

# BES

BOSQUES | ENERGÍA | SOCIEDAD



**BES | Nº 8 | AÑO 4**  
ENERO 2018

ISSN: 0719-7136



## CONSUMO DE COMBUSTIBLES DERIVADOS DE LA MADERA Y TRANSICIÓN ENERGÉTICA EN LA REGIÓN DEL MAULE

# BES

---

BOSQUES | ENERGÍA | SOCIEDAD

**Informes BES** | Número 08 | Año 04 | ENE. 2018  
**Producción y diagramación:** Luz Díaz V., Arquitecto, Investigadora Instituto Forestal. **Editor general:** René Reyes, Ingeniero Forestal (Ph.D.), Investigador Instituto Forestal. **Comité editor:** Janina Gysling, Investigadora Instituto Forestal; Iván Quiroz (Ph.D.), Investigador Instituto Forestal. **Colaboradores:** Catalina Zumaeta, Geógrafa.

UNA PUBLICACIÓN:



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



**Instituto Forestal**  
Sucre 2397 Ñuñoa  
Santiago, Chile  
Fono. +56 2 23669115

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

ISSN: 0719-7136

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

Reyes, R., Sagardía, R., Schueftan A. 2018. Consumo de combustibles derivados de la madera y transición energética en la Región del Maule. En: Informes técnicos BES, Bosques - Energía - Sociedad, Año 4. N° 8. Enero 2018. Observatorio de los Combustibles Derivados de la Madera OCDM. Instituto Forestal, Chile. p. 24.

# índice

**03** RESUMEN

**04** 1. INTRODUCCIÓN

**05** 2. MÉTODOS

**09** 3. RESULTADOS

**17** 4. DISCUSIÓN Y  
CONCLUSIONES

**22** 5. REFERENCIAS

**23** 6. ANEXOS

# CONSUMO DE COMBUSTIBLES DERIVADOS DE LA MADERA Y TRANSICIÓN ENERGÉTICA EN LA REGIÓN DEL MAULE

René Reyes<sup>a</sup>, Rodrigo Sagardia<sup>a</sup>, Alejandra Schueftan<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Instituto Forestal, Fundo Teja Norte s/n, Valdivia, Chile.

## RESUMEN

La región del Maule es una de las zonas del país que cuenta con menos información sobre el consumo de combustibles derivados de la madera. En 2015, el consumo regional de leña se estimó en 469.734 m<sup>3</sup> sólidos, lo que difiere enormemente de estimaciones previas. Este estudio pretende despejar esas diferencias, a partir de muestreos y censos realizados en distintos sectores económicos de la región. De acuerdo a estos resultados, en 2016 la región consumió 1.144.973 m<sup>3</sup> sólidos de leña, 430.641 m<sup>3</sup> sólidos de desechos forestales y 8.649 toneladas de carbón vegetal (76.781 m<sup>3</sup> sólidos de madera empleados como materia prima). En el sector residencial urbano la leña satisface el 68% del consumo total de energía. La probabilidad de que un hogar urbano utilice leña disminuye con el tamaño del área urbana, el gasto en calefacción (variable proxy del ingreso) y aumenta con la cantidad de personas que habitan la vivienda, mientras que el volumen de consumo aumenta con las precipitaciones, la cantidad de calefactores instalados en la vivienda y el consumo de especies exóticas, y disminuye con el consumo de kerosene. En grandes áreas urbanas, el proceso de transición energética se caracteriza por un reemplazo gradual de leña por kerosene en familias de ingresos medios, y en menor medida por electricidad en familias de ingresos altos, mientras que en pequeñas áreas urbanas se observa una mayor penetración del carbón vegetal en viviendas de ingresos medios y bajos, asociado a aspectos culturales (uso de brasero).

**Palabras clave** | leña, calefacción, transición energética, bosque nativo, región del Maule.



Imagen 1.  
Utilización de leña para calentar agua en hogares rurales de la Región del Maule

## 1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo al último balance energético del Ministerio de Energía, la biomasa y en especial los combustibles derivados de la madera (CDM) satisfacen el 24% del consumo de energía primaria en Chile, constituyéndose en la segunda fuente de energía más importante después del petróleo (Ministerio de Energía, 2016). Sin embargo, a pesar de su importancia, los CDM no tienen reconocimiento legal, razón por la cual no existen normas que regulen su producción, comercialización y consumo, ni instituciones encargadas de monitorear el mercado y mantener estadísticas. Durante las últimas tres décadas se han realizado varios estudios sobre el consumo nacional de leña y otros combustibles derivados de la madera. El primero, realizado por INFOR (1994), estimó un consumo nacional de leña de 9,6 millones de m<sup>3</sup> sólidos y 3 millones de m<sup>3</sup>

sólidos de desechos forestales. Posteriormente, Gómez-Lobo et al (2006) estimaron un consumo nacional de leña de 14,8 millones de m<sup>3</sup> sólidos<sup>1</sup> y 5 millones de m<sup>3</sup> sólidos de desechos forestales. El año 2014 el Ministerio de Energía encargó una nueva medición del consumo nacional de CDM. Este estudio, llevado a cabo por la Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción (CDT), estimó un consumo nacional de leña de 7,5 millones de m<sup>3</sup> sólidos (CDT, 2015). Si bien, esta nueva estimación ha contribuido a mejorar el conocimiento sobre el consumo nacional de leña, también ha generado incertidumbre debido a las enormes diferencias que presenta con respecto a estudios previos. Dichas diferencias se exacerban al no haberse considerado el consumo de desechos forestales, estimado en

varios millones de metros cúbicos (Gómez-Lobo et al., 2006; CNE-GTZ, 2008). Al mismo tiempo, se observa un proceso de transición energética mucho más rápido e intenso de lo esperado, el cual no ha sido estudiado adecuadamente. Las diferencias observadas a nivel nacional se repiten en la región del Maule. Mientras CDT (2015) estimó un consumo regional de leña de 469.734 m<sup>3</sup> sólidos/año, INFOR (1994) y Gómez-Lobo et al (2006) estimaron volúmenes muy superiores (1.320.000 y 2.827.000 m<sup>3</sup> sólidos/año, respectivamente). En ese contexto, el siguiente artículo tiene por finalidad contribuir a aclarar las cifras sobre consumo de leña y otros combustibles derivados de la madera en la región del Maule, y analizar el proceso de transición energética que se está produciendo en el sector residencial urbano.

<sup>1</sup> En este documento 1 metro cúbico sólido de leña o desechos forestales se estandarizó en 730 kilos.



## 2. MÉTODOS

### 2.1. Área de estudio

La región del Maule se encuentra entre los 34°43' y 36°01' latitud sur, y es una de las quince regiones administrativas de Chile (Figura 1). La región tiene una superficie de 30.296 km<sup>2</sup>, los cuales están divididos en cuatro unidades fisiográficas: Planicies Litorales, Cordillera de la Costa, Depresión Intermedia y Cordillera de Los Andes. La región del Maule limita por el norte con la región de O'Higgins, por el sur con la región del Biobío, por el este con Argentina y por el oeste con el Océano Pacífico. Esta área tiene un clima templado, con una temperatura media de 16,3°C y una precipitación promedio de 713 mm anuales (Castillo, 2001).

Un 25% de la región está cubierta por praderas y matorrales, un 22% por terrenos agrícolas, un 20% por plantaciones forestales, un 13% por bosque nativo, un 16% por áreas sin vegetación (alta montaña) y un 4% por otros usos (CONAF, 2011). El bosque nativo presenta diferencias importantes a través del gradiente

edafoclimático. En la zona costera queda poco bosque, aunque persisten algunos relictos de Roble-Hualo, mientras que en la Depresión Intermedia predomina el bosque esclerófilo (principalmente bosquetes de *Acacia caven* (Molina) Molina). En la Cordillera de los Andes, en tanto, existe presencia de bosques de Roble-Hualo y Roble-Raulí-Coigüe (Donoso, 1993).

Las plantaciones de *Pinus radiata* D. Don y *Eucaliptus* sp. se concentran en la Cordillera de la Costa, y se utilizan para abastecer de materia prima a plantas de celulosa, aserraderos, plantas de tableros, etc.<sup>2</sup>, los cuales producen miles de toneladas de desechos forestales, entre los cuales destacan aserrín, viruta, corteza y despuntes (INFOR, 2017). Estos desechos se utilizan para generar energía en las mismas plantas donde se producen, y en cientos de establecimientos comerciales que los obtienen a un costo menor que la leña. A partir del 2009, estos desechos comienzan a emplearse también para producir pellet de madera. Desde un punto de vista productivo, la región del Maule no

sólo produce madera y celulosa; la fruticultura (manzanas, peras, cerezas, etc.), las viñas y la agroindustria (arroz y remolacha, entre otras) también son importantes. Todas estas actividades generan miles de toneladas de madera de desecho (ramas y fustes) y biomasa, las cuales se utilizan como combustible en las mismas plantas de procesamiento, o se transforman en leña y carbón (Figura 2).

### 2.2. Estimación del consumo de leña y otros combustibles

Debido a que los resultados finales del Censo de Población y Vivienda 2017 aún no están disponibles, el tamaño de la población (total de viviendas habitadas en áreas urbanas y rurales) tuvo que ser estimado. Para esto se utilizaron los resultados preliminares del Censo de Población y Vivienda 2017 y censos anteriores. En base a la cantidad de habitantes por vivienda en 1982, 1992 y 2002 (urbana y rural) y al porcentaje de ruralidad, se proyectó la cantidad de viviendas urbanas y rurales por comuna (Anexo 1).

En el sector residencial urbano se definieron tres estratos, de acuerdo al tamaño del área urbana (Ábalos, 1997). Para estimar el número de encuestas por estrato se utilizó la siguiente expresión:

$$n = \frac{(np \times p \times (1-p))}{[(np-1) \times (B/C)^2 + p \times (1-p)]} \quad (1)$$

Donde,

n= viviendas a encuestar

np= total de viviendas habitadas

p= proporción de la muestra (50%)

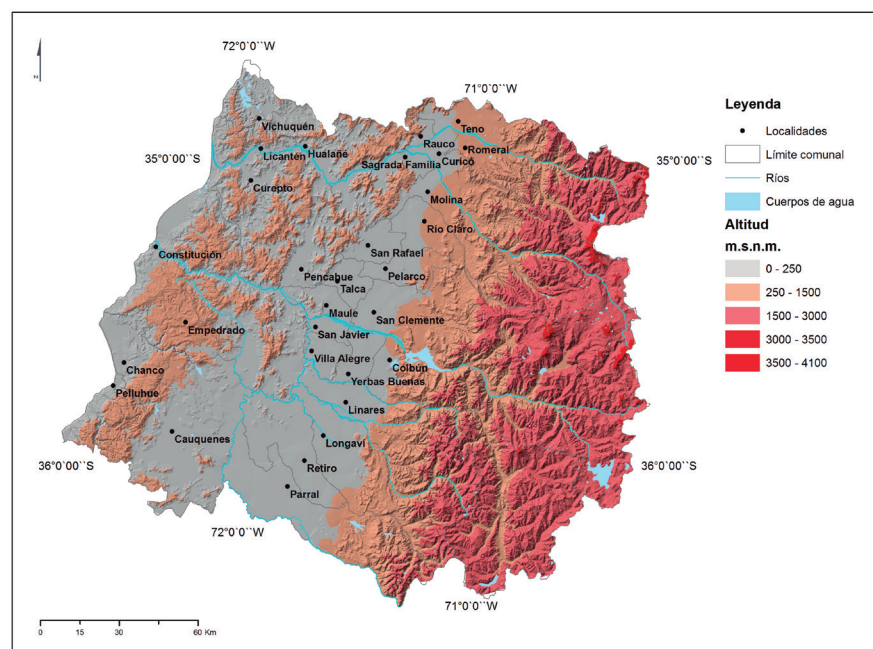
B= margen de error (10%)

C= valor crítico para distribución normal con nivel de confianza de 95% (1,96)

Considerando un 10% de error, el tamaño de la muestra en cada uno de los estratos fluctuó entre 95 y 100 viviendas, debido a que el tamaño de la población (np) era bastante similar entre estratos. En los estratos 1 y 2 la muestra se

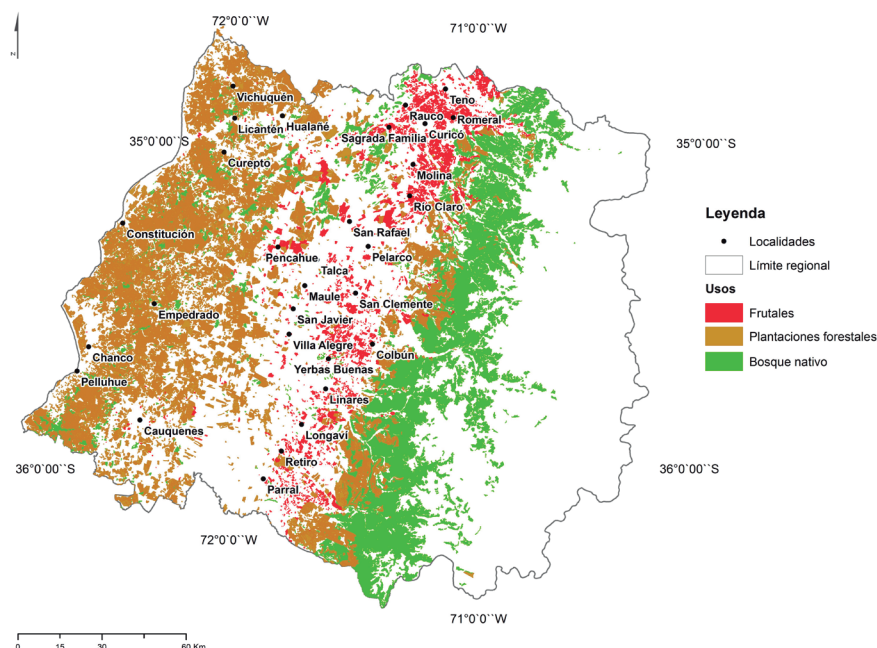
Figura 1.

Área de estudio



<sup>2</sup> Un incendio forestal afectó a cerca del 30% de estas plantaciones en el verano del 2017, lo cual produjo un enorme impacto ambiental, social y económico.

Figura 2.  
**Bosques nativos, plantaciones forestales y áreas cubiertas por frutales**



distribuyó de manera proporcional al número de viviendas existentes en cada ciudad. En el estrato 3 no fue posible utilizar el mismo procedimiento debido al tamaño y dispersión de los poblados, razón por la cual se seleccionó aleatoriamente un subgrupo donde se distribuyó la muestra. Los estratos definidos fueron los siguientes<sup>3</sup>:

1. Áreas urbanas grandes (más de 40 mil habitantes): Talca, Curicó y Lináres.
2. Áreas urbanas intermedias (entre 15-40 mil habitantes): Constitución, Cauquenes, Parral, Molina y San Javier.
3. Áreas urbanas pequeñas (entre 1-15 mil habitantes): San Clemente, Pelluhue, Teno, Villa Alegre, Longaví, Hualañé, Maule, Colbún, Chanco, Sarmiento, Licantén, Romeral, Curepto, San Rafael, Retiro, Los Pellines, Rauco, Empedrado, Cumpeo, Sagrada Familia, Santa Olga, Villa Prat, Huilquilemo, Pelarco, Panguilemo, Pencahue, Villa Los Niches, Panimávida, Villa Francia, Yerbabuenas, Las Obras, Vara Gruesa, Copihue, Bobadilla, San Alberto, Itahue Uno y Chacarillas.

Dentro del polígono urbano de cada ciudad se seleccionaron puntos de muestreo al azar mediante sistemas de información geográficos (Figura 3).

El consumo total de leña del sector residencial urbano se estimó de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$C = \sum_{i=1}^3 ((Li \times Pi \times Hi) \times 0,64) \quad (2)$$

Donde,  
C= consumo de leña del sector residencial urbano (m<sup>3</sup> sólidos/año)  
Li= consumo promedio de leña por vivienda en el estrato i (m<sup>3</sup> estéreo/vivienda/año)<sup>4</sup>  
Pi= penetración del consumo de leña en el estrato i (% de las viviendas que consumen leña)  
Hi= cantidad de viviendas que pertenecen al estrato i (viviendas)  
0,64= factor para transformar metros cúbicos estéreo a metros

cúbicos sólidos.

Para estimar el consumo total de carbón vegetal, pellets y otros combustibles se utilizó un procedimiento similar. Cuando las viviendas seleccionadas estaban deshabitadas o cuando las personas no quisieron responder la encuesta, se recurrió a puntos de muestreo de reemplazo, previamente seleccionados.

En el caso del sector residencial rural, el tamaño de la muestra se estimó a través del mismo procedimiento (ecuación 1). Las muestras fueron seleccionadas al azar utilizando la aplicación Randomize de Arcview 3.11. A través de esta aplicación se marcaron aleatoriamente 100 puntos de muestreo en la región del Maule, los cuales fueron visitados para aplicar la encuesta. Cuando no fue posible aplicarla, se sortearon nuevos puntos de muestreo en su reemplazo. El consumo total de leña y carbón vegetal se estimó siguiendo el mismo procedimiento utilizado en el sector residencial urbano (ecuación 2). Se asumió que el consumo de leña de familias con tierra (predios rurales) es similar al de familias sin tierra<sup>5</sup>.

En el caso de la industria manufacturera, se utilizó la Encuesta Nacional Industrial Anual 2013 (ENIA) proyectada al año 2016 (INE, 2013), y el VII Catastro de la Industria Forestal Primaria<sup>6</sup> (INFOR, 2016). ENIA censa a los establecimientos que tienen más de 10 trabajadores<sup>7</sup>, pero sólo toma una muestra de los más pequeños, lo cual implica que los resultados obtenidos en este sector corresponden a una subestimación del consumo real de leña y desechos forestales.

En el caso del sector comercial se aplicó una encuesta a 100 empresas que prestan servicios de alojamiento (hoteles, hostales, y otros). La muestra se seleccionó aleatoriamente a partir del Registro Nacional de Prestadores de Servicios Turísticos actualizado a agosto del 2016. En los subsectores

<sup>3</sup> Estratos estimados en base a INE (2005).

<sup>4</sup> El promedio sólo considera a las viviendas que consumen leña.

<sup>5</sup> Esto corresponde a familias que viven en pequeños pueblos y localidades que no alcanzan a ser consideradas áreas urbanas, y que no corresponden a predios rurales propiamente tal.

<sup>6</sup> Esto permitió mejorar la estimación del consumo de desechos forestales (autoconsumo de aserraderos).

<sup>7</sup> La restricción del número de trabajadores no se aplica para aquellos establecimientos pertenecientes a empresas que se desempeñan en más de una actividad económica y/o tienen más de una planta. En estos casos la información del establecimiento se levanta aun cuando hayan menos de 10 trabajadores (INE, 2013).



educación privada, salud privada y edificios comerciales se realizó un censo. En este sector se contabilizó el consumo de leña, carbón vegetal y pellets, al igual que en el sector público. En este último se realizó un censo en los 30 municipios que conforman la región del Maule, considerando educación municipal (DAEM y corporaciones educacionales), salud municipal, y otros (edificio consistorial), además de los hospitales públicos de la región y otros edificios públicos no municipales.

### 2.3. Transición energética en el sector residencial urbano

La encuesta aplicada en el sector residencial urbano contempló un set de preguntas orientadas a caracterizar el consumo de leña en la vivienda, pero también el consumo de otros combustibles. De esta forma, fue posible estimar el consumo final de energía de cada una de las viviendas, lo que incluye la energía utilizada en calefacción, cocina, agua caliente sanitaria, iluminación y uso de electrodomésticos (no incluye transporte). Los factores utilizados para la transformación de unidades fueron los siguientes:

$$L_i = V_{ij} (\text{m}^3 \text{ estéreo/año}) \times 0,64 (\text{m}^3 \text{ sólidos/m}^3 \text{ estéreo}) \times 730 (\text{kilos/m}^3 \text{ sólido}) \times 3,33 (\text{kWh/kilo}) \quad (3)$$

$$G_i = V_{ij} (\text{kilos/año}) \times 14,06 (\text{kWh/kilo}) \quad (4)$$

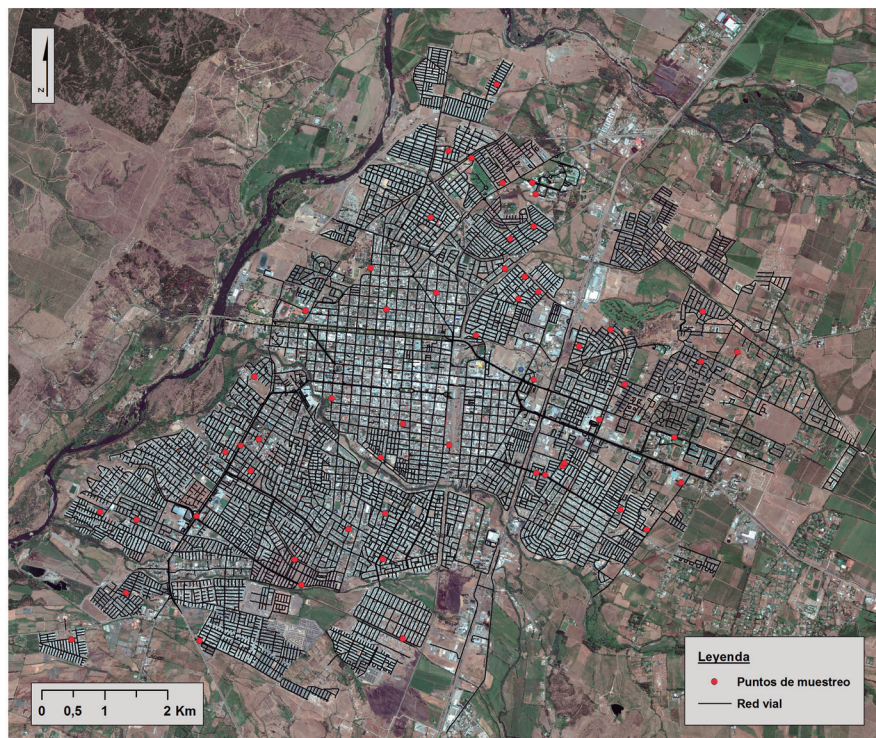
$$K_i = V_{ij} (\text{litros/año}) \times 10,44954 (\text{kWh/litro}) \quad (5)$$

$$E_i = (V_{ij} (\text{pesos/año}) - CF (\text{pesos/año})) / CV (\text{pesos/kWh}) \quad (6)$$

$$C_i = V_{ij} (\text{sacos/año}) \times 18 (\text{kilos/saco}) \times 8 (\text{kWh/kilo}) \quad (7)$$

Figura 3.

Asignación de puntos de muestreo en la ciudad de Talca



Donde,

$L_i$  = consumo de leña de la vivienda  $i$  (kWh/año)

$G_i$  = consumo de gas licuado de la vivienda  $i$  (kWh/año)

$K_i$  = consumo de kerosene de la vivienda  $i$  (kWh/año).

$E_i$  = consumo de electricidad de la vivienda  $i$  (kWh/año).

$C_i$  = consumo de carbón vegetal de la vivienda  $i$  (kWh/año).

$V_{ij}$  = volumen de consumo del combustible  $j$  y la vivienda  $i$  (unidad/año).

$CF$  = cargo fijo promedio sector residencial urbano región del Maule (pesos).

$CV$  = cargo variable promedio sector residencial urbano región del Maule (pesos/kWh).

Esta información permitió analizar la importancia relativa de los combustibles, sus niveles de penetración y consumo en las distintas localidades, entre otros

aspectos. Además, se realizó un análisis de regresión logística para identificar los factores (incluidos en la encuesta) que aumentan o disminuyen la probabilidad de que una vivienda consuma leña (consume leña= 1; no consume leña= 0), y un análisis de regresión Tobit para identificar los factores que más se asocian al volumen de consumo.

El modelo conceptual utilizado en el análisis fue el siguiente:

$$L_{ij} = f(A_j, C_j, F_{ij}, H_{ij}, P_{ij}, \xi_{ij}) \quad (8)$$

Donde,

$L_{ij}$  = consumo de leña de la familia  $i$  en el área urbana  $j$ .

$A_j$  = ubicación y características ambientales del área urbana  $j$ .

$C_j$  = características demográficas del área urbana  $j$ .

$F_{ij}$  = características de la familia  $i$  en el área urbana  $j$ .

$H_{ij}$  = hábitos de consumo de la



Cuadro 1.

**Variables utilizadas en el análisis**

| N° | Familia                                                         | Variable                                                        |
|----|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 1  | Ubicación y características ambientales del área urbana         | Latitud                                                         |
|    |                                                                 | Longitud                                                        |
|    |                                                                 | Altitud                                                         |
|    |                                                                 | Temperatura media anual                                         |
|    |                                                                 | Precipitaciones                                                 |
| 2  | Características demográficas del área urbana                    | Cantidad de viviendas habitadas                                 |
| 3  | Características de la familia                                   | Cantidad de personas que habitan la vivienda                    |
|    |                                                                 | Gasto anual en energía (variable proxy del ingreso)             |
| 4  | Disponibilidad de calefactores                                  | Cantidad de calefactores a leña instalados en la vivienda       |
|    |                                                                 | Disponibilidad de estufa a gas licuado (si o no)                |
|    |                                                                 | Disponibilidad de estufa a kerosene (si o no)                   |
|    |                                                                 | Disponibilidad de estufa eléctrica (si o no)                    |
|    |                                                                 | Disponibilidad de braseros (si o no)                            |
| 5  | Hábitos de consumo de la familia                                | Consumo de gas licuado para calefacción (kg/mes)                |
|    |                                                                 | Consumo de kerosene para calefacción (litros/mes)               |
|    |                                                                 | Consumo de electricidad para calefacción (horas de uso/día)     |
|    |                                                                 | Consumo de carbón vegetal para calefacción (sacos/año)          |
|    |                                                                 | Preferencia por las especies exóticas (% respecto a vol. total) |
|    |                                                                 | Preferencia por las especies nativas (% respecto a vol. total)  |
| 6  | Percepciones subjetivas del tomador de decisiones de la familia | Satisfacción con su actual sistema de calefacción               |
|    |                                                                 | Gasto excesivo en calefacción (interrumpe calefacción)          |

familia  $i$  en el área urbana  $j$ .

$P_{ij}$  = percepciones subjetivas del tomador de decisiones de la familia  $i$  en el área urbana  $j$ .

$\xi_{ij}$  = error asociado a la familia  $i$  en el área urbana  $j$ .

Las variables utilizadas en el análisis se presentan en el Cuadro 1.

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software

SAS®. El análisis de regresión logística ha sido ampliamente utilizado en la literatura relativa a toma de decisiones (Joshi and Mehmood, 2011; Mon et al., 2012), mientras que el análisis de regresión Tobit se emplea cuando existe una gran cantidad de ceros en la base de datos (viviendas que no consumen leña, distribución

truncada). Ambos análisis emplearon el Factor de Inflación de Varianza (VIF en inglés) para detectar problemas de multicolinealidad, y selección de variables hacia adelante y hacia atrás (proceso iterativo). Finalmente, aquellas variables que tenían una distribución exponencial fueron transformadas utilizando

logaritmo en base diez o raíz cuadrada para mejorar su desempeño.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Evaluación del consumo de leña en la región del Maule

##### a) Sector residencial urbano

El consumo de leña del sector residencial urbano de la región del Maule es de 538.909 m<sup>3</sup> sólidos/año, el 21% del cual se concentra en la ciudad de Talca, el 16% en Linares y el 13% en Curicó (Figura 4). El 57,2% de las viviendas urbanas de la región del Maule consumen leña a un promedio de 3,9 m<sup>3</sup> sólidos/año (considerando sólo viviendas que consumen)<sup>8</sup>. El 79% del consumo total de leña de este sector corresponde a especies exóticas (52% eucaliptus, 8% pino

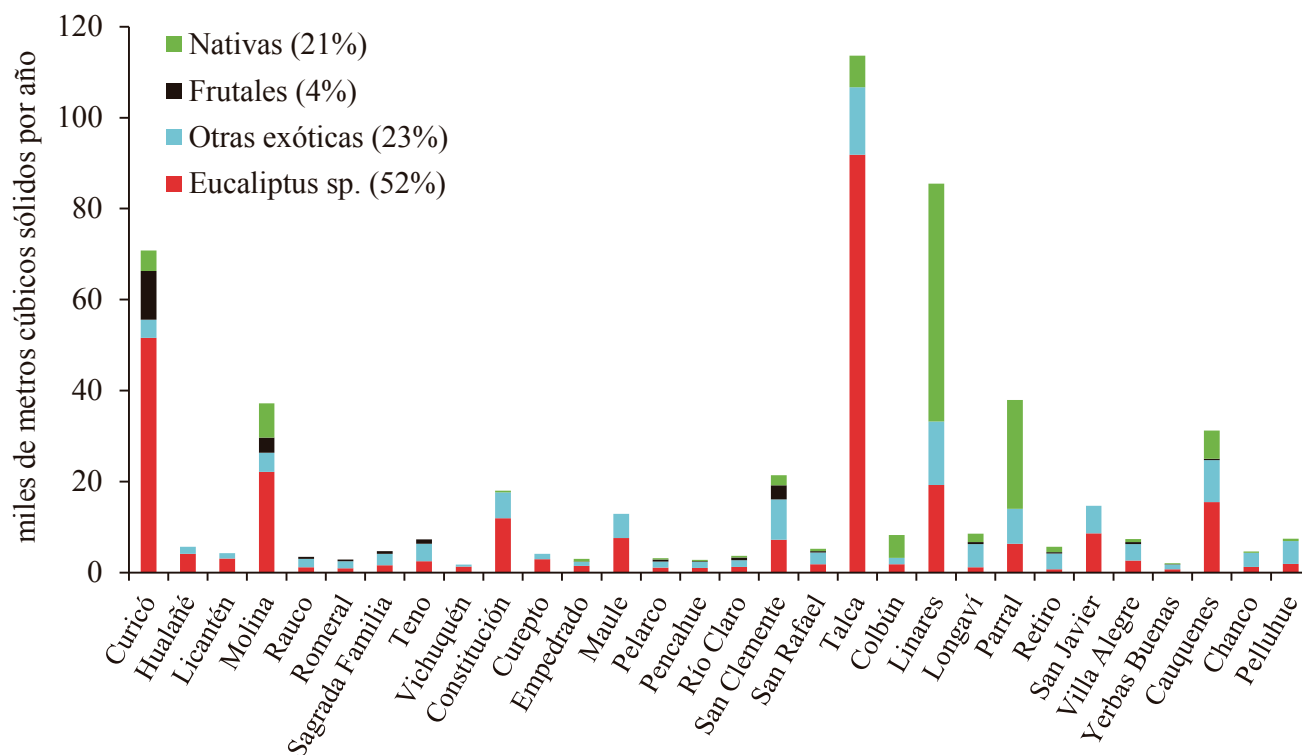
insigne, 15% otras exóticas<sup>9</sup> y 4% frutales) y el 21% restante a especies nativas (*Nothofagus obliqua*, *Nothofagus glauca*, entre otras) (Cuadro 2). El 94% del volumen se utiliza para calefacción y sólo el 6% para cocinar y calentar agua. El 80% de la leña que se consume en el sector residencial urbano se compra y el 20% restante se obtiene de forma gratuita a través de recolección o regalo. El precio de la leña varía entre las distintas ciudades, con un promedio regional de \$27.000 por metro cúbico estéreo (valor sin IVA a marzo del 2017). La leña de *Pinus radiata* es la más barata, con un promedio de \$20.933 por metro cúbico estéreo<sup>10</sup> (Figura 5). A partir de esta información, se estima que el gasto en leña realizado por el sector residencial urbano el año 2016 fue de \$18.193.000.000 (leña comprada), lo que equivale

aproximadamente a 28 millones de dólares (cambio a 650 pesos por dólar)<sup>11</sup>. La leña de *Eucaliptus sp.* y otras exóticas es abundante en toda la región, mientras que la leña de frutales y especies nativas tienen una disponibilidad más limitada. La leña de frutales, por ejemplo, es más abundante en la zona norte de la región, mientras que la leña nativa lo es en el sur y en áreas precordilleranas.

Por otra parte, el 6% de las viviendas urbanas de la región<sup>12</sup> consumen carbón vegetal para calefacción a un promedio de 6,4 sacos<sup>13</sup>/año (desviación estándar= 5,0 sacos/año), considerando sólo viviendas que consumen (95 mil sacos anuales). Utilizando un factor de transformación de 4 sacos de carbón por metro cúbico estéreo de leña, el consumo total de carbón vegetal para calefacción en áreas urbanas implica el procesamiento

Figura 4.

Consumo de leña por comuna y especie en el sector residencial urbano de la región del Maule



<sup>8</sup> Desviación estándar= 2,3 m<sup>3</sup> sólidos/año. El intervalo de confianza del promedio fluctúa entre 3,6 y 4,2 m<sup>3</sup> sólidos/año, al 95% de confianza.

<sup>9</sup> Este grupo está compuesto por distintas especies de aromo (*Acacia sp.*), sauce (*Salix sp.*) y álamo (*Populus sp.*).

<sup>10</sup> 1 m<sup>3</sup> estéreo = 0,64 m<sup>3</sup> sólidos. El precio corresponde a leña no certificada.

<sup>11</sup> No considera la leña que se recolecta o recibe como regalo, la cual evita un gasto de 7 millones de dólares anuales. En este análisis no se considera el gasto asociado a la recolección: tiempo, bencina y otros insumos.

<sup>12</sup> 4% en ciudades grandes e intermedias y 18% en áreas urbanas pequeñas.

<sup>13</sup> Sacos de 18 kilos.

Cuadro 2.

**Penetración, consumo y composición del consumo de leña por comuna**

| Comuna          | Penetración (%) <sup>1</sup> | Consumo (m <sup>3</sup> sólidos/año) | Composición (%) |                             |          |         |
|-----------------|------------------------------|--------------------------------------|-----------------|-----------------------------|----------|---------|
|                 |                              |                                      | Eucaliptus sp.  | Otras exóticas <sup>2</sup> | Frutales | Nativas |
| Curicó          | 42                           | 70.812                               | 73              | 6                           | 15       | 6       |
| Hualañé         | 80                           | 5.659                                | 72              | 28                          | 0        | 0       |
| Licantén        | 80                           | 4.271                                | 72              | 28                          | 0        | 0       |
| Molina          | 87                           | 37.163                               | 59              | 11                          | 9        | 20      |
| Rauco           | 71                           | 3.472                                | 34              | 53                          | 13       | 0       |
| Romeral         | 71                           | 2.843                                | 34              | 53                          | 13       | 0       |
| Sagrada Familia | 71                           | 4.676                                | 34              | 53                          | 13       | 0       |
| Teno            | 71                           | 7.288                                | 34              | 53                          | 13       | 0       |
| Vichuquén       | 81                           | 1.766                                | 72              | 28                          | 0        | 0       |
| Constitución    | 44                           | 17.999                               | 66              | 32                          | 0        | 2       |
| Curepto         | 80                           | 4.090                                | 72              | 28                          | 0        | 0       |
| Empedrado       | 81                           | 2.980                                | 49              | 30                          | 1        | 20      |
| Maule           | 47                           | 12.902                               | 59              | 41                          | 0        | 0       |
| Pelarco         | 81                           | 3.159                                | 34              | 41                          | 15       | 10      |
| Pencahue        | 81                           | 2.764                                | 36              | 49                          | 5        | 10      |
| Río Claro       | 81                           | 3.638                                | 34              | 41                          | 15       | 10      |
| San Clemente    | 92                           | 21.365                               | 34              | 41                          | 15       | 10      |
| San Rafael      | 81                           | 5.207                                | 36              | 49                          | 5        | 10      |
| Talca           | 48                           | 113.660                              | 81              | 13                          | 0        | 6       |
| Colbún          | 81                           | 8.227                                | 23              | 16                          | 0        | 61      |
| Linares         | 71                           | 85.456                               | 23              | 16                          | 0        | 61      |
| Longaví         | 79                           | 8.509                                | 13              | 61                          | 5        | 21      |
| Parral          | 75                           | 37.945                               | 17              | 20                          | 0        | 63      |
| Retiro          | 79                           | 5.665                                | 13              | 61                          | 5        | 21      |
| San Javier      | 46                           | 14.631                               | 59              | 41                          | 0        | 0       |
| Villa Alegre    | 81                           | 7.389                                | 36              | 49                          | 5        | 10      |
| Yerbas Buenas   | 81                           | 2.049                                | 36              | 49                          | 5        | 10      |
| Cauquenes       | 64                           | 31.224                               | 49              | 30                          | 1        | 20      |
| Chanco          | 81                           | 4.645                                | 26              | 67                          | 0        | 7       |
| Pelluhue        | 81                           | 7.454                                | 26              | 67                          | 0        | 7       |
| Total           | 57                           | 538.909                              | 51              | 24                          | 4        | 21      |

<sup>1</sup> Proporción de viviendas que utilizan leña.<sup>2</sup> Otras exóticas se refiere básicamente a aramo (*Acacia* sp.), sauce (*Salix* sp.) y álamo (*Populus* sp.).

de 15.244 m<sup>3</sup> sólidos de madera al año. El precio promedio del carbón vegetal es de \$9.946 por saco (valor sin IVA a marzo del 2017; desviación estándar: \$2.640), lo que genera un gasto total de \$947.000.000 (1,5 millones de dólares a 650 pesos por dólar). No se registró un consumo significativo de pellets ni de otros combustibles derivados de la

madera en el sector residencial urbano.

## b) Sector residencial rural

El consumo de leña en el sector residencial rural de la región del Maule es de 578.243m<sup>3</sup> sólidos/año. Todas las comunas de la región presentan un consumo importante, en especial San Clemente, Maule y

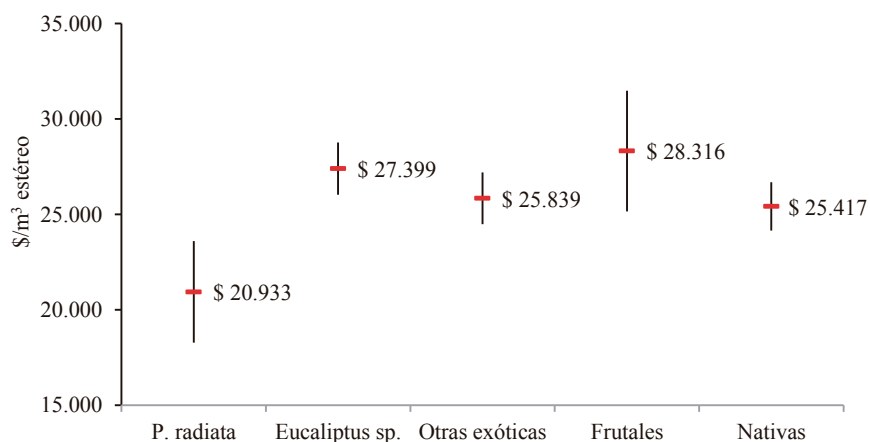
Curicó (Figura 6). El 87% de las viviendas rurales consumen leña, a un promedio de 5,5 m<sup>3</sup> sólidos/año (considerando sólo viviendas que consumen; desviación estándar= 3,3 m<sup>3</sup> sólidos/año)<sup>14</sup>. El 90% de la leña que se consume en este estrato se recolecta y el 10% se compra. El precio promedio de la leña en áreas rurales es de \$20.000 por metro cúbico estéreo (pesos a

<sup>14</sup> El intervalo de confianza del promedio fluctúa entre 4,4 y 6,6 m<sup>3</sup> sólidos/año al 95%.



Figura 5.

**Precio de la leña por especie a marzo del 2017 en la región del Maule (promedio y su intervalo de confianza al 95%)**



marzo del 2017), lo que genera un gasto total de \$1.807.000.000 (2,8 millones de dólares a un cambio de 650 pesos chilenos por dólar)<sup>15</sup> considerando sólo a las viviendas que compran leña.

Por otra parte, el 35% de las viviendas rurales de la región consumen carbón vegetal para calefacción a un promedio de 9,1 sacos/año (desviación estándar: 5,0 sacos/año), considerando sólo a aquellas viviendas que consumen. Esto resulta en un consumo total de 385 mil sacos/año. Utilizando un factor de transformación de 4 sacos de carbón por metro cúbico estéreo de leña, este volumen implica el procesamiento de 61.538 m³ sólidos de madera al año (maderas nativas y exóticas).

Es importante mencionar, sin embargo, que tanto los niveles de penetración, como los volúmenes y porcentajes de recolección podrían estar levemente sobreestimados debido a que la encuesta residencial rural se aplicó sólo a familias con tierra (predios rurales), excluyendo a aquellas que el censo agropecuario denomina familias sin tierra (viviendas que se ubican en pueblos, aldeas y caseríos que no

alcanzan a ser consideradas zonas urbanas), donde todos estos valores podrían disminuir.

#### c) Sector industrial

El consumo de leña en el sector industrial manufacturero alcanza los 27.369 m³ sólidos/año (INE, 2013), más 430.641 m³ sólidos/año de desechos forestales (aserrín, corteza, viruta, etc.) que se emplean en aserraderos (219.313 m³ sólidos) y en plantas que producen pasta de madera, papel y cartón (211.328 m³ sólidos) (INE, 2013; INFOR, 2016). El consumo de leña y desechos forestales está subestimado en la medida que la Encuesta Nacional Industrial Anual (ENIA) sólo censa establecimientos que tienen más de 10 trabajadores, mientras que en el resto se toma una muestra. En este segmento no se observó consumo de carbón vegetal y pellets. Desafortunadamente ENIA no provee información a nivel comunal.

#### d) Sector comercial y público

En el subsector “alojamientos” un

59% de los establecimientos consumen leña a un promedio de 9,2 m³ sólidos/año<sup>16</sup>. Tanto la penetración como los niveles de consumo varían de acuerdo al tipo de establecimiento considerado. El 83% de los establecimientos dedicados al camping consumen leña a un promedio de 5,2 m³ sólidos/año (desviación estándar de 4,5 m³ sólidos/año). En el segmento de cabañas, sólo el 41% consume leña a un promedio de 10,7 m³ sólidos/año (desviación estándar de 5,4 m³ sólidos/año), mientras que en el segmento de hoteles, hostales y residenciales el 61% consume leña a un promedio de 9,9 m³ sólidos/año (desviación estándar de 13,0 m³ sólidos/año). El consumo total de leña en este sector alcanza los 2.003 m³ sólidos/año, un 63% de los cuales se utilizan en hoteles, hostales y residenciales, el 27% en cabañas y el 10% restante en campings. Además, el 7% de los establecimientos utilizan carbón vegetal y el 2% pellets, aunque el volumen de consumo es marginal. En lo que respecta al sector público, el consumo de leña, desechos forestales y carbón vegetal es marginal.

### 3.2. Transición energética en el sector residencial urbano

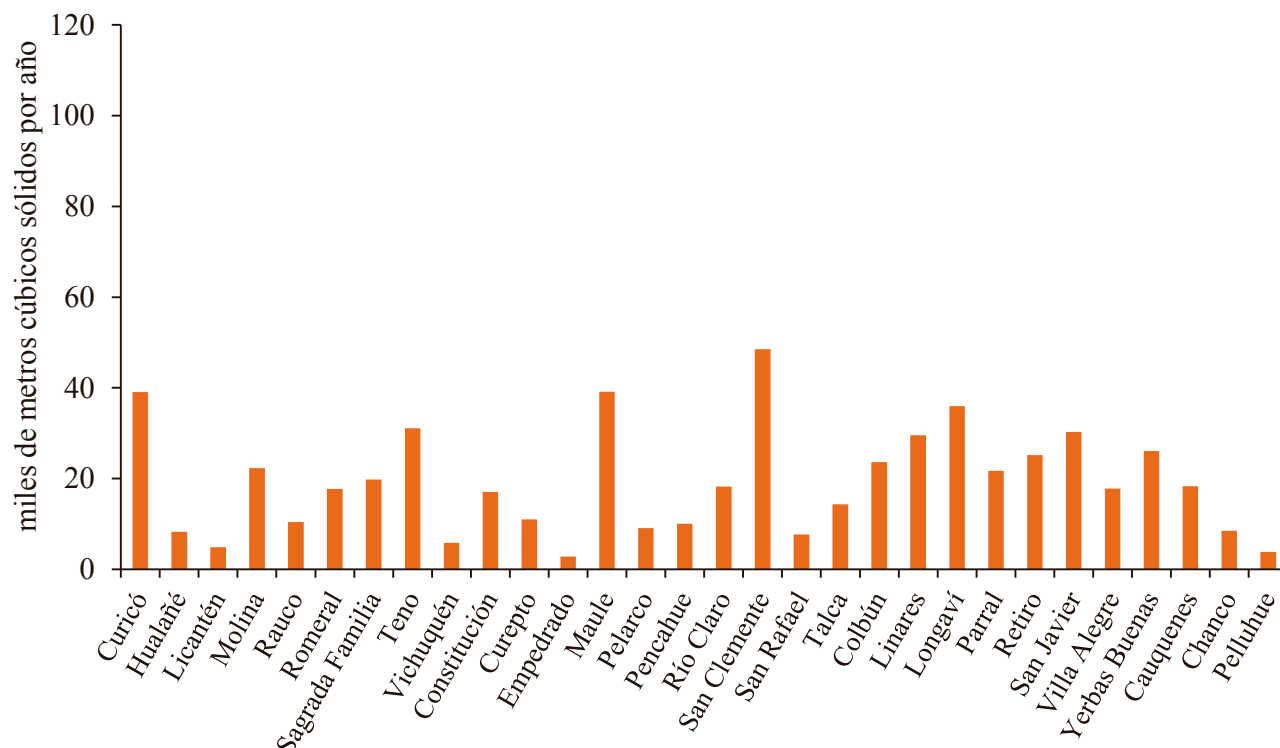
En 2016, el consumo final de energía en el sector residencial urbano de la región del Maule fue de 1.903 gigawatt-hora (no considera transporte), de los cuales el 68,9% proviene de la quema de leña, seguido por electricidad (30,1%)<sup>17</sup>, carbón vegetal (0,7%), gas licuado (0,2%) y kerosene (0,1%) (Figura 7). En promedio, las viviendas urbanas de la región del Maule consumen 7.908 kWh/año, dos tercios se los cuales se utilizan en la temporada otoño-invierno (mayo a septiembre) en calefacción.

<sup>15</sup> La leña que se recolecta o recibe como regalo evita un gasto de 29,3 millones de dólares anuales. En este análisis no se considera el gasto asociado a la recolección: tiempo, bencina y otros insumos.

<sup>16</sup> Este consumo es mayor al observado en el sector residencial debido al tamaño de los edificios y a la intensidad de uso de los calefactores.

<sup>17</sup> No fue posible estimar qué proporción de la electricidad se utiliza en calefacción.

Figura 6.

**Consumo de leña por comuna en el sector residencial rural de la región del Maule**

El 100% de las viviendas consumen electricidad y el 99% gas licuado para cocinar y calentar agua. El kerosene, utilizado básicamente para calefacción, se emplea entre el 10% y 30% de las viviendas dependiendo del tamaño del área urbana (promedio de 21% a nivel regional, con porcentajes más altos en ciudades grandes), el gas licuado entre el 26% y 56% (promedio de 39% a nivel regional), y el carbón vegetal entre el 3% y 18% (promedio de 6% a nivel regional, con porcentajes más altos en áreas urbanas pequeñas). El acceso a estos combustibles es relativamente sencillo, a excepción del kerosene cuya disponibilidad depende de la presencia de gasolineras (no todos los pueblos cuentan con una).

Calefaccionar las viviendas es la actividad que demanda una mayor cantidad de energía en áreas

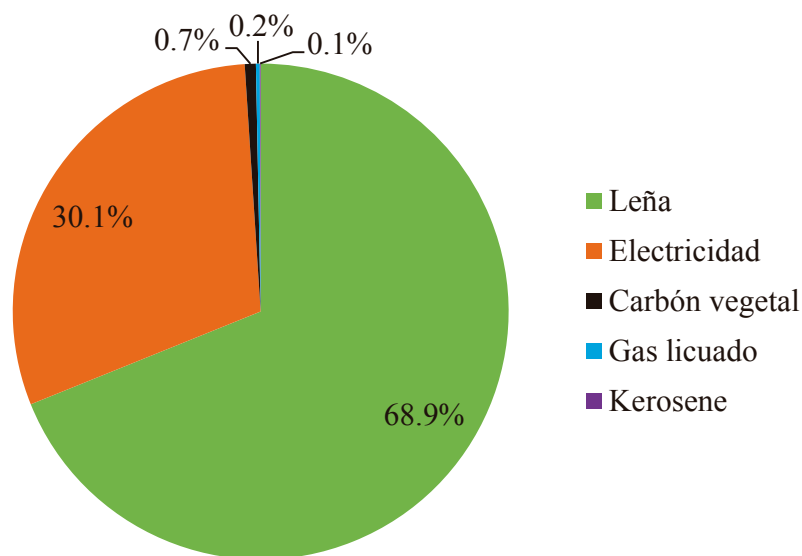
urbanas de la región, para lo cual se emplea el 94% de la leña y buena parte del carbón vegetal (braseros), el kerosene, y una pequeña fracción del gas licuado y la electricidad. La importancia relativa de los distintos combustibles cambia a nivel comunal, aunque leña y electricidad siguen siendo las principales fuentes de energía. Las áreas urbanas de Talca, Linares y Curicó consumen el 25%, 15% y 15% de la energía total, respectivamente (Figura 8).

El consumo de leña es importante en todas las comunas, aunque el porcentaje de viviendas que la utilizan (penetración) varía significativamente (entre 42% y 92%, ver Cuadro 2). Cuando los datos se analizan a nivel de ciudad, el 45,6% de la variabilidad en la penetración del consumo de leña se explica por el tamaño del área

urbana (Figura 9, primer gráfico en el costado superior-izquierdo). Algo similar, pero atenuado, se observa en el caso del carbón vegetal ( $R^2 = 26,8\%$ ). Esto quiere decir que cuando el área urbana crece, la penetración de la leña y el carbón vegetal disminuyen. Por el contrario, la proporción de viviendas que consumen kerosene y electricidad para calefacción aumenta con el tamaño del área urbana, efecto que es mucho más fuerte en el caso del kerosene ( $R^2 = 48,7\%$ ). Con respecto al gas licuado no se observa una relación entre el tamaño del área urbana y la proporción de viviendas que utilizan este combustible para calefacción.

Cuando se realiza un análisis más fino (a nivel de vivienda) con respecto a las factores que inciden en la decisión de utilizar leña para calefacción, cuatro variables permiten predecir el 75% de los

Figura 7.

**Composición del consumo final de energía en el sector residencial urbano de la región del Maule**

casos: tamaño del área urbana (cantidad de viviendas), gasto en energía (\$/familia/año), tamaño del grupo familiar, y valoración del sistema de calefacción (Cuadro 3). Nuevamente aparece el tamaño del área urbana como un factor que incide en la decisión de utilizar leña. De hecho, la probabilidad de que una vivienda urbana utilice leña disminuye un 337% por cada punto de aumento del logaritmo de la cantidad de viviendas urbanas. La probabilidad también disminuye cuando aumenta el gasto en energía (disminución del 471% por cada punto de aumento de la raíz cuadrada del gasto en energía), variable que debe considerarse proxy del ingreso. Por lo tanto, cuando el ingreso del grupo familiar aumenta la probabilidad de utilizar leña disminuye. Por el contrario, la probabilidad de que una vivienda urbana utilice leña aumenta cuando aumenta el tamaño del grupo familiar (aumento del 482% por cada punto

de aumento en la raíz cuadrada de la cantidad de personas que habitan la vivienda), y cuando las personas tienen una percepción positiva de su actual sistema de calefacción (aumento del 286%). Con respecto al volumen de consumo, los resultados muestran un incremento en el consumo de leña en la medida que aumentan las precipitaciones (Cuadro 4). Otras variables ambientales, tales como temperatura media, latitud, longitud y altitud del área urbana donde se emplaza la vivienda, no tuvieron una relación estadísticamente significativa con el volumen de consumo, aunque probablemente la temperatura expresada de otra forma (ej. cantidad de horas bajo 18° C) sí podría tenerla. Al respecto, parece importante profundizar en este tema para entender mejor la relación entre el consumo de leña y factores ambientales, especialmente en un contexto de cambio climático.

Otras variables que inciden en el volumen de consumo son el gasto anual en energía (variable proxy del ingreso familiar), la cantidad de calefactores a leña que están instalados en la vivienda, y la importancia de las especies exóticas en el volumen total (%). Cuando estas variables aumentan se incrementa también el volumen de consumo de leña. El número de calefactores existentes en una vivienda puede estar indicando el tamaño de la vivienda, o simplemente una baja eficiencia térmica de la envolvente de la vivienda, mientras que el efecto que tienen las especies exóticas en aumentar el volumen de consumo se debería a su mayor disponibilidad y rango de precio. Por el contrario, cuando aumenta el consumo de kerosene se reduce el volumen de consumo de leña, mientras que el gas licuado, el carbón vegetal y la electricidad no muestran el mismo efecto.

Figura 8.

Consumo final de energía por comuna en el sector residencial urbano de la región del Maule

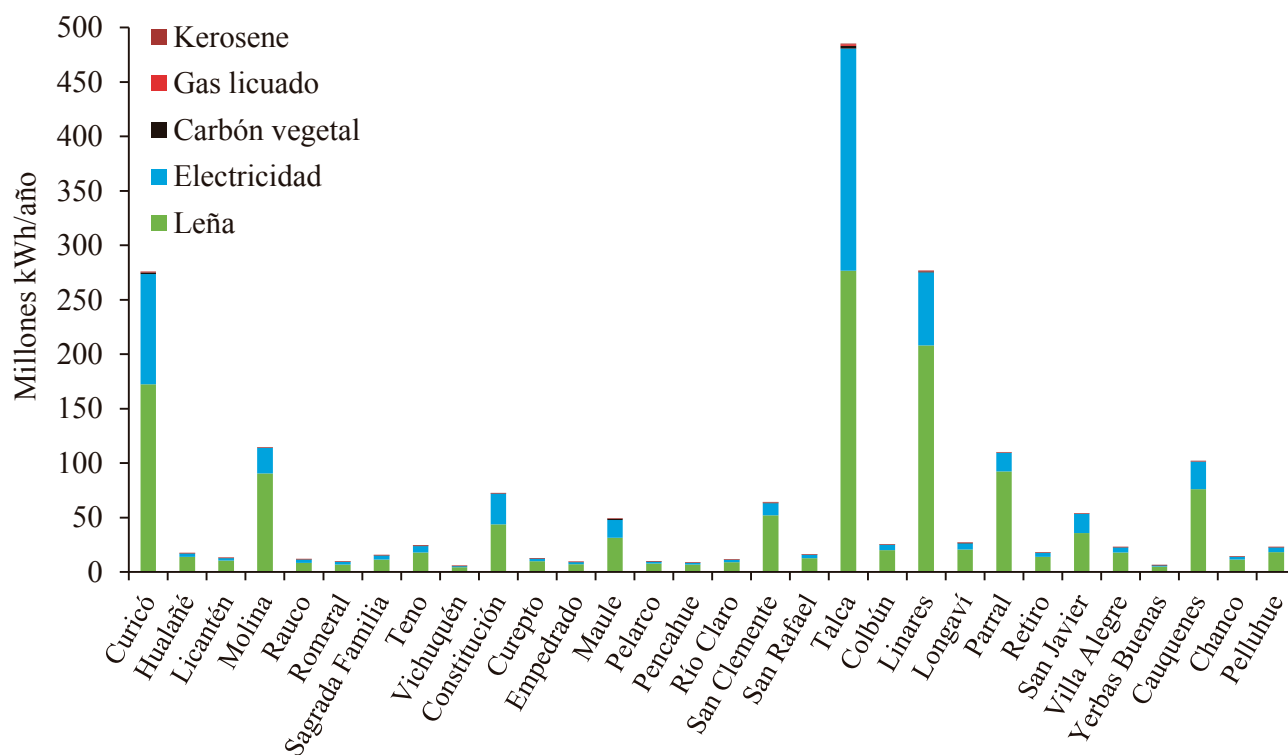
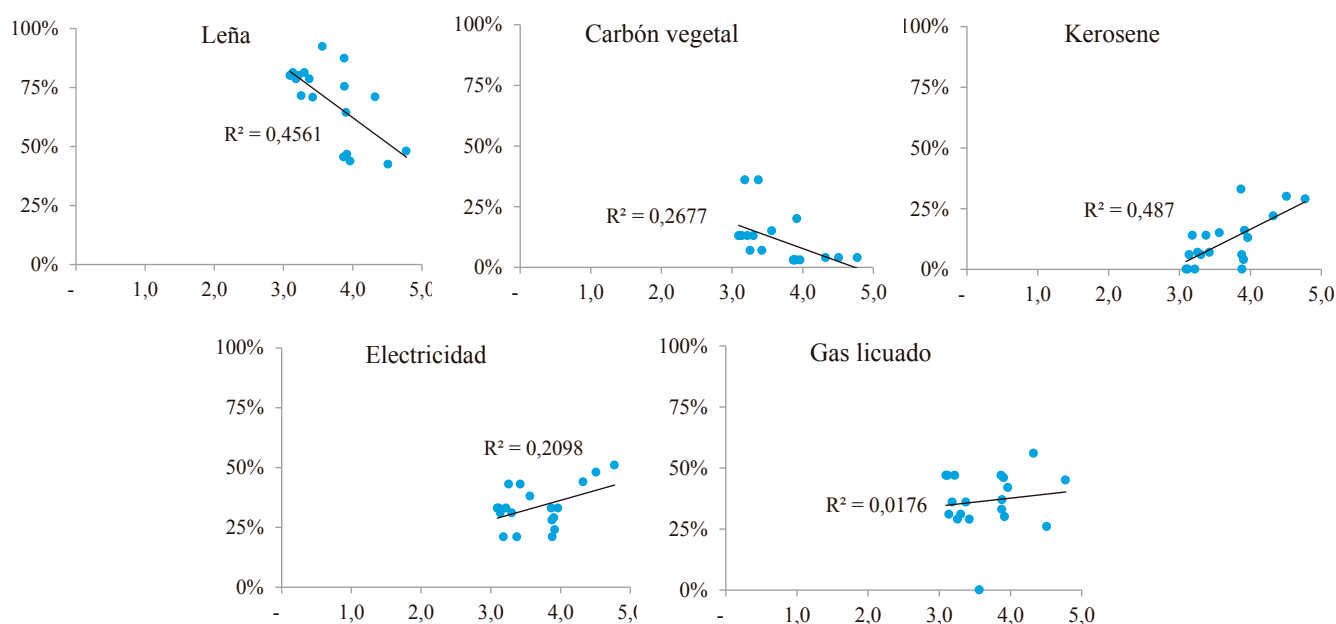


Figura 9.

Penetración de distintos combustibles utilizados para calefacción en función del tamaño del área urbana



Nota: El eje x expresa el logaritmo en base diez de la cantidad de viviendas por ciudad y el eje y representa el nivel de penetración de cada combustible (proporción de viviendas que lo utilizan). Estimación hecha en base a 19 áreas urbanas: Curepto, Licantén, Chanco, Retiro, Hualañé, Sagrada Familia, Pelluhue, Longaví, Teno, San Clemente, San Javier, Molina, Parral, Cauquenes, Maule, Constitución, Linares, Curicó y Talca.





Imagen 2.  
Horno para la producción de carbón en la comuna de Penciahue

Cuadro 3.  
Factores asociados a la decisión de consumir leña en el sector residencial urbano

| Variables                                                         | GL | Parámetros | Error estándar | Chi-cuadrado de Wald | Pr > ChiSq | Exp (Est) | Límites de confianza de Wald al 90% |       |
|-------------------------------------------------------------------|----|------------|----------------|----------------------|------------|-----------|-------------------------------------|-------|
| Intercepto                                                        | 1  | 3.3889     | 1.1761         | 8.3028               | 0.0040     | 29.634    |                                     |       |
| Logaritmo de la cantidad de viviendas habitadas en el área urbana | 1  | -1.2179    | 0.2659         | 20.9716              | <.0001     | 0.296     | 0.210                               | 0.416 |
| Raíz cuadrada de la cantidad de personas que habitan la vivienda  | 1  | 1.5734     | 0.3821         | 16.9542              | <.0001     | 4.823     | 2.956                               | 7.871 |
| Satisfacción con el sistema de calefacción (está satisfecho)      | 1  | 1.0534     | 0.2952         | 12.7285              | 0.0004     | 2.867     | 1.964                               | 4.186 |
| Raíz cuadrada del gasto anual en energía (millones de pesos/año)  | 1  | -1.5505    | 0.7937         | 3.8165               | 0.0507     | 0.212     | 0.077                               | 0.587 |





Cuadro 4.  
Factores asociados al volumen de consumo de leña en el sector residencial urbano

| Variable                                                             | gl | Parámetro | Error estándar | Valor t | Valor p | VIF     |
|----------------------------------------------------------------------|----|-----------|----------------|---------|---------|---------|
| Raíz cuadrada del monto de precipitación anual (mm)                  | 1  | 0.308059  | 0.098396       | 3.13    | 0.0017  | 1.16335 |
| Raíz cuadrada del gasto anual en energía (millones de pesos por año) | 1  | 4.129375  | 1.142274       | 3.62    | 0.0003  | 1.08423 |
| Logaritmo del consumo de kerosene para calefacción (litros/mes)      | 1  | -2.341174 | 0.514495       | -4.55   | <.0001  | 1.18473 |
| Proporción de especies exóticas (%)                                  | 1  | 0.034795  | 0.005554       | 6.27    | <.0001  | 1.98501 |
| Cantidad de calefactores a leña en la vivienda                       | 1  | 4.686135  | 0.529911       | 8.84    | <.0001  | 2.22763 |

Número de casos = 297, gl: grados de libertad, VIF: factor de inflación de varianza.

## 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Consumo de leña y otros combustibles derivados de la madera

En la región del Maule, el consumo de leña alcanzó 1.144.973 m<sup>3</sup> sólidos/año en 2016, lo que difiere significativamente de los 469.734 m<sup>3</sup> sólidos/año estimados por CDT (2015). A este consumo de leña hay que agregar 430.641 m<sup>3</sup> sólidos/año de desechos forestales<sup>18</sup> que se utilizan en la industria y 76.781 m<sup>3</sup> sólidos/año que se utilizan para producir carbón vegetal<sup>19</sup>, lo que da un consumo total de 1.652.396 m<sup>3</sup> sólidos/año de madera nativa y exótica utilizada con fines energéticos. El Cuadro 5 muestra

el consumo de leña de acuerdo a cuatro estudios realizados entre 1992 y 2017.

En dicho período, el consumo de leña del sector residencial urbano aumentó en un 31,4%. Sólo CDT (2015) difiere de esa tendencia, con una estimación muy inferior a lo señalado en los otros estudios. En el caso del sector residencial rural, el cual concentra buena parte del consumo total de leña, el consumo se redujo en un 30,4%. Si bien, la cantidad de viviendas rurales aumentó de 85.620 a 120.757 entre 1992 y 2016, el consumo por vivienda disminuyó de 9,7 m<sup>3</sup> sólidos/año a 5,5 m<sup>3</sup> sólidos/año (considerando sólo viviendas que consumen leña). Esta disminución se asocia a una menor cantidad de habitantes por vivienda (3,92 habitantes en 1992 versus 2,75 habitantes en 2016), al reemplazo

parcial de la leña como combustible para cocinar (INE, 1992; 2002) y a la mayor eficiencia de calefactores y viviendas, entre otros factores.

Las diferencias observadas entre el consumo residencial de leña que fue estimado en este estudio (INFOR, 2017) y CDT (2015) se deben a los siguientes factores:

1. En lo que respecta al método, CDT (2015) consideró un universo de 328.730 viviendas (urbanas y rurales), mientras que este estudio consideró 361.446 viviendas (INE, 2017).

2. En lo que respecta a los hallazgos, CDT (2015) estimó una penetración promedio del 62,4%, mientras que este estudio 67,6%. Además, CDT (2015) estimó un consumo promedio de leña de 1,9 m<sup>3</sup> sólidos/vivienda/año en áreas urbanas y 2,4 m<sup>3</sup> sólidos/vivienda/año en áreas

Cuadro 5.  
Consumo de leña en la región del Maule (m<sup>3</sup> sólidos/año)

| Sector             | INFOR (1994) <sup>1</sup><br>(Datos 1992) | %   | Gómez-Lobo<br>(2006) (Datos<br>2003) | %   | CDT (2015)<br>(Datos 2014) | %   | INFOR (2017)<br>(Datos 2016) | %   |
|--------------------|-------------------------------------------|-----|--------------------------------------|-----|----------------------------|-----|------------------------------|-----|
| Residencial urbano | 409.000                                   | 31  | 433.000                              | 15  | 199.560                    | 42  | 537.357                      | 47  |
| Residencial rural  | 831.000                                   | 63  | 1.304.000                            | 46  | 266.622                    | 57  | 578.243                      | 51  |
| Industrial         | 72.000                                    | 5   | 1.079.000                            | 38  | 2.922                      | 1   | 27.369                       | 2   |
| Comercial y públi. | 8.000                                     | 1   | 11.000                               | 0   | 630                        | 0   | 2.003                        | 0   |
| Total              | 1.320.000                                 | 100 | 2.827.000                            | 100 | 469.734                    | 100 | 1.144.973                    | 100 |

<sup>1</sup> Los datos de INFOR (1994) fueron transformados de toneladas a metros cúbicos sólidos dividiendo por 0,733 (1 metro cúbico sólido de leña = 733 kilos). Esto corresponde al peso promedio de *Eucaliptus sp.* al 30% de humedad.

rurales, mientras que este estudio más que duplica esas cifras: 3,9 m<sup>3</sup> sólidos/año en el sector urbano y 5,5 m<sup>3</sup> sólidos/año en el sector rural<sup>20</sup>.

La encuesta CASEN 2013 (Ministerio de Desarrollo Social, 2013) incluyó una pregunta sobre el consumo que leña en viviendas

urbanas y rurales, estimando una penetración promedio del 64,6% (55% de las viviendas consumen leña en áreas urbanas y 85% en áreas rurales), muy similar al estimado tanto por CDT (2015) como por este estudio. Por lo tanto, las diferencias entre CDT (2015) y estos resultados se producen

principalmente en el consumo por vivienda (Cuadro 6).

Las encuestas aplicadas por CDT (2015) al sector residencial urbano de la región del Maule se realizaron en las ciudades de Talca, Curicó, Linares, Cauquenes, Molina y Parral (300 encuestas), y en el caso del sector residencial rural en las

<sup>18</sup> CDT (2015) no reportó consumo de desechos forestales.

<sup>19</sup> Las 8.649 toneladas de carbón vegetal implicaron el procesamiento de 76.781 m<sup>3</sup> sólidos/año de madera y un gasto energético de 23,37 gigawatt-hora en el proceso de transformación (1.533 kilowatt-hora se pierden al transformar un metro cúbico sólido de madera en carbón vegetal). CDT (2015) estimó un consumo de 3.168 toneladas de carbón vegetal.

<sup>20</sup> Los promedios sólo consideran a las viviendas que consumen leña.

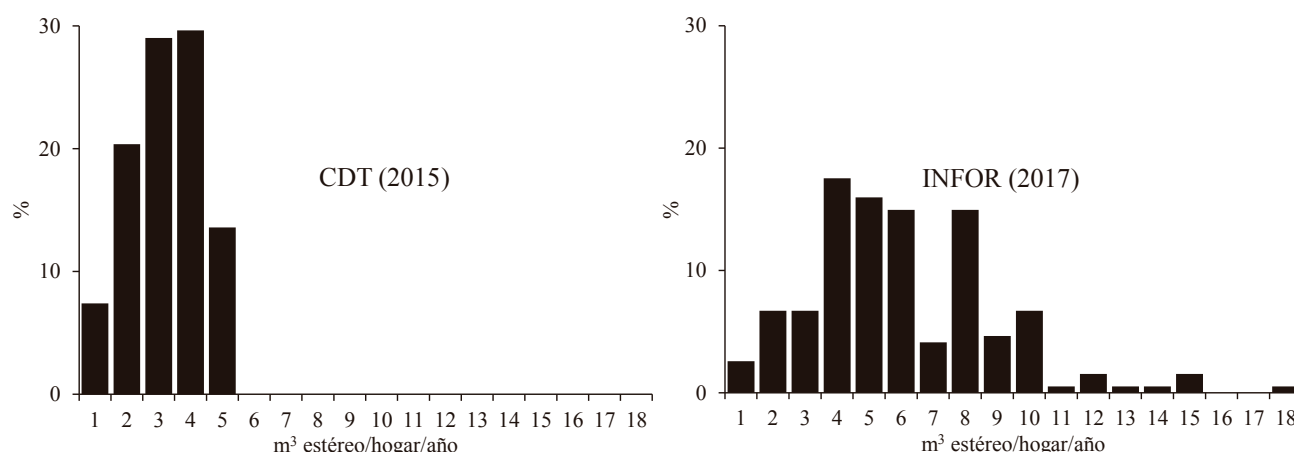
Cuadro 6.

**Consumo de leña por vivienda urbana y rural en la región del Maule ( $m^3$  sólidos/viv/año)**

| Sector              | CASEN 2013<br>(Datos 2013-2014) | CDT 2015<br>(Datos 2014) | INFOR (2017)<br>(Datos 2016) |
|---------------------|---------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| Residencial urbano  | 2,7                             | 1,9                      | 3,9                          |
| Residencial rural   | 3,6                             | 2,4                      | 5,5                          |
| Residencial (todos) | 3,1                             | 2,2                      | 4,6                          |

Nota: estos promedios sólo consideran viviendas que consumen leña.

Figura 10.

**Distribución del consumo de leña en el sector residencial urbano de la región del Maule según CDT (2015) e INFOR (2017)**

Nota: el eje x expresa el consumo de leña en metros cúbicos estéreo por año, mientras que el eje y expresa el porcentaje de casos (histograma de frecuencias).

comunas de Talca, Curicó y Parral (65 encuestas). Esta distribución de la muestra favoreció a viviendas ubicadas en grandes ciudades y áreas rurales ubicadas en el valle central, donde la proporción de viviendas que consumen leña es menor, al igual que sus volúmenes de consumo. Esta es una de las razones por las cuales CDT (2015) subestimó el consumo de leña del sector residencial urbano y rural. Sin embargo, no es la única<sup>21</sup>.

Por otra parte, la literatura señala que los datos sobre consumo residencial de energía suelen tener

una distribución log-normal (Kolter and Ferreira, 2011; Kwac et al., 2014), lo que implica que los valores se concentran en niveles intermedios (como ocurre en una distribución normal) con presencia de valores extremos que “estiran” la curva de distribución hacia la derecha. Esto no se observa en el caso de CDT (2015), cuya muestra presenta una distribución truncada en sus valores máximos (Figura 10 izquierda), a diferencia de lo que ocurre con los resultados de este estudio (Figura 10 derecha).

Es interesante notar que cuando se

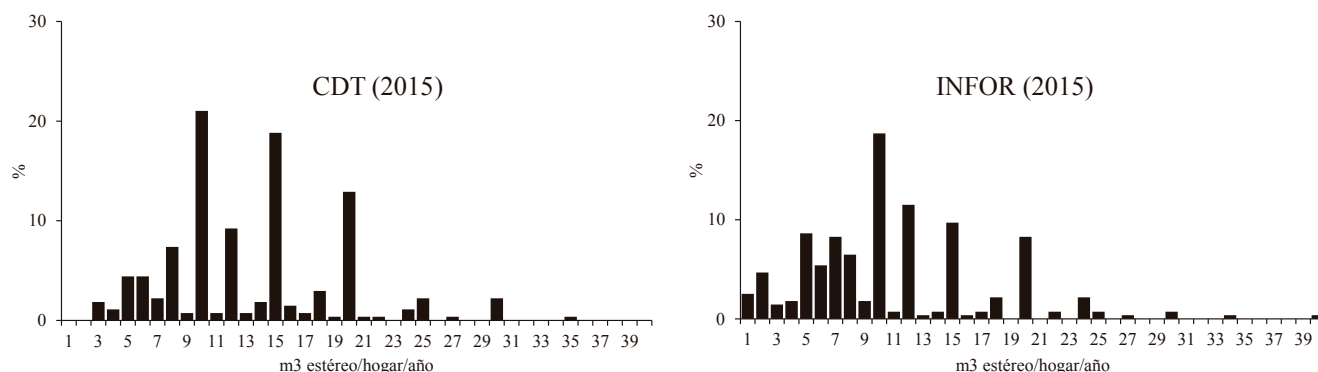
comparan los datos tomados por CDT (2015) con aquellos tomados por INFOR (2015) en la región de Los Ríos, se obtienen distribuciones muy similares (Figura 11). Ambos casos corresponden a distribuciones log-normal, con presencia de valores máximos extremos. Además, en ambos se presenta un fenómeno muy común en estudios de este tipo: el redondeo. La gente suele redondear ciertas respuestas en torno a valores que son más fáciles de estimar, como ocurre en este caso con 10, 15 y 20 metros cúbicos. Las

<sup>21</sup> Otra de las razones pudo ser la forma como se formuló la pregunta: “Pensando en el invierno recién pasado, es decir año 2014, ¿Cuánta Leña consumió el año recién pasado?”. Al formular la pregunta de esta forma los encuestados pudieron haber entregado el volumen de consumo del “invierno pasado” y no el volumen anual, que es en definitiva lo que se buscaba.



Figura 11.

**Distribución del consumo de leña en el sector residencial urbano de la región de Los Ríos según CDT (2015) e INFOR (2015)**



Nota: el eje x expresa el consumo de leña en metros cúbicos estéreo por año, mientras que el eje y expresa el porcentaje de casos (histograma de frecuencias).

personas perciben que consumen mucha leña, y estiman en base a una percepción subjetiva de lo que consideran “mucho”. En el caso de la región de Los Ríos los camiones suelen transportar 20 metros de leña, por tanto la gente tiende a estimar en base a ese criterio (un camión, medio camión, etc.).

Todo esto genera ciertas dudas sobre la calidad del muestreo realizado por CDT (2015) en la región del Maule, problema que no se repetiría en la región de Los Ríos. En el caso de las estimaciones hechas en base a CASEN (2013) es importante mencionar que si bien la muestra es enorme (5.000 viviendas, aproximadamente), hay varios elementos que generan incertidumbre. En primer lugar, CASEN (2013) es una encuesta que se aplica para caracterizar la situación socioeconómica de la población, y no para medir el consumo de leña. Este es un punto clave, ya que el consumo de leña presenta dinámicas que difieren de aquellas relativas al ingreso, la pobreza, etc., como por ejemplo dinámicas territoriales, culturales, etc., lo cual repercute en el diseño muestral. En segundo lugar, las personas que aplican la encuesta

CASEN no están suficientemente capacitadas para evaluar las particularidades que tiene el consumo de leña, como el uso de distintas unidades de medida y sus conversiones. Finalmente, el consumo de leña no es un dato que las familias suelen registrar (además no existen boletas ni facturas de respaldo), por tanto, para llegar a un dato relativamente confiable las personas deben tomarse su tiempo para recordar y estimar. En CASEN 2013 la pregunta relativa al consumo de leña se encuentra al final de un largo cuestionario, por lo cual es poco probable que dicha estimación sea suficientemente acabada.

Con respecto al sector industrial, se observan grandes diferencias entre las estimaciones, especialmente con aquella realizada por Gómez-Lobo et al (2006). A excepción de CDT (2015), todos los demás estudios se basan en la Encuesta Nacional Industrial Anual (ENIA). Es muy probable que Gómez-Lobo et al (2006) hayan sobreestimado el consumo de leña al agregar establecimientos industriales que normalmente utilizan desechos del

procesamiento primario y secundario de la madera, como por ejemplo aserraderos, plantas elaboradoras de molduras, puertas, ventanas, etc. En el resto de los estudios se concluye que el consumo de leña en este sector es marginal en comparación al sector residencial. Lo mismo ocurre con los sectores comercial y público.

#### 4.2. Transición energética en la región del Maule

La leña es el principal combustible derivado de la madera que utilizan las familias de la región del Maule. Si bien, en áreas rurales la leña está siendo reemplazada por gas licuado para cocinar, sigue siendo utilizada para calefacción en un gran porcentaje de las viviendas. En áreas urbanas, sin embargo, el uso de leña para calefacción va en disminución. Una de las variables que determina este reemplazo es el tamaño del área urbana. En pequeñas áreas urbanas la proporción de viviendas que consumen leña es muy alta (ej. Chanco), acercándose a los niveles de penetración que se observan en áreas rurales, mientras que en grandes ciudades ocurre lo



contrario (ej. Talca).

Cambios en el tamaño del área urbana generan cambios en el tamaño de la cuenca proveedora de leña (área de abastecimiento), lo que a su vez altera las vías de comercialización y ciertos vínculos asociados (relaciones de confianza). Las principales vías de comercialización que existen en pequeñas cuencas proveedoras son la compra directa al productor y el autoabastecimiento. Cuando la cuenca es pequeña existe un vínculo más directo entre productores y consumidores (incluso vínculos de parentesco), el cual determina altos niveles de confianza; el consumidor sabe a quién le está comprando y qué está comprando (calidad del producto y volumen). Sin embargo, cuando el tamaño de la cuenca proveedora aumenta ese vínculo se desvanece, apareciendo la figura del intermediario (transportistas o dueños de locales de venta urbanos que se dedican a la comercialización de leña). La intermediación incrementa el precio de la leña e introduce algunos vicios en el proceso de comercialización, entre los que se pueden mencionar la falta de transparencia con respecto a la calidad del producto (especies y contenido de humedad), manipulación del volumen, incumplimiento en las entregas, etc. Por lo tanto, al aumentar el tamaño de la cuenca proveedora no sólo aumenta el costo de transporte debido a los kilómetros adicionales que debe recorrer el producto, sino que cambian también las vías de comercialización y aumentan la desconfianza y la incertidumbre. Esta sería una de las causas de que el tamaño del área urbana se asocie a una menor penetración de la leña como combustible.

La disponibilidad real<sup>22</sup> de biomasa

también incide sobre el tamaño de la cuenca proveedora, ya que en la medida que ésta disminuye el tamaño de la cuenca aumenta. En el caso de la región del Maule, todas las áreas urbanas que se encuentran en el valle central tienen una menor disponibilidad de biomasa que aquellas que están cerca de la Precordillera (mayor disponibilidad de bosque nativo) o en la Cordillera de la Costa (mayor disponibilidad de plantaciones). Es decir, el tamaño de la cuenta proveedora de leña no sólo depende del volumen de consumo (tamaño del área urbana), sino también de la disponibilidad de biomasa en el territorio.

La decisión de utilizar leña no sólo depende del tamaño de la urbanización, sino también del tamaño de la familia. Familias más numerosas tienden a utilizar más leña, lo cual puede estar asociado a un mayor uso de la vivienda (más horas de uso), a viviendas más grandes, etc., todo lo cual determinaría una mayor demanda de energía para calefacción. Al mismo tiempo, cuando el gasto en energía (variable proxy del ingreso) aumenta la probabilidad de que la familia utilice leña disminuye. El ingreso familiar es uno de los principales factores que impulsa el proceso de transición energética, lo cual ha sido observado en China e India (Pachauri and Jiang, 2008) y en otros países en desarrollo (Heltberg, 2004). La literatura señala que en la medida que el ingreso aumenta se diversifican las fuentes de energía, lo que no implica necesariamente el reemplazo lineal de un combustible por otro, sino más bien una mayor cantidad de alternativas energéticas para satisfacer una misma necesidad (Masera et al., 2000). En el caso de las ciudades grandes de la región del Maule

(Talca, Linares y Curicó), se ve una mayor utilización de kerosene, probablemente en el estrato socioeconómico medio y medio-alto, y de electricidad en el estrato alto, mientras que en las ciudades pequeñas se observa una mayor utilización de carbón vegetal, probablemente en los estratos medio y medio-bajo, asociado a elementos culturales (el uso de brasero como parte de la tradición campesina).

Desafortunadamente, la información disponible no permite analizar tendencias intertemporales debido a la inexistencia de estudios previos que hayan analizado estos temas. Sin embargo, el alto nivel de penetración de la leña en áreas urbanas de distintos tamaños y contextos socioecológicos, refleja el alto grado de satisfacción que genera en sus habitantes. Las estufas a leña producen un calor seco difícil de reemplazar, más aún cuando un gran porcentaje de las viviendas no cumplen con estándares mínimos de aislación térmica. Mientras este escenario se mantenga parece difícil el reemplazo total de la leña en áreas urbanas.

Finalmente, *Eucaliptus sp.* sigue teniendo un rol muy importante en el abastecimiento de leña en la región del Maule. Sólo aquellas comunas que se encuentran en zonas precordilleranas y en el sector sur de la región presentan un consumo relativamente importante de leña que proviene de bosque nativo. Los casos más relevantes corresponden a las ciudades de Colbún, Linares y Parral, donde más del 50% de la leña corresponde a especies nativas (*Nothofagus obliqua* y *Nothofagus glauca*, principalmente). Se observa que a partir de esta zona (sur del río Maule) el bosque nativo comienza a tener un rol relevante en el

<sup>22</sup> Se menciona el concepto "disponibilidad real" para diferenciarlo de "disponibilidad potencial". Muchos estudios se han enfocado en analizar la disponibilidad potencial de biomasa (presencia de bosques y plantaciones), cuando lo verdaderamente importante es su disponibilidad real, la cual depende de los intereses de los propietarios de los predios. Ejemplo, un pueblo podría estar rodeado de bosques, pero si éstos están dedicados a la preservación no están disponibles para proveer leña. Esto implicará un aumento en el radio de abastecimiento y en el tamaño de la cuenca proveedora.

abastecimiento urbano de leña, no así en la Cordillera de la Costa, donde esta transición se produciría más al sur. Al respecto, es importante mencionar que la biomasa proveniente de árboles frutales está reduciendo la presión sobre el bosque nativo en el sector noreste de la región del Maule, lo cual debería ser estudiado en mayor profundidad para evaluar sus impactos ambientales, sociales y económicos.

Imagen 3.

**Horno de carbón bajo tierra, aprovechando desnivel del terreno en la precordillera de Linares**



Imagen 4.

**Ensacado de leña de eucalipto**



## 5. REFERENCIAS

- Ábalos, M., 1997.** Estimación del consumo de leña en las regiones V, IX y X. Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal. Universidad de Chile. Santiago, Chile, p 115.
- Castillo, C., 2001.** Estadística Climatología Tomo I. Dirección Meteorológica de Chile, Climatología y Meteorología Aplicada. Santiago, Chile, p 542.
- CDT (Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción). 2015.** Medición del consumo nacional de leña y otros combustibles sólidos derivados de la madera. Informe final. Estudio encargado por el Ministerio de Energía. 302 p.
- CNE (Comisión Nacional de Energía) - GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit). 2008.** Potencial de generación de energía por residuos del manejo forestal en Chile. 56 p.
- CONAF (Corporación Nacional Forestal). 2011.** Catastro de uso del suelo y vegetación. Monitoreo y actualización Región del Biobío (periodo 1998 - 2008) y Región del Maule (periodo 1999 - 2009). Ministerio de Agricultura. 22 p.
- Donoso, C., 1993.** Bosques Templados de Chile y Argentina. Santiago, Chile. Editorial Universitaria. 484 p.
- Gómez-Lobo, A., Lima, J.L., Hill, C., Meneses, M., 2006.** Diagnóstico del Mercado de la Leña en Chile. Informe Final preparado para la Comisión Nacional de Energía de Chile. Centro Micro Datos, Departamento de Economía, Universidad de Chile. Disponible en [http://www.sinia.cl/1292/articles-50791\\_informe\\_final.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-50791_informe_final.pdf).
- Heltberg, R., 2004.** Fuel switching: evidence from eight developing countries. Energy Economics 26, 869-887.
- INE (Instituto Nacional de Estadísticas). 1982.** Censo de Población y Vivienda 1982. Población y viviendas ocupadas en la región del Maule. Disponible en [http://historico.ine.cl/canales/usuarios/c edoc\\_online/censos/pdf/censo\\_1982\\_vol umen\\_III.pdf](http://historico.ine.cl/canales/usuarios/c edoc_online/censos/pdf/censo_1982_vol umen_III.pdf)
- INE (Instituto Nacional de Estadísticas). 1992.** Censo de Población y Vivienda 1992. Población y viviendas ocupadas en la región del Maule, en el sector urbano y rural. Disponible en <http://redatam.ine.cl/>
- INE (Instituto Nacional de Estadísticas). 2002.** Censo de Población y Vivienda 2002. Población y viviendas ocupadas en la región del Maule, en el sector urbano y rural. Disponible en <http://redatam.ine.cl/>
- INE (Instituto Nacional de Estadísticas). 2005.** CHILE: ciudades, pueblos, aldeas y caseríos 2005. <http://www.ine.cl/estadisticas/censos/censos-de-poblacion-y-vivienda>
- INE (Instituto Nacional de Estadísticas). 2013.** Encuesta Nacional Industrial Anual 2013. Disponible en <http://www.ine.cl/inicio/publicaciones>
- INE (Instituto Nacional de Estadísticas). 2015.** Actualización de población 2002-2012 y proyecciones de población 2013-2020. Disponible en <http://www.ine.cl/estadisticas/demograficas-y-vitales>
- INE (Instituto Nacional de Estadísticas). 2017.** Censo de Población y Vivienda 2017. Resultados preliminares región del Maule. Disponible en <http://www.censo2017.cl/proceso-censal-resultados-preliminares/>
- INFOR (Instituto Forestal). 1994.** Evaluación del consumo de leña en Chile 1992. Informe técnico N° 130. Santiago, Chile, 56 p.
- INFOR (Instituto Forestal). 2015.** Encuesta residencial urbana sobre consumo de energía, uso de combustibles derivados de la madera, estado higrotérmico de las viviendas y calefacción en las ciudades de Valdivia, La Unión y Panguipulli. Observatorio de los Combustibles Derivados de la Madera. Base de datos no publicada.
- INFOR (Instituto Forestal). 2016.** VII Catastro de la Industria Forestal Primaria. Disponible en: <http://wef.infor.cl/mapa/>
- INFOR (Instituto Forestal). 2017.** Encuesta residencial sobre consumo de energía y uso de combustibles derivados de la madera en la región del Maule. Base de datos no publicada.
- Joshi, O., Mehmood, S.R., 2011.** Factors affecting nonindustrial private forest landowners' willingness to supply woody biomass for bioenergy. Biomass and Bioenergy 35, 186-92.
- Kolter, J.Z., Ferreira, J., 2011.** A large-scale study on predicting and contextualizing building energy usage. Proceedings of the Twenty-Fifth AAAI Conference on Artificial Intelligence, 1349-1356.
- Kwac, J., Flora, J., Rajagopal, R., 2014.** Household Energy Consumption Segmentation Using Hourly Data. IEEE Transactions on Smart Grid 5, 420-430.
- Masera, O., Saatkamp, B., Kammen, D., 2000.** From linear fuel switching to multiple cooking strategies: a critique and alternative to the energy ladder model. World Development 28, 2083-2103.
- Ministerio de Energía. 2016.** Balance nacional de energía 2016. Disponible en <http://datos.energiaabierto.cl/dataviews/244115/bne-2016-balance-energia-global-tcal/>
- Mon, M.S., Mizoue, N., Htun, N.Z., Kajisa, T., Yoshida, S., 2012.** Factors affecting deforestation and forest degradation in selectively logged production forest: A case study in Myanmar. Forest Ecology and Management 267,190-8.
- Pachauri, S., Jiang, L., 2008.** The household energy transition in India and China. Energy policy 36, 4022-4035.
- SUBDERE (Subsecretaría de Desarrollo Regional). 2017.** Regiones, provincia y comunas de Chile. Disponible en <http://www.subdere.cl/divisi%C3%B3n-administrativa-de-chile/gobierno-regional-del-maule/>
- Reyes, R., 2017.** Consumo de combustibles derivados de la madera y transición energética en la Región de Los Ríos, periodo 1991-2014. En: Informes Técnicos BES, Bosques - Energía - Sociedad, Año 3. N° 6. Enero 2017. Observatorio de los Combustibles Derivados de la Madera OCDDM. Instituto Forestal, Chile. p. 20.

## 6. ANEXOS

### Anexo 1. Tamaño de la población (viviendas urbanas y rurales por comuna a 2017)

Cuadro 1.1. Densidad urbana y rural entre 1982 y 2017 (personas por vivienda)

| Censos | Densidad total<br>(personas/vivienda) | Densidad urbana<br>(personas/vivienda) | Densidad rural<br>(personas/vivienda) |
|--------|---------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|
| 1982   | 4,87                                  | 4,80                                   | 4,99                                  |
| 1992   | 4,00                                  | 4,04                                   | 3,92                                  |
| 2002   | 3,26                                  | 3,33                                   | 3,14                                  |
| 2017   | 2,89                                  | 2,97*                                  | 2,76*                                 |

\* Valores estimados a partir de un modelo de proyección construido en base a INE (1982, 1992, 2002, 2017).

Cuadro 1.2. Estimación del número de viviendas

| Comuna          | Población<br>estimada 2017 | % rural | Viviendas<br>urbanas | Viviendas<br>rurales | Total<br>viviendas |
|-----------------|----------------------------|---------|----------------------|----------------------|--------------------|
| Curicó          | 220.357                    | 16      | 42.840               | 8.160                | 75.030             |
| Hualañé         | 46.068                     | 48      | 1.870                | 1.727                | 16.222             |
| Licantén        | 9.448                      | 42      | 1.412                | 1.022                | 3.654              |
| Molina          | 4.142                      | 30      | 10.869               | 4.658                | 1.466              |
| Rauco           | 49.721                     | 59      | 1.510                | 2.173                | 16.346             |
| Romeral         | 8.422                      | 75      | 1.237                | 3.710                | 2.826              |
| Sagrada Familia | 8.245                      | 67      | 2.034                | 4.129                | 2.914              |
| Teno            | 13.906                     | 67      | 3.198                | 6.493                | 4.882              |
| Vichuquén       | 43.269                     | 70      | 521                  | 1.217                | 14.690             |
| Constitución    | 9.191                      | 22      | 12.653               | 3.569                | 3.137              |
| Curepto         | 40.441                     | 63      | 1.352                | 2.302                | 15.314             |
| Empedrado       | 8.928                      | 40      | 880                  | 586                  | 3.122              |
| Maule           | 7.571                      | 50      | 8.173                | 8.173                | 2.951              |
| Pelarco         | 149.136                    | 67      | 933                  | 1.893                | 51.000             |
| Pencahue        | 9.657                      | 72      | 816                  | 2.098                | 3.597              |
| Río Claro       | 6.653                      | 78      | 1.074                | 3.808                | 2.434              |
| San Clemente    | 45.976                     | 69      | 4.554                | 10.136               | 15.527             |
| San Rafael      | 10.484                     | 51      | 1.537                | 1.600                | 3.683              |
| Talca           | 15.187                     | 4       | 72.029               | 3.001                | 4.947              |
| Colbún          | 18.544                     | 67      | 2.428                | 4.931                | 6.163              |
| Linares         | 28.921                     | 19      | 26.304               | 6.170                | 9.691              |
| Longaví         | 4.322                      | 73      | 2.778                | 7.511                | 1.738              |
| Parral          | 93.602                     | 30      | 10.571               | 4.531                | 32.474             |
| Retiro          | 20.765                     | 74      | 1.850                | 5.264                | 7.359              |
| San Javier      | 30.534                     | 40      | 9.498                | 6.332                | 10.289             |
| Villa Alegre    | 41.637                     | 63      | 2.181                | 3.714                | 15.102             |
| Yerbas Buenas   | 19.974                     | 90      | 605                  | 5.444                | 7.114              |
| Cauquenes       | 45.547                     | 25      | 11.486               | 3.829                | 15.830             |
| Chanco          | 16.221                     | 57      | 1.342                | 1.780                | 5.895              |
| Pelluhue        | 18.081                     | 27      | 2.154                | 797                  | 6.049              |
| Total           | 1.044.950                  | 33      | 240.689              | 120.757              | 361.446            |

Fuente: INE (2017) y SUBDERE (2017).



# BES

BOSQUES | ENERGÍA | SOCIEDAD

Número 08 | ENE. 2018

Proyecto apoyado por

