza de energía se define como un estado en el cual las familias no pueden satisfacer adecuadamente sus necesidades energéticas. Boardman (1991) propuso que esto se da cuando el gasto en energía sobrepasa el 10% del ingreso familiar.

energía incluyeron el gasto promedio para calefacción (leña, parafina o gas licuado)<sup>13</sup>, y un gasto básico en gas licuado<sup>14</sup> (para cocinar y calentar el agua) y electricidad (alumbrado y electrodomésticos esenciales) (Sovacool, 2012), mientras que los deciles de ingreso fueron tomados del Ministerio de Desarrollo Social de Chile (2011). Se estimó el impacto del mercado de la leña sobre el empleo tomando en cuenta todos los componentes de la cadena de suministro de leña - productores, transportistas, mayoristas, minoristas y servicios relacionados (proveedores de insumos y servicios). Esta estimación se realizó en base a estudios anteriores (Burschel et al., 2003; INE, 2007; Medel, 2008; Olivares et al., 2009; Reyes y Frene, 2006).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN RESIDENCIAL DE VALDIVIA

Debido a las características climáticas de Valdivia, el sistema de calefacción residencial opera durante 8 meses (abril - noviembre, Reyes y Frene, 2006) y consume 2.500 millones de MJ/año (*Tabla 1*). Esto equivale a un consumo promedio de energía de 63.000 MJ/hogar/año, lo que es muy alto en comparación con otras regiones del mundo con clima similar. Para el mismo fin, en el sur de Nueva Zelanda las viviendas consumen 14.000 MJ/hogar/año, mientras que en los estados de Oregon y Washington (USA) consumen un promedio de 28.000 MJ/hogar/año, y en la Provincia de British Columbia (Canadá) 48.000 MJ/hogar/año (Energy Information Administration, EIA, 2009; Isaacs et al., 2010; Natural Resource Canada, 2011). Schueftan and González (2013) estiman que el consumo de energía para calefacción en Valdivia podría ser incluso más alto, llegando a los

Tabla 1.

#### Consumo de energía para calefacción residencial en Valdivia

FUENTE ENERGÍA	HOGARES	CONSUMO PROMEDIO (TON/HH/AÑO)	CONSUMO TOTAL (TON/AÑO)	CONSUMO TOTAL (MILLONES DE MJ/AÑO)*	CONSUMO EFECTIVO (MILLONES DE MJ/AÑO)**
LEÑA	36.960	4,00	147.840	2.217	1.153
GAS LICUADO	12.760	0,42	5.308	245	245
KEROSENE	3.960	0,44	1.738	77	77
<b>TOTAL</b>				<b>2.539</b>	<b>1.475</b>

\* Densidad energética: 15,0; 46,1 y 44,5 MJ/kg para leña, gas licuado y kerosene, respectivamente.

\*\* Considerando una eficiencia promedio del 52% para las estufas a leña, y del 100% para los calefactores a gas licuado y kerosene. Fuente: elaboración propia en base a EPA (1996), Reyes y Frene (2006), INFOR (2009), y Natural Resources Canada (2010).

75.000 MJ/hogar/año.

Este alto consumo de energía para calefacción se debe a la baja eficiencia de los sistemas de calefacción residencial, lo cual se asocia a varios factores: a) alto contenido de humedad de la leña consumida, b) estufas a leña de baja eficiencia y c) una insuficiente aislación térmica de las viviendas. El 42% de la energía obtenida en la combustión se pierde, primero evaporando el agua de la madera, luego por el ducto de evacuación de gases, y finalmente por múltiples fugas en muros, puertas, ventanas, etc. Schueftan y González (2013) estiman que el consumo de energía para calefacción se reduciría en un 62% si las viviendas cumplieran con mayores estándares de aislación térmica. Para esto se requeriría una inversión promedio de US\$3.800 por vivienda.

#### 3.2. IMPACTOS AMBIENTALES

Los detalles relativos al inventario de insumos y emisiones del Análisis del Ciclo de Vida se presentan en el Apéndice A.

##### 3.2.1. Calentamiento global

El sistema de calefacción residencial libera anualmente a la atmósfera 94.500 toneladas de CO<sub>2</sub>e, cuando la combustión

de biomasa es considerada carbono neutral (2,2 toneladas de CO<sub>2</sub>e/hogar/año) y 285.000 toneladas de CO<sub>2</sub>e cuando no lo es (7,1 toneladas de CO<sub>2</sub>e/hogar/año). En todos los casos, la etapa que más contribuye al aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente es el consumo final (más que la extracción de combustible, transporte u otros procesos combinados).

Al comparar el impacto de los diferentes tipos de calefactores sobre el calentamiento global, las estufas a leña no catalíticas tienen el mejor desempeño con emisiones de 1.34 toneladas de CO<sub>2</sub>e/hogar/año (*Tabla 2*), cuando el carbono es considerado neutral. La baja eficiencia de las estufas a leña convencionales produce emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente muy parecidas a las producidas por las estufas a parafina y gas licuado. Esto se debe a que la combustión de leña genera altas emisiones de metano, monóxido de carbono y óxido nítrico (*Figura 2*). Cuando no se considera a la biomasa como carbono neutral, los calefactores a parafina y gas licuado tienen el mejor desempeño. La eficiencia de las estufas que utilizan leña es un aspecto clave para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente. Otro factor que aumenta las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por las estufas a leña, aunque menos relevante en el balance

<sup>13</sup> Esta estimación asume que el consumo promedio de leña permite mantener la temperatura de las casas sobre los 18 - 21°C, temperatura recomendada por la Organización Mundial de la Salud para evitar enfermedades respiratorias y otros trastornos, especialmente en niños y adultos mayores (WHO, 1987).

<sup>14</sup> Se consideró un consumo de 15 kg de gas licuado al mes (US\$ 432/año) y un gasto mensual en electricidad de \$20.000 (US\$ 480/año).

total, es la baja eficiencia del transporte. Mientras que 1 MJ de parafina requiere 0.0194 MJ en el transporte marítimo y 0.0208 MJ en el transporte terrestre para llegar a Valdivia, 1 MJ de leña requiere 0.0239 MJ (transporte terrestre). Es decir, 1 MJ de leña consume el 59% de la energía utilizada en el transporte de 1 MJ de parafina, aunque se produzca en un radio de tan sólo 100 km de la ciudad. Esto se debe a la naturaleza de la biomasa forestal, que contiene menos energía por unidad de peso y volumen, y a la ineficiencia de los vehículos utilizados en su transporte (camiones viejos) (Imagen 5).

Las viviendas valdivianas liberan un promedio de 35.8 kg de CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/año (estimación carbono neutral)<sup>15</sup>, de los cuales 32.8 kg de CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/año provienen del consumo final del combustible y 3 kg de CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/año de la cadena de suministro del combustible (extracción y transporte). Cuando el CO<sub>2</sub> no es neutral, este valor aumenta a 118,5 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/año. Para satisfacer sus necesidades de calefacción, las viviendas británicas liberan un promedio de 35 kg de CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/año (Monahan and Powell, 2011), mientras que las noruegas entre 20 y 50 kg de CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/año (Thyholt and Hestnes, 2008) y las neozelandesas entre 15 y 36 kg de CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/año (Camilleri, 2000). En todos estos países los sistemas de calefacción residencial funcionan principalmente en base a combustibles fósiles, por lo que las emisiones de CO<sub>2</sub> no son consideradas neutras.

### 3.2.2. Formación de smog

El sistema de calefacción residencial de Valdivia libera anualmente 255 toneladas de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> equivalente (etileno), los que provienen básicamente de la quema de leña (Figura 3). Esto equivale a un promedio de 5.8 kg de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>e/hogar/año. Las estufas a leña convencionales emiten un 34% más que las estufas no catalíticas, 13.500 veces más que las estufas a

Figura 2. Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente por tipo de calefactor (nivel global)

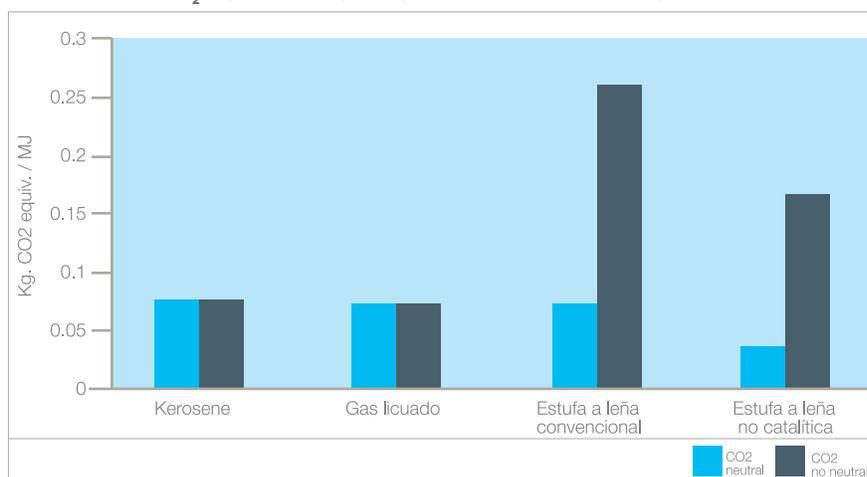


Tabla 2. Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente por proceso y tipo de calefactor

NIVEL	EMISIONES (KG CO <sub>2</sub> E./M.J)	KEROSENE	GAS LICUADO	LEÑA*	
				CONVEN.	NO-CATALÍ.
<b>LOCAL</b>	CONSUMO	684,0*10 <sup>-4</sup>	625,0*10 <sup>-4</sup>	745,0*10 <sup>-4</sup>	355*10 <sup>-4</sup>
<b>GLOBAL</b>	EXTRACCIÓN	39,4*10 <sup>-4</sup>	43,1*10 <sup>-4</sup>		
	TRANSPORTE MARÍTIMO	10,3*10 <sup>-4</sup>	11,2*10 <sup>-4</sup>		
	REFINACIÓN	24,2*10 <sup>-4</sup>	38,6*10 <sup>-4</sup>		
	TRANSPORTE TERRESTRE	10,9*10 <sup>-4</sup>	16,6*10 <sup>-4</sup>	25,4*10 <sup>-4</sup>	19,1*10 <sup>-4</sup>
	COSECHA			2,6*10 <sup>-4</sup>	1,9*10 <sup>-4</sup>
	PICADO			3,2*10 <sup>-4</sup>	2,4*10 <sup>-4</sup>
	SUBTOTAL	84,8*10 <sup>-4</sup>	110,0*10 <sup>-4</sup>	31,2*10 <sup>-4</sup>	23,4*10 <sup>-4</sup>
	<b>TOTAL</b>		769,0*10 <sup>-4</sup>	735,0*10 <sup>-4</sup>	776,0*10 <sup>-4</sup>

\* Considerando carbono neutral.

parafina y 131.000 veces más que las estufas a gas licuado. Esto representa una gran ventaja en favor de los calefactores a gas licuado y a parafina (Tabla 3). En términos generales, las estufas a leña convencionales liberan a la atmósfera un promedio de 57 kg/hogar/año de PM<sub>10</sub>, 427 kg/hogar/año de monóxido de carbono, 84 kg/hogar/año de compuestos orgánicos volátiles (COVs) y 1.4 kg/hogar/año de hidrocarburos

aromáticos policíclicos (HAPs). Las estufas a leña no catalíticas producen 3 veces menos PM<sub>10</sub> que las convencionales y aproximadamente la mitad del monóxido de carbono, COVs y HAPs. Por el contrario, los calefactores a gas licuado emiten solamente un promedio de 0.11 kg/hogar/año de PM<sub>10</sub>, 1.2 kg/hogar/año de monóxido de carbono y prácticamente cero COVs y HAPs.

<sup>15</sup> Considerando un tamaño de vivienda promedio de 60 m<sup>2</sup>

Figura 3.  
Formación de smog por tipo de calefactor (nivel local)

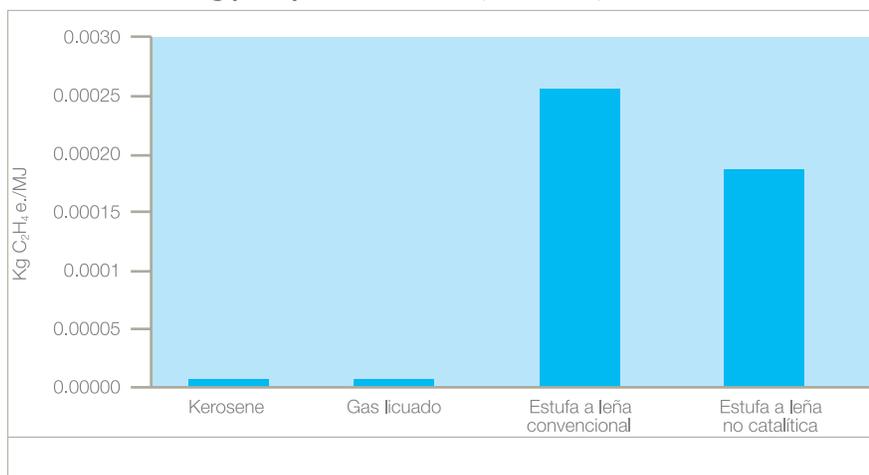


Tabla 3.  
Formación de smog por proceso y tipo de calefactor

	EMISIONES (Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> e./MJ)	KEROSENE	GAS LICUADO	LEÑA*	
				CONVEN.	NO-CATALÍ.
<b>NIVEL LOCAL</b>	CONSUMO	684,0*10 <sup>-4</sup>	625,0*10 <sup>-4</sup>	745,0*10 <sup>-4</sup>	355*10 <sup>-4</sup>



Imagen 5: camión utilizado en el transporte de leña hacia la ciudad de Valdivia.

### 3.2.3. Deforestación y degradación de bosques

Existe evidencia limitada sobre el impacto de la producción de combustibles derivados de la madera sobre los bosques, más allá de una investigación de doctorado en curso en la Región de los Ríos<sup>16</sup>. Esta investigación sugiere que la producción de leña no produce deforestación sino más bien es una consecuencia de la expansión agrícola y ganadera. Esto es consistente con lo planteado por Zamorano et al. (2014), que concluyó que la leña es un subproducto de la creciente producción de leche, carne y cereales. Si no existiera el mercado de la leña en Valdivia, la madera se quemaría directamente en el campo, como todavía ocurre en algunos predios. La ausencia de una relación causa-efecto entre producción de leña y deforestación también se ha observado en otros países (Bensel, 2008; Bhatt y Sachan, 2004).

El mismo estudio plantea que la mayor parte de los propietarios de bosque nativo lo utilizan como una cuenta de ahorro (uso esporádico), el cual se utiliza cuando otros componentes del sistema productivo no generan ingresos suficientes. Por lo tanto, la presión interanual sobre los bosques nativos fluctúa de acuerdo a las variaciones del mercado laboral, agrícola, etc. (Bluffstone, 1995; Amacher et al., 1996; Shively, 2001; Godoy et al., 2005). Esto, ha creado un patrón en el cual periodos de cosecha se alternan con periodos de descanso, los que en ausencia de otros factores de disturbio le permiten al bosque cierta recuperación. Sin embargo, bajo determinadas condiciones de aislamiento y pobreza (escasas oportunidades de ingreso extrapredial, bajo costo de oportunidad de la mano de obra, y familias numerosas), la producción de leña puede producir una degradación real y permanente de los bosques. Sin embargo,

\* Reyes, R. Factores claves en la producción de leña para venta en la región de los Ríos. Tesis doctoral. University of British Columbia. En elaboración.



Imagen 6: desechos de aserradero utilizados para calefacción en hogares de bajos ingresos en Valdivia.

dada la cantidad de factores que deben coincidir para que este fenómeno suceda, y además persista en el tiempo, el efecto que tiene el mercado de la leña sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a la degradación de los bosques sigue siendo difuso.

### 3.3. IMPACTOS SOCIALES

#### 3.3.1. Pobreza de energía

El sistema de calefacción residencial de Valdivia tiene un costo anual de 40 millones de dólares, considerando un precio promedio de la leña de US\$ 78 /m<sup>3</sup>, y del gas licuado y la parafina de US\$ 2.5 /kg y US\$ 1.5 /litro, respectivamente (500 pesos chilenos por dólar). Los costos unitarios en términos de energía primaria son US\$ 0.0108 /MJ para leña, US\$ 0.0421 /MJ para parafina y US\$ 0.0542 /MJ para gas licuado, lo que implica una ventaja significativa de la leña en comparación con la parafina y el gas licuado (4-5 veces más barata).

Durante los últimos años, las autoridades chilenas han propuesto abordar el problema de la contaminación del aire a través del reemplazo de la leña por parafina, gas licuado u otros combustibles fósiles<sup>17</sup>. Si la propuesta fuese exitosa, el gasto anual en calefacción residencial aumentaría de 40 millones de dólares a más de 100 millones, considerando una eficiencia del 100% para los calefactores a gas licuado y parafina. Esto aumentaría el gasto en energía desde los actuales US\$ 623 hogar/año (basado en leña) a US\$ 1.411 hogar/año (parafina) o US\$ 1.817 hogar/año (gas licuado), respectivamente. Esta medida aumentaría los niveles de pobreza de energía en la ciudad y una exportación neta de riqueza desde Valdivia hacia los países productores de petróleo. Si se considera un gasto promedio en calefacción de US\$ 623 hogar/año (leña) y un gasto mínimo en iluminación, cocina, electrodomésticos y ducha de US\$ 912 hogar/año, el 60% de los hogares de Valdivia estarían en un estado de pobreza de energía, ya que no

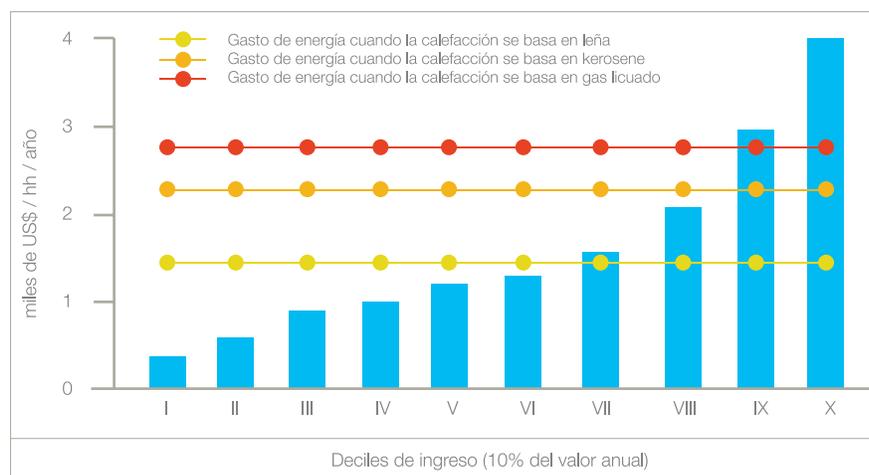
son capaces de cubrir dichos gastos con el 10% de sus ingresos (Figura 4). Si la leña fuera reemplazada por parafina o gas licuado esta situación afectaría al 80% de los hogares. Esto podría llegar a ser peor debido a la estacionalidad del consumo (concentración del gasto) (Moore, 2012). Actualmente, muchas familias usan diversas estrategias para reducir su gasto total en energía. Estas incluyen: usar leña de mala calidad (leña de baja densidad y alta humedad), recoger madera o residuos forestales dentro de la ciudad y en sus alrededores, obtener leña a bajo precio de familiares que viven en el campo, entre otras (Imagen 6). Estas acciones permiten disminuir el costo del abastecimiento de energía en Valdivia. Sin embargo, si el sistema de calefacción se basara en parafina o gas licuado estas acciones de “mitigación” no serían posibles, ya que ambos combustibles no son producidos a nivel local.

#### 3.3.2. Salud humana

Si se considera un peso promedio de 70 kg, una esperanza de vida de

70 años, y un sistema de calefacción basado únicamente en estufas a leña convencionales (45% de eficiencia), las emisiones de material particulado respirable tendrían un impacto sobre la salud de 72.000 años de vida potencialmente perdidos (DALY). Esto equivale a 0,47 DALY por habitante. Alternativamente, si el sistema de calefacción se basara en estufas no catalíticas (60% de eficiencia) el impacto total descendería a 0,17 DALY por persona, y para el caso de los calefactores a gas licuado y parafina a 0,013 DALYs/persona. Esta estimación no contempla la contaminación intradomiliaria, en la que los calefactores a gas licuado y parafina (sin ductos de descarga) podrían tener un mayor impacto en la salud (Ruiz et al., 2010; Carter et al., 2013), especialmente en términos de PM<sub>2,5</sub> y monóxido de carbono (Prockop y Chichkova, 2007). Esta es una limitación significativa del estudio. Entre 2008 y 2014, la concentración promedio de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> en Valdivia fue de 50,7 y 36,4 ug/m<sup>3</sup>, respectivamente (Ministerio de Medio Ambiente, 2015). En este periodo, los estándares chilenos de

Figura 4. Niveles de pobreza de energía en la ciudad de Valdivia



Nota: el eje y representa miles de dólares por hogar y año. El gasto en energía considera calefacción y otros (iluminación, agua caliente, cocina, electrodomésticos, etc.). Las barras en el eje x corresponden al 10% del valor de los deciles de ingreso para la Región de Los Ríos (miles de dólares por hogar y año).

Fuente: elaboración propia en base a Ministerio de Desarrollo Social de Chile (2011), Reyes and Frene (2006), y Boardmand (1991).

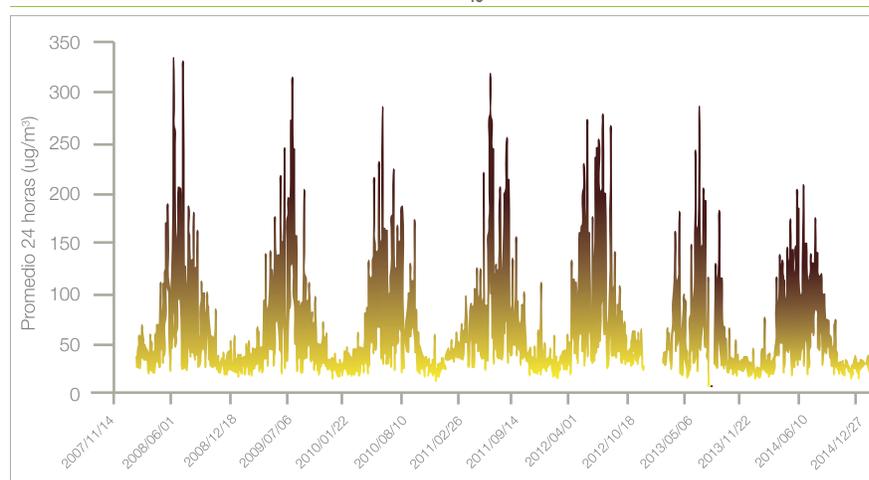
<sup>17</sup> <http://www.revistaei.cl/2014/07/07/gas-podria-representar-mas-del-30-de-la-electricidad-y-reemplazar-la-leña/>.

calidad de aire en relación a  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ <sup>18</sup> fueron sobrepasados en promedio 16 y 83 veces (Figuras 5a y 5b). Los datos muestran que el 2010 fue el peor año en términos de  $PM_{2.5}$ , con 122 días sobre la norma. Ese año fue también el peor en cuanto a infecciones respiratorias agudas (IRA), con 1.113 casos (Secretaría de Medio Ambiente Región de Los Ríos, 2014). El sistema público de salud está cubriendo los costos generados por esta situación. Según Gómez-Lobo et al (2006), el beneficio social de reducir la concentración de  $PM_{2.5}$  en 1 ug oscila entre US\$ 8 y 34,5 por persona. Esto equivale a 1,2 - 5,2 millones de dólares al año para la población de Valdivia. Por otra parte, es importante considerar que la ausencia de una calefacción adecuada también está asociada con problemas de salud. Según la WHO (1987), para mantener una vida saludable, la temperatura al interior del hogar debe estar entre los 18 y 21°C. La combinación de baja temperatura y alta humedad relativa, como ocurre en el centro y sur de Chile, ha demostrado ser aún más peligrosa para la salud de las personas que la contaminación del aire (Fisher et al., 2007; Howden-Chapman et al., 2009). Entonces, la pobreza de energía se asocia también con problemas de salud, lo que implica que las autoridades chilenas se encuentran en un gran dilema: reducir la contaminación del aire sin aumentar el costo en calefacción.

### 3.3.3. Empleo

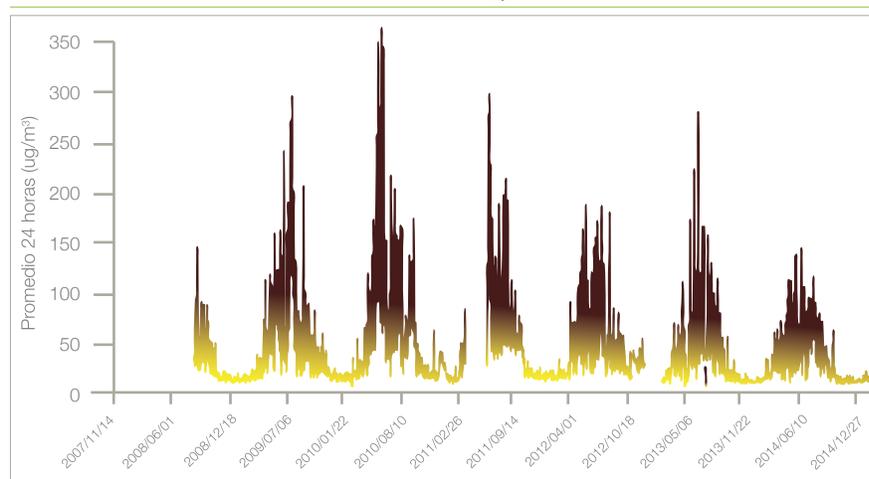
La producción y comercialización de leña juegan un papel importante tanto en zonas rurales como urbanas, creando cientos de puestos de trabajo (Burschel et al., 2003). La Figura 6 muestra una cadena normal de abastecimiento de leña en el sur de Chile, donde es posible observar a todos los actores involucrados en el proceso. Según el último Censo Agropecuario y Forestal (INE, 2007) la Región de Los Ríos tiene 2.050 productores de leña, los cuales

Figura 5A.  
Concentración de material particulado  $PM_{10}$  entre 2008 y 2014



Fuente: elaboración propia en base a Ministerio de Medio Ambiente (2015).

Figura 5B.  
Concentraciones de material particulado  $PM_{2.5}$  entre 2008 y 2014



Fuente: elaboración propia en base a Ministerio de Medio Ambiente (2015).

normalmente contratan personal para las faenas de cosecha y hechura de leña. Se estima que la mitad de ellos estarían abasteciendo la ciudad de Valdivia. Es difícil saber cuántos comerciantes (transportistas, mayoristas y minoristas) están involucrados en el proceso de abastecimiento de leña para Valdivia, ya que la mayoría trabaja ilegalmente. Sin embargo, tomando como base el ingreso

promedio de los comerciantes de leña (Olivares et al., 2009), se puede estimar una participación de 60 mayoristas y minoristas, y 150 transportistas. Éstos, a su vez, contratan dos trabajadores para cargar y descargar camiones. Adicionalmente, 180 personas están involucradas en la etapa de corte y almacenamiento de leña en las viviendas, y

<sup>18</sup> El estándar chileno para ambos tipos de material es de un máximo de 150 y 50 ug/m<sup>3</sup>, respectivamente.

100 personas trabajarían en la instalación y mantención de las estufas a leña y en la limpieza de los ductos de descarga. Una estimación conservadora indica que el consumo de leña en Valdivia estaría produciendo aproximadamente 1.000 puestos de trabajo a jornada completa, muchos de ellos informales. El número es bastante alto considerando que la industria forestal, uno de los pilares de la economía regional, genera cerca de 9.000 empleos en actividades de cosecha, industria secundaria, primaria y servicios complementarios (INFOR, 2010), mientras que la industria lechera y ganadera generan cerca de 6.000 empleos a nivel regional (Fantuzzi, 2012). La Tabla 4 muestra un resumen de los principales componentes asociados al “dilema de la leña”.

#### 4. CONCLUSIONES E IMPLICACIONES POLÍTICAS

Los resultados muestran que los calefactores a gas licuado y parafina generan menos contaminación atmosférica por material particulado (el estudio no consideró la contaminación intradomiciliaria, donde estos calefactores podrían tener un impacto mayor), mientras que los calefactores a leña no catalíticos producen cerca de la mitad de las emisiones de gases de efecto invernadero, cuando la biomasa forestal es considerada carbono neutral. Sin embargo, considerar sólo el comportamiento ambiental de los combustibles/calefactores no permite evaluar adecuadamente su impacto total sobre el bienestar de las personas. Los posibles sustitutos de la leña contribuyen a aumentar los niveles de pobreza de energía en la ciudad, especialmente cuando se considera una tendencia al alza en el precio de los combustibles fósiles. Esto, a su vez, tiene un efecto negativo sobre el medioambiente intradomiciliario (temperatura y humedad relativa), y por ende en la salud de las personas. Habría también impactos económicos negativos por la reducción de la demanda por leña,

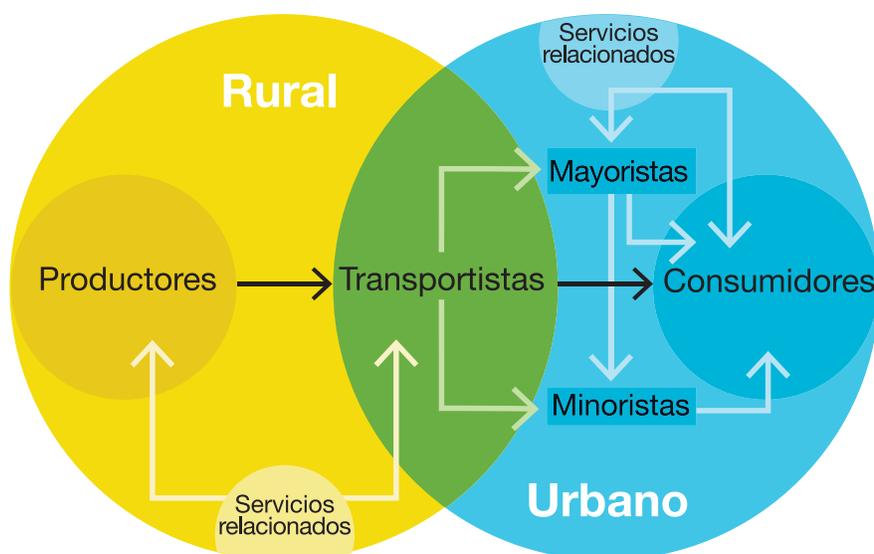
Tabla 4. **Resumen de los principales aspectos considerados en el análisis**

ALCANCE	IMPACTO	DESCRIPCIÓN
MEDIO AMBIENTE	CALENTAMIENTO GLOBAL	El Sistema de calefacción basado en estufas a leña no catalíticas (60% eficiencia) emite 50% menos de CO <sub>2</sub> equivalente que los calefactores a gas licuado y kerosene, cuando la biomasa forestal es carbono neutra. De lo contrario, las estufas a leña tienen mayores emisiones, siendo la tecnología un aspecto clave para mejorar su desempeño.
	FORMACIÓN DE SMOG	Las estufas a leña están emitiendo miles de veces más que los calefactores a gas licuado y kerosene. Por consiguiente, en términos de formación de smog y otros contaminantes, la leña es mucho más problemática que ambos combustibles.
	DEFORESTACIÓN Y DEGRADACIÓN DE BOSQUES	Si bien, hay deforestación y degradación de bosques en la Región de Los Ríos, la expansión agrícola y ganadera contribuye más directamente a ambos procesos que la extracción de leña. No hay un vínculo claro y directo entre la destrucción de los bosques y el mercado de la leña.
SOCIEDAD	POBREZA DE ENERGÍA	El 60% de los hogares valdivianos ya están en un condición de pobreza de energía. Con el fin de aliviar esta situación, las familias tienden a reducir sus gastos en calefacción utilizando varias estrategias: recolección de desechos, comprando leña de baja calidad, etc. Si la leña fuera reemplazada por gas licuado y kerosene, el costo actual de calefacción y los niveles de pobreza de energía asociados aumentarían significativamente.
	SALUD	La quema de leña aumenta la concentración de material particulado y otros compuestos tóxicos, aumentando los casos de infecciones respiratorias agudas y otros problemas. Sin embargo, la ausencia de una adecuada calefacción también se relaciona a problemas de salud. Por lo tanto, el costo de la calefacción es un factor clave que debería ser considerado en el análisis.
	EMPLEO	El mercado de la leña en la ciudad de Valdivia crea aproximadamente 1.000 empleos permanentes, tanto en actividades de cosecha y producción como en comercialización y servicios relacionados. Esta cantidad de empleos es muy importante cuando se compara con otros sectores productivos como el forestal o el ganadero, especialmente para familias de bajos ingresos.

con impactos sobre el empleo urbano-rural. Expandir la perspectiva de análisis, considerando una amplia gama de costos y beneficios en torno al uso de combustibles derivados de la madera, genera nuevos escenarios que las autoridades chilenas deben considerar. El real dilema de la leña es evaluar cómo se pueden mitigar los impactos negativos del consumo de leña, como la contaminación del aire, mientras se potencian los impactos positivos (menor emisión de gases de efecto invernadero, contribución a la economía regional, etc.). De hecho, planteado de esta forma,

es posible encontrar vías que permitan mejorar el sistema en su conjunto, ya sea mejorando la eficiencia de los sistemas de calefacción como perfeccionando el mercado de los combustibles derivados de la madera. Esto permitiría fortalecer las economías locales y generar beneficios ambientales. Al igual que muchos países europeos donde los combustibles derivados de la madera se han convertido en una fuente de energía importante, Chile tiene la oportunidad de aprovechar su alta disponibilidad de recursos forestales (bosques nativos y plantaciones forestales) para desarrollar su propio

Figura 6.

**Cadena de abastecimiento de leña**

Fuente: elaboración propia en base a Reyes (2000).

camino, en vez de enfocarse en un solo aspecto - la salud humana - y en una única solución (reemplazar la leña). Es importante tomar conciencia que a mediano plazo la contaminación del aire en Valdivia y otras ciudades del sur de Chile seguirá siendo un problema, debido a su complejidad y al carácter gradual de las posibles soluciones. De hecho, para enfrentar la contaminación del aire sin incrementar el costo en calefacción, y con ello los niveles de pobreza de energía, existen varios caminos que no necesariamente implican el uso de combustibles fósiles.

El primero no tiene que ver con la fuente de energía. Mejorar la eficiencia energética de las construcciones reduciría el uso de energía y los costos asociados. Según Fissore y Colonelli (2013), basados en datos de campo, el consumo de energía primaria para calefacción podría bajar en un 50% si se realizan algunas inversiones en aislamiento térmico de las viviendas, llegando a un consumo de

energía similar al de otras regiones del mundo con clima oceánico (EIA, 2009; Isaacs et al., 2010; Natural Resources Canada, 2011). Sin embargo, la experiencia indica que existe un efecto rebote asociado a estas inversiones. Hens (2010) y Sorrell et al (2009) señalan que después de reacondicionar las viviendas es normal un rebote del 30% en el consumo de energía. Aun así, el consumo de energía primaria para calefacción podría caer a 37.000 MJ/hogar/año, lo que evitaría la emisión de 33.000 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, 800 toneladas de PM<sub>10</sub>, 6.000 toneladas de monóxido de carbono, 1.200 toneladas de COVs y 20 toneladas de HAPs, con un impacto positivo en la temperatura y humedad relativa intradomiciliaria, los niveles de pobreza de energía y el bienestar de las personas (Howden-Chapman et al., 2007). Este tipo de medidas, aplicada en todas las viviendas valdivianas, tendría un costo de US\$150 millones (Fissore y Colonelli, 2013; Schueftan y González, 2013), generando

ahorros por US\$14 millones anuales debido a un menor consumo de leña, y un monto no determinado asociado a menores gastos en el sistema de salud. La inversión pública debe orientarse hacia familias de bajos ingresos, mientras que para las demás se pueden crear líneas de financiamiento privado, bajo la modalidad de créditos de largo plazo (complementarios al crédito hipotecario) y baja tasa de interés. Dependiendo de las condiciones del crédito, muchas familias podrían optar por esta alternativa en la medida que su costo pueda ser cubierto por el ahorro en calefacción.

En segundo lugar, el reemplazo de estufas ineficientes reduciría el costo en calefacción y las emisiones. Considerando que el 56% de las estufas a leña de la ciudad de Valdivia son equipos convencionales, se podría lograr una importante reducción en la emisión de material particulado reemplazándolos (Li et al., 2011; Ward et al., 2009). Sin embargo, este proceso debería implementarse con cuidado, debido a que la adopción de nuevas tecnologías ha demostrado ser un proceso complejo (Allen et al., 2009; Bailis et al., 2007; Hanna et al., 2012; Ruiz-Mercado et al., 2011).

Estas medidas ayudarían a reducir gradualmente la contaminación del aire en Valdivia. En el largo plazo, y dado los impactos de la contaminación del aire en la salud de las personas, la estrategia a seguir debería considerar medidas que mejoren el desempeño de los combustibles derivados de la madera, impulsando el uso de pellets y nuevas tecnologías, desarrollando un marco regulatorio propicio para la implementación de sistemas de distribución de calor más eficientes (centrales distritales), y creando valor para las fuentes locales de biomasa. Esta alternativa ofrece los mayores beneficios para la población local y regional. Más ampliamente, el caso de Chile ofrece la oportunidad de analizar un problema que es común a millones de

personas en el mundo: la provisión de energía; toda vez que la producción y el abastecimiento de combustibles fósiles enfrentan crecientes dificultades. Esto nos obliga a pensar soluciones distintas con respecto a cómo conseguir y usar la energía. En general, los sistemas energéticos fueron construidos asumiendo un abastecimiento permanente, seguro y de bajo costo, a partir de fuentes fósiles. En ese contexto, los combustibles derivados de la madera, especialmente la leña, han sido vistos como una fuente de energía de subsistencia, asociado a bajos niveles de desarrollo. Dado que en el largo plazo el costo de los combustibles fósiles (medidos en términos financieros y ambientales) seguirá creciendo, en vez de dejar la leña se podría desarrollar una estrategia propia basada en combustibles derivados de la madera, que contribuyan a satisfacer las necesidades energéticas y a dinamizar la economía local. Esto sería especialmente interesante en países con alta disponibilidad de recursos forestales como es el caso de Chile.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (Chile), a Rufford Small Grants for Nature Conservation (Reino Unido) y al Instituto Forestal (Chile) por el financiamiento de la investigación. Un especial agradecimiento a Kahlil Baker, Hisham Zerriffi (University of British Columbia), Antonio Lara (Universidad Austral de Chile), Bernardo González (experto local, Chile), Jennifer Romero (experta local, Chile) y a las dos personas anónimas que revisaron el manuscrito e hicieron comentarios muy valiosos.

## 5. REFERENCIAS

- Ahrends, A.; Burgess, N. D.; Milledge, S. A. H.; Bulling, M. T.; Fisher, B. and Smart, J. C. R., 2010.** Predictable waves of sequential forest degradation and biodiversity loss spreading from an African city. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*, 107(33): 14556-61.
- Allen, R. W.; Leckie, S.; Millar, G. and Brauer, M., 2009.** The impact of wood stove technology upgrades on indoor residential air quality. *Atmos Environ.* 43(37): 5908-15.
- Amacher, G. S.; Hyde, W. F. and Kanel, K. R., 1996.** Household fuelwood demand and supply in Nepal's tarai and mid-hills: choice between cash outlays and labor opportunity. *World Dev.* 24(11): 1725-36.
- Ambiente Consultores, 2007.** Análisis técnico-económico de la aplicación de una norma de emisión para artefactos de uso residencial que combustionan con leña y otros combustibles de biomasa. Informe final licitación pública No. 1285-29-LE06. Comisión Nacional del Medio Ambiente. p. 98.
- Bailis, R.; Berrueta, V.; Chengappa, C.; Dutta, K.; Edwards, R.; Masera, O., 2007.** Performance testing for monitoring improved biomass stove interventions: experiences of the Household Energy and Health. *Project. Energy Sustain Dev.* 11(2): 57-70.
- Bailis, R.; Drigo, R.; Ghilardi, A. and Masera, O., 2015.** The carbon footprint of traditional woodfuels. *Nat. Clim. Chang.* 5: 266-72.
- Baker, K.; Bull, G. Q. and Le May, V. M., 2014.** The use of fuelwood market segmentation and product differentiation to assess opportunities and value: A Nicaraguan case study. *Energy Sustain Dev.* 2014, 18(1): 58-66.
- Banco Mundial, 2014.** Countries and economies database. World Bank. En: [data.worldbank.org/country](http://data.worldbank.org/country). (visitado 30.11.14).
- Bensel, T. 2008.** Fuelwood, deforestation, and land degradation: 10 years of evidence from Cebu Province, the Philippines. *Land Degrad. Dev.* 19(6): 587-605.
- Bhatt, B. P. and Sachan, M. S., 2004.** Firewood consumption pattern of different tribal communities in Northeast India. *Energy Policy* 32(1): 1-6.
- Bluffstone, R. A., 1995.** The effect of labor market performance on deforestation in developing countries under open access: An example from rural Nepal. *J Environ Econ. Manag.* 29(1): 42-63.
- Boardman, B., 1991.** Fuel poverty: From cold homes to affordable warmth. London: Belhaven Press.
- Bond, T. C.; Doherty, S. J.; Fahey, D. W.; Forster, P. M.; Berntsen, T.; De Angelo, B. J.; et al., 2013.** Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. *J Geophys Res. Atmos.* 118(11): 5380-552.
- Bonjour, S.; Adair-Rohani, H.; Wolf, J.; Bruce, N. G.; Mehta, S.; Prüss-Ustün, A., et al., 2013.** Solid fuel use for household cooking: country and regional estimates for 1980-2010. *Environ Health Perspect.* 121(7):784-90.
- Burschel, H.; Hernández, A. y Lobos, M., 2003.** Leña, una fuente de energía renovable para Chile. Santiago, Chile: Editorial Universitaria. p. 171.
- Camilleri, M. J., 2000.** Implications of climate change for the construction sector: Houses. BRANZ Study Report No. 94, Wellington, New Zealand.
- Cappa, C. D.; Onasch, T. B.; Massoli, P.; Worsnop, D. R.; Bates, T. S.; Cross, E. S. et al., 2012.** Radiative absorption enhancements due to the mixing state of atmospheric black carbon. *Science*, 337(6098): 1078-81.
- Carmona, A.; Nahuelhual, L.; Echeverría, C. and Báez, A., 2010.** Linking farming systems to landscape change: An empirical and spatially explicit study in southern Chile. *Agr. Ecosyst. Environ.* 139(1-2): 40-50.
- Carteret, M.; Germain, S.; Hanoune, B.; Deconinck, A.; Chambon, C. and Schadkowski, C., 2013.** A pilot study of indoor exposure to pollutants from kerosene space heaters. *Pollut Atmos.* 218. p. 21.
- Castillo, C., 2001.** Estadística climatología Tomo II. Santiago, Chile. Dirección Meteorológica de Chile, Climatología y Meteorología Aplicada. p. 542.
- CNE, 2012.** Comisión Nacional de Energía. Estadísticas de Hidrocarburos. En: [www.cne.cl/estadisticas/energia/hidrocarburos](http://www.cne.cl/estadisticas/energia/hidrocarburos), 2012. (visitado 30.9.14).
- CNE, 2014. Comisión Nacional de Energía. Balance energético 2012.** antiguo. [minenergia.cl/minwww/opencvms/14\\_portal\\_informacion/06\\_Estadisticas/Balances\\_Energ.html](http://minenergia.cl/minwww/opencvms/14_portal_informacion/06_Estadisticas/Balances_Energ.html), 2014 (visitado 30.9.14).
- Costa, N. R. y Delgado, S., 2001.** Análisis de planes de manejo en bosques naturales de Uruguay, y estudio de caso en una comunidad serrana, Depto. La Valleja (Tesis de grado) Montevideo: Universidad de la República, Facultad de Agronomía. p. 190.
- DICTUC, 2011. Observatorio medio ambiental domiciliario 2011.** Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Informe No. 923411. División Ingeniería Mecánica y

<sup>9</sup> 1 m<sup>3</sup> sólido = 1.5625 m<sup>3</sup> a granel (leña apilada con espacios entremedio para la circulación del aire)

Metalúrgica, Energía Sustentable. p. 13.

**Echeverría, C.; Coomes, D.; Hall, M. and Newton, A., 2008.** Spatially explicit models to analyze forest loss and fragmentation between 1976 and 2020 in southern Chile. *Ecol. Model.* 212(3-4): 439-49.

**Eckholm, E., 1977.** The other energy crisis. Washington. Worldwatch Institute.

**EIA, 2009.** Residential energy consumption survey (RECS). US-Energy Information Administration En: [www.eia.gov/consumption/residential/data/2009/](http://www.eia.gov/consumption/residential/data/2009/) (visitado 30.9.14).

**EPA, 1996.** Report on revisions to 5th edition. AP-42, Section 1.10, Residential Wood Stoves; AP-42, Section 1.3, Fuel Oil Combustion; AP-42, Section 1.5, Liquefied Petroleum Gas Combustion. US-Environmental Protection Agency.

**Fantuzzi, J., 2012.** Impacto de la industria lechera en las regiones de Los Ríos y Los Lagos. Valdivia, Chile: Aproleche p. 85. En: [aproleche.cl/archivos/impacto-lechero.pdf](http://aproleche.cl/archivos/impacto-lechero.pdf). (visitado 30.9.14).

**FAO, 2004.** Unified Bioenergy Terminology. Wood Energy Programme. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. p. 50.

**FAO, 2010.** Criteria and indicators for sustainable wood fuels. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. FAO Forestry Paper 160; p. 103.

**FAO, 2012.** State of the World's Forests 2012. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. p. 60. In: [www.fao.org/docrep/016/i3010e/i3010e.pdf](http://www.fao.org/docrep/016/i3010e/i3010e.pdf) (visitado 29.4.2015).

**FAO, 2015.** FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. In: [faostat.fao.org](http://faostat.fao.org) (visitado 24.4.15).

**Fisher, G.; Kjellstrom, T.; Kingham, S.; Hales, S. and Shrestha, R., 2007.** Heat and air pollution in New Zealand. Wellington: Health Research Council, Ministry for the Environment, Ministry of Transport.

**Fissore, A. and Colonelli, P., 2013.** Evaluación Independiente del Programa de Reacondicionamiento Térmico. Informe Final. Ministerio de Vivienda y Urbanismo - Ministerio de Energía. Santiago de Chile. p. 224.

**Fullerton, D. G.; Bruce, N. and Gordon, S. B., 2008.** Indoor air pollution from biomass fuel smoke is a major health concern in the developing world. *Trans R. Soc. Trop. Med. Hyg.* 102(9): 843-51.

**Gangopadhyay, S.; Ramaswami, B. and Wadhwa, W., 2005.** Reducing subsidies on

household fuels in India: How will it affect the poor? *Energy Policy.* 33(18): 2326-36.

**Godoy, R.; Reyes-García, V.; Byron, E.; Leonard, W. R. and Vadez, V., 2005.** The effect of market economies on the well-being of indigenous peoples and on their use of renewable natural resources. *Annu. Rev. Anthropol.* 34:121-38.

**Goedkoop, M. and Spriensma, R., 2001.** The Eco-indicator 99. A damage oriented method for life cycle impact assessment, methodology report. Amersfoort, Netherlands: Pre Consultants B. V. p. 144.

**Goh, C. S.; Junginger, M.; Cocchi, M.; Marchal, D.; Thrän, D.; Hennig, C. et al., 2013.** Wood pellet market and trade: A global perspective. *Biofuels Bioprod Biorefin* 7(1): 24-42.

**Gómez-Lobo, A.; Lima, J. L.; Hill, C. y Meneses, M., 2006.** Diagnóstico del mercado de la leña en Chile. Informe Final preparado para la Comisión Nacional de Energía. Centro Micro Datos. Departamento de Economía, Universidad de Chile. p. 190.

**Hanna, R.; Duflo, E. and Greenstone, M., 2012.** Up in smoke: The influence of household behavior on the long-run impact of improved cooking stoves. NBER Working Paper Series. National Bureau of Economic Research; 2012. p. 71.

**Hens, H., 2010.** Energy efficient retrofit of an end of the row house: Confronting predictions with long-term measurements. *Energy Build* 42(10): 1939-47.

**Hiemstravan der Horst, G. and Hovorka, A. J., 2008.** Reassessing the "energy ladder": Household energy used in Maun, Botswana. *Energy Policy* 36(9): 3333-44.

**Hofstetter, P., 1998.** Perspectives in life cycle impact assessment: A structured approach to combine models of the technosphere, ecosphere and value sphere. Boston: Kluwer Academic Publishers.

**Hosier, R. H. and Kipondya, W., 1993.** Urban household energy use in Tanzania: Prices, substitutes and poverty. *Energy Policy* 21(5): 454-73.

**Howden-Chapman, P.; Matheson, A.; Crane, J.; Viggers, H.; Cunningham, M.; Blakely, T.; et al., 2007.** Effect of insulating existing houses on health inequality: Cluster randomised study in the community. *BMJ.* In: <http://dx.doi.org/10.1136/bmj.39070.573032.80>.

**Howden-Chapman, P.; Viggers, H.; Chapman, R.; O'Dea, D.; Free, S. and O'Sullivan, K., 2009.** Warm homes: Drivers of the demand for heating in the residential sector in New Zealand. *Energy Policy* 37(9): 3387-99.

**IEA, 2014.** Key World Energy Statistics.

International Energy Agency. In: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2014.pdf>, 2014. (visitado 24.4.15).

**INE, 2012.** Censo de Población y Vivienda 2012. Instituto Nacional de Estadísticas. En: [inec.cl](http://inec.cl) (visitado 30.9.14).

**INE, 2007.** VII Censo Agropecuario y Forestal. Instituto Nacional de Estadísticas. En: [censoagropecuario.cl/](http://censoagropecuario.cl/), 2007. (visitado 30.9.14).

**INFOR, 2009.** Compendio de propiedades de las maderas nativas y exóticas de Chile. Instituto Forestal. Santiago de Chile p. 108.

**INFOR, 2010.** Anuario forestal 2010. Instituto Forestal. Boletín técnico N° 128, Santiago de Chile. p. 134.

**Isaacs, N.; Saville-Smith, K.; Camilleri, M. and Burrough, L., 2010.** Energy in New Zealand Houses: Comfort, physics and consumption. *Build Res. Inf.* 38(5): 470-80.

**Johnson, E., 2009.** Goodbye to carbon neutral: Getting biomass footprints right. *Environ Impact Assess Rev.* 29(3): 165-8.

**Kanagawa, M. and Nakata, T., 2007.** Analysis of the energy access improvement and its socio-economic impacts in rural areas of developing countries. *Ecol. Econ.* 62(2): 319-29.

**Lewis, C. A., 1997.** Fuel and energy production emission factors. MEET project: Methodologies for estimating air pollutant emissions from transport. Deliverable N°. 20. U.K. p. 56. In: <http://www.inrets.fr/ur/lte/cost319/MEEtdeliverable20.pdf> (visitado 30.9.14).

**Li, Z.; Sjödin, A.; Romanoff, L. C.; Horton, K.; Fitzgerald, C. L.; Eppler, A.; et al., 2011.** Evaluation of exposure reduction to indoor air pollution in stove intervention projects in Peru by urinary bio-monitoring of polycyclic aromatic hydrocarbon metabolites. *Environ Int.* 37(7): 1157-63.

**Lim, S. S.; Vos, T.; Flaxman, A. D.; Danae, G.; Shibuya, K.; Adair-Rohani, H.; et al., 2012.** A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990-2010: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet* 380: 2224-60.

**Lundmark, R. and Mansikkasalo, A., 2009.** European trade of forest products in the presence of EU policy. *J. Clean Prod.* 17(Suppl. 1): S18-26.

**MacCarty, N.; Ogle, D.; Still, D.; Bond, T. and Roden, C., 2008.** A laboratory comparison of the global warming impact of five major types

of biomass cooking stoves. *Energy Sustain Dev* 12(2): 56–65.

**Marín, S.; Nahuelhual, L.; Echeverría, C. and Grant, W. E., 2011.** Projecting landscape change in southern Chile: Simulation of human and natural processes driving land transformation. *Ecol. Model* 222(15): 2841–55.

**Medel, I., 2008.** Determinación de radios de abastecimiento de leña para la ciudad de Valdivia. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Talca. 100 pp.

**Ministerio de Desarrollo Social de Chile, 2011.** Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN) En: [redatam.org/redchl/mds/casen/casen2011/Index.html](http://redatam.org/redchl/mds/casen/casen2011/Index.html). (visitado 30.9.14).

**Ministerio de Medio Ambiente (MMA), 2013.** Contaminación del Aire. En: [http://www.mma.gob.cl/1304/articles-52016\\_Capitulo\\_1.pdf](http://www.mma.gob.cl/1304/articles-52016_Capitulo_1.pdf). (visitado 29.4.15).

**Ministerio de Medio Ambiente (MMA), 2015.** Sistema de información nacional de calidad del aire. Región de los Ríos. En: <http://sinca.mma.gob.cl/index.php/region/index/id/XIV>. (visitado 29.4.15).

**Ministerio de Minas y Energía de Brasil, 2009.** Energía renovable Brasil. En: [mme.gov.br/mme/menu/todas\\_publicacoes.html](http://mme.gov.br/mme/menu/todas_publicacoes.html), (visitado 30.9.14).

**Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment of Netherland, 2000.** Eco-Indicator 99. Manual for designers. A damage oriented method for life cycle impact assessment.

**Monahan, J. and Powell, J. C., 2011.** A comparison of the energy and carbon implications of new systems of energy provision in new build housing in the UK. *Energy Policy* 39(1): 290–8.

**Moore, R., 2012.** Definitions of fuel poverty: Implications for policy. *Energy Policy* 49(1): 19–26.

**Murray, C. J. L., 1994.** Quantifying the burden of disease: The technical basis for disability-adjusted life years. *Bull World Health Organ* 72: 429–45.

**Natural Resources Canada (NRC), 2010.** The addition of freight emissions to GHGenius. Office of Energy Efficiency. S&T Consultants. p. 33. In: [ghgenius.ca/reports/GHGeniusFreightEmissions.pdf](http://ghgenius.ca/reports/GHGeniusFreightEmissions.pdf). (visitado 30.9.14).

**Natural Resources Canada (NRC), 2011.** Comprehensive Energy Use Database. In: [oee.nrcan.gc.ca/corporate/statistics/neud/dpa/trends\\_res\\_bc.cfm](http://oee.nrcan.gc.ca/corporate/statistics/neud/dpa/trends_res_bc.cfm). (visitado 30.9.14).

**Olivares, P.; Pavez, C. y Pérez, J. L., 2009.** Tipología de comerciantes de leña del sur de Chile y principales instrumentos de apoyo.

Boletín Técnico N° Chile: Proyecto Certificación de Leña. Valdivia. p. 16.

**Peel, M. C.; Finlayson, B.L. and McMahon, T. A., 2007.** Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 11(5): 1633–44.

**Pénard-Morand, C.; Raheison, C.; Charpinf, D.; Kopferschmitt, C.; Lavaud, F.; Caillaud, D.; et al., 2010.** Long-term exposure to close-proximity air pollution and asthma and allergies in urban children. *Eur Respir J* 36(1): 33–40.

**Pitt, M., 1985.** Equity, externalities and energy subsidies. The case of kerosene in Indonesia. *J. Dev. Econ.* 17(3): 201–17.

**Prockop, L. D. and Chichkova, R. I., 2007.** Carbon monoxide intoxication: An updated review. *J. Neurol. Sci.* 262(1–2): 122–30.

**Rabl, A.; Benoist, A.; Dron, D.; Peuportier, B.; Spadaro, J. V. and Zoughaib, A., 2007.** How to account for CO2 emissions from biomass in an LCA. *Int. J. LCA* 12(5): p. 281.

**Ramirez, J. C. and Silva, I., 2008.** Globalization and regional development: The economic performance of Chile's regions, 1990–2002. *CEPAL Rev.* 95: 103–23.

**Rehner, J.; Baeza, S. and Barton, J., 2014.** Chile's resource-based export boom and its outcomes: Regional specialization, export stability and economic growth. *Geoforum* 56(1): 35–45.

**Reyes, R., 2004.** Umbrales de sostenibilidad para comunidades humanas rurales en áreas forestales (Tesis de magister) Valdivia: Universidad Austral de Chile. p. 99.

**Reyes, R., 2013.** Consumo de combustibles derivados de la madera en Chile. En: Reyes, R y Neira, E., editores. Leña: energía renovable para la conservación de los bosques nativos de Chile. Valdivia, Chile: MIRA Ediciones. p. 79.

**Reyes, R. y Frene, C., 2006.** Utilización de Leña como combustible en la ciudad de Valdivia. *Bosque Nativo* 39: 10–7.

**Ruiz, P. A.; Toro, C.; Cáceres, J.; López, G.; Oyola, P. and Koutrakis, P., 2000.** Effect of gas and kerosene space heaters on indoor air quality: A study in homes of Santiago, Chile. *J. Air Waste Manag. Assoc.* 60(1): 98–108.

**Ruiz-Mercado, I.; Masera, O.; Zamora, H. and Smith, K. R., 2011.** Adoption and sustained use of improved cookstoves. *Energy Policy* 39(12): 7557–66.

**Sanhueza, P.; Torreblanca, M.; Diaz-Robles, L.; Schiappacasse, L.; Silva, M. and Astete, T., 2009.** Particulate air pollution and health effects for cardiovascular and respiratory

causes in Temuco, Chile: A woodsmoke-polluted urban area. *J. Air Waste Manag. Assoc.* 59(12):1481–8.

**Schueftan, A. and González, A., 2013.** Reduction of firewood consumption by households in south-central Chile associated with energy efficiency programs. *Energy Policy* 63: 823–32.

**Secretaría de Medio Ambiente Región de Los Ríos, 2014.** Monitoreo de la calidad del aire para PM10 y PM2,5, Comuna de Valdivia año 2013, Estación Parque Kraemer. p. 9.

**Shively, G. E., 2001.** Agricultural change, rural labor markets, and forest clearing: An illustrative case from the Philippines. *Land Econ.* 77(2): 268–84.

**Sikkema, R.; Steiner, M.; Junginger, M.; Hiegl, W.; Hansen, M. T. and Faaij, A., 2011.** The European wood pellet markets: Current status and prospects for 2020. *Biofuels Bioprod. Biorefin.* 5(3): 250–78.

**Sorrell, S.; Dimitropoulos, J. and Sommerville, M., 2009.** Empirical estimates of the direct rebound effect: A review. *Energy Policy* 37(4): 1356–71.

**Sovacool, B. K., 2012.** The political economy of energy poverty: A review of key challenges. *Energy Sustain Dev.* 16(3): 272–82.

**Srogi, K., 2007.** Monitoring of environmental exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: A review. *Environ. Chem. Lett.* 5(4):169–95.

**Thyholt, M. and Hestnes, A. G., 2008.** Heat supply to low-energy buildings in district heating areas. Analyses of CO2 emissions and electricity supply security. *Energy Build* 40(2): 131–9.

**Ulloa, P.; Contreras, C. G. y Collados, E., 2011.** Medidas costo-efectivas para reducir la contaminación del aire generada por la combustión de leña en ciudades del sur de Chile. Chile: División Políticas y Regulaciones Ambientales, Ministerio del Medio Ambiente. p. 19.

**Ward, T. J.; Palmer, C. P.; Houck, J. E.; Navidi, W.C.; Geinitz, S. and Noonan, C. W., 2009.** Community woodstove changeout and impact on ambient concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons and phenol. *Environ. Sci. Technol.* 43(14): 5345–50.

**WHO, 1987.** Health impact of low indoor temperatures. Report on a WHO meeting. World Health Organization, Copenhagen, Denmark. p. 36.

**Zamorano, C.; Cayuela, L.; Rey-Benayas, J.M.; Donoso, P. J.; Geneletti, D. and Hobbs, R. J., 2014.** The differential influences of human-induced disturbances on tree regeneration community: A landscape approach. *Ecosphere* 5(7): 1–17.

a) Inventario de insumos

**Etapa 1:** Tala de árboles y corte de madera. Medel (2008) estima que, en promedio, una motosierra (0,72 litros de bencina) produce 3,62 m<sup>3</sup> de troncos de un metro de largo<sup>19</sup>. Esto equivale a 0,2 litros de bencina por metro cúbico sólido de madera (0,00002766 litros de bencina por MJ de leña). El proceso de corte de madera (convertir troncos de 1 metro de largo a trozos pequeños de leña de 33 cm, listos para el consumo) requiere 0,25 litros de bencina por metro cúbico (0,00003458 litros de bencina por MJ de leña) (Medel, 2008).

**Etapa 2:** Transporte. En Chile, casi el 100% del petróleo es importado. Así que, tanto para la parafina como para el gas licuado se consideraron dos tipos de transporte: entre países productores de petróleo y las refinerías chilenas (zona central), y entre las refinerías chilenas y la ciudad de Valdivia. Debido a que la leña se produce localmente, sólo se consideró un tipo de transporte entre los bosques y la ciudad de Valdivia.

**Tabla A.1. Distancias y consumo de energía**

Distancias y consumos	Leña	Petroleo crudo	Gas licuado	Gasolina	Diésel
Distancia promedio desde países productores de petróleo (km)*	-	6.576	3.246	9.426	11.953
Consumo de energía buques tanques (MJ/ton km)**		0,0867	0,0867	0,0867	0,0867
Distancia promedio desde las refinerías a Valdivia (km)		600	600	600	600
Distancia promedio desde los bosques a Valdivia (km)*	97,5				
Consumo de energía camiones cisterna (km/litro)***	4,5	2,8	2,8	2,8	2,8

\* Promedio ponderado desde los países productores de petróleo a Chile entre 2007 y 2011 (CNE, 2012), y Medel (2008) en el caso de la leña.  
 \*\* Se consideraron buques tanques con un peso promedio de 150.000 toneladas (DWT) (Natural Resources Canada, 2010). Se asumió que los buques que transportan gas licuado tienen un peso y consume energético similar a aquellos que transportan petróleo crudo, kerosene, diésel y gasolina.  
 \*\*\* Se consideraron camiones nuevos con una capacidad de 30.000 litros para gas licuado y kerosene. En el caso de la leña se consideraron camiones viejos con una capacidad de 20 metros de leña (12,8 m<sup>3</sup> sólidos). Los valores de eficiencia para los camiones leñeros fue obtenida de los comerciantes de leña (eficiencia promedio entre camión cargado y descargado).

Según la CNE (2012), entre 2007 y 2011 el 100% de la parafina, el 43% del gas licuado, el 81% de la bencina y el 44% del diésel consumido a nivel nacional fueron refinados en Chile. La distancia promedio que recorrió el petróleo crudo fue de 6.576 kilómetros, mientras que el gas licuado (principalmente Argentino), la bencina (Puerto Rico, Canadá y otros) y el diésel (Puerto Rico, Corea del Sur y otros) recorrieron una distancia promedio de 3.246, 9.426 y 11.953 kilómetros, respectivamente. Según la Tabla A.1, el consumo de energía de un buque-tanque es de 0,0867 MJ por tonelada-kilómetro. Esto equivale a 0,00040, 0,00019, 0,00059 y 0,00075 litros de combustible pesado por MJ de petróleo crudo, gas licuado, bencina y diésel, respectivamente, transportado a las costas de Chile. Considerando que una parte de estos combustibles se produce localmente a partir de petróleo crudo, el consumo final equivale a 0,00040, 0,00028, 0,00044 y 0,00059 litros de combustible pesado por MJ de parafina, gas licuado, bencina y diésel, respectivamente. En el caso del transporte terrestre, se requieren 430 litros de diésel para recorrer 1.200 km de ida y vuelta entre las refinerías y la ciudad de Valdivia. Esto equivale a 0,00040 y 0,00056 litros de diésel por MJ de parafina y gas licuado, respectivamente. Por otra parte, se requieren 43 litros de diésel para recorrer 194 kilómetros (ida y vuelta) y transportar 12,8 m<sup>3</sup> de leña, lo que equivale a 0,00046 litros de diésel por MJ de leña trasladada.

## b) Inventario de emisiones

**Etapas 1:** Extracción y refinación del petróleo crudo. Los factores de emisión fueron tomados de Lewis (1997), suponiendo un proceso de refinación simple. Estas emisiones resultan de la combustión y evacuación de gases derivados de la combustión relacionada con la refinación y producción de 1 MJ de combustible (Tabla A.2).

**Tabla A.2. Emisiones de la extracción y refinación de petróleo crudo**

Gases	Extracción		Refinación	
	Calefactor kerosene (kg/MJ)	Calefactor gas licuado (kg/MJ)	Calefactor kerosene (kg/MJ)	Calefactor gas licuado (kg/MJ)
CO <sub>2</sub>	3,223E-03	3,533E-03	2,200E-03	3,500E-03
CO	1,391E-06	1,525E-06	4,800E-07	7,800E-07
NOx	9,055E-06	9,925E-06	5,500E-06	8,900E-06
SO <sub>2</sub>	5,270E-10	5,780E-10	4,430E-05	6,090E-05
CH <sub>4</sub>	1,399E-05	1,534E-05	1,900E-07	2,800E-07
PM	0,000E+00	0,000E+00	5,100E-07	8,300E-07

Fuente: factores de emisión tomados de Lewis (1997).

**Etapas 2:** Tala de árboles y corta de madera. Las emisiones relacionadas se presentan en la Tabla A.3. Los factores de emisión para ambos tipos de estufas a leña fueron tomados de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, 1996). Las emisiones relacionadas con la extracción, refinación y el transporte de bencina (motosierra) están incluidas. Es importante señalar que las estufas convencionales producen grandes cantidades de emisiones por MJ de calefacción efectiva, debido a su baja eficiencia (EPA, 1996).

**Tabla A.3. Emisiones de la cosecha y picado de leña**

Gases	Cosecha		Picado	
	Estufa convencional (kg/MJ)	Estufa no catalítica (kg/MJ)	Estufa convencional (kg/MJ)	Estufa no catalítica (kg/MJ)
CO <sub>2</sub>	1,319E-04	9,889E-05	1,651E-04	1,239E-04
CO	4,756E-05	3,567E-05	5,978E-05	4,484E-05
NOx	1,273E-06	9,545E-07	1,598E-06	1,199E-06
SO <sub>2</sub>	2,052E-07	1,539E-07	2,521E-07	1,891E-07
CH <sub>4</sub>	2,802E-08	2,102E-08	3,406E-08	2,554E-08
TOC	2,300E-06	1,725E-06	2,890E-06	2,168E-06
PM	1,98148E-09	1,48611E-09	2,40824E-09	1,80618E-09

Fuente: factores de emisión de EPA (1996).

**Etapas 3:** Transporte marítimo y terrestre. Las emisiones relacionadas se visualizan en la tabla A.4. La extracción, refinación y el transporte también están incluidos, tanto por el consumo de combustible pesado de buque tanques como por el consumo del diésel de camiones cisterna.

Tabla A.4.

**Emissiones del transporte**

Gases	Buques tanques		Camiones cisternas			
	Calefactor kerosene (kg/MJ)	Calefactor gas licuado (kg/MJ)	Calefactor kerosene (kg/MJ)	Calefactor gas licuado (kg/MJ)	Estufa a leña (kg/MJ)	
					Conven.	No-catalí.
CO <sub>2</sub>	1,013E-03	1,102E-03	1,063E-03	1,627E-03	2,484E-03	1,863E-03
CO	2,225E-08	2,420E-08	2,959E-08	4,528E-08	6,912E-08	5,184E-08
NOx	1,589E-07	1,729E-07	2,378E-07	3,639E-07	5,555E-07	4,166E-07
SO <sub>2</sub>	8,849E-07	2,489E-07	8,849E-07	1,354E-06	2,067E-06	1,550E-06
CH <sub>4</sub>	2,960E-07	3,066E-07	2,652E-07	4,058E-07	6,195E-07	4,646E-07
PM	9,646E-09	3,477E-09	9,646E-09	1,476E-08	2,253E-08	1,690E-08
N <sub>2</sub> O	2,416E-08	2,628E-08	2,746E-08	4,201E-08	6,413E-08	4,810E-08

Fuente: factores de emisión de EPA (1996)

**Etapa 4:** Consumo. Las emisiones relacionadas se presentan en la Tabla A.5. En el caso de la leña, las emisiones de CO<sub>2</sub> fueron consideradas cero (las emisiones relacionadas con el transporte se tomaron en cuenta en la etapa anterior, lo que se considera neutro en esta etapa es solamente el dióxido de carbono que se genera durante la combustión).

Tabla A.5.

**Emissiones asociadas al consumo de los combustibles**

Gases	Combustión			
	Calefactor kerosene (kg/MJ)	Calefactor gas licuado (kg/MJ)	Estufa a leña* (kg/MJ)	
			Convencional	No-catalítico
CO <sub>2</sub>	6,602E-02	5,873E-02	0,000E+00	0,000E+00
CO	1,535E-05	3,524E-05	1,275E-02	5,832E-03
NOx	5,528E-05	6,108E-05	1,546E-04	1,160E-04
SO <sub>2</sub>	1,744E-05	8,457E-08	2,209E-05	1,657E-05
CH <sub>4</sub>	5,466E-06	9,397E-07	1,657E-03	6,627E-04
PM	1,228E-06	3,289E-06	1,690E-03	6,047E-04
N <sub>2</sub> O	1,535E-07	4,229E-06	1,657E-05	1,243E-05
TOC	7,656E-06	4,699E-06	2,927E-03	4,970E-04
Benzene	6,572E-10		1,070E-04	8,027E-05
Toluene	1,904E-08		4,031E-05	3,024E-05
o-Xylene	3,347E-10		1,116E-05	8,366E-06
Cadmium	1,222E-09		1,215E-09	8,284E-10
Chromium	2,595E-09		5,522E-11	4,142E-11
Manganese	9,213E-09		9,388E-09	5,799E-09
Nickel	2,595E-07		7,731E-10	8,284E-10
Ethane			8,118E-05	6,088E-05
Ethylene			2,480E-04	1,860E-04
Acetylene			6,207E-05	4,655E-05
Propane			1,977E-05	1,483E-05
Propene			6,870E-05	5,152E-05
i-Butane			1,546E-06	1,160E-06
n-Butane			3,093E-06	2,319E-06
Butenes			6,583E-05	4,937E-05
Pentenes			3,402E-05	2,551E-05
Furan			1,889E-05	1,417E-05
MethylEthylKetone			1,602E-05	1,201E-05
2-Methyl Furan			3,623E-05	2,717E-05
2,5-Dimethyl Furan			8,946E-06	6,710E-06
Furfural			2,684E-05	2,013E-05

\* Las emisiones de CO<sub>2</sub> fueron consideradas neutras.  
Fuente: factores de emisión de EPA (1996).

# BES

BOSQUES | ENERGÍA | SOCIEDAD

Número 01 | OCT. 2015

Proyecto apoyado por

