

A photograph of a person wearing a hat and a jacket, standing in a forest and touching the trunk of a large tree. The forest is dense with tall, thin trees and green foliage. The lighting is bright, suggesting a sunny day. The overall scene is a natural, outdoor setting.

---

# LEÑA, ENERGIA RENOVABLE

*para la conservación  
de los bosques nativos  
de Chile*

---

René Reyes / Eduardo Neira ( **editores** )



## **Agrupación de Ingenieros Forestales por el Bosque Nativo (AIFBN). 2012**

Esta publicación está disponible en formato electrónico (PDF) en el sitio web institucional [www.bosquenativo.cl](http://www.bosquenativo.cl)

Editor general: René Reyes Gallardo

### **Diseño y diagramación:**



### **Fotografía portada:**

Base fotográfica AIFBN



Pequeño propietario forestal en la faena de marcación de árboles, antes de realizar un raleo. Renovales de *Nothofagus sp.*, Región de Los Ríos.

Gran parte de la información publicada en este libro fue generada o sistematizada a partir del proyecto “Leña, energía renovable para la conservación de los bosques nativos del sur de Chile”. Esta iniciativa fue ejecutada por ONG Forestales por el Bosque Nativo entre enero 2007 y diciembre 2011, y contó con financiamiento de la Comisión Europea.

### **Citar como:**

Reyes, R. y E. Neira (Eds). 2012. Leña, energía renovable para la conservación de los bosques nativos de Chile. Agrupación de Ingenieros Forestales por el Bosque Nativo. MIRA ediciones, Valdivia, Chile.

**Valdivia, Chile  
2012**



# CONTENIDOS

Presentación	
Capítulo 1. La biomasa forestal como fuente de energía a nivel mundial .....	5
Introducción	
1. Consumo de energía a nivel mundial	
1.1. Consumo de energía primaria	
1.2. Consumo de energía secundaria	
2. Producción, exportación e importación de energía	
2.1. Producción de energía	
2.2. Mercado internacional de energía	
2.3. Exportadores e importadores netos de energía	
3. Proyecciones asociadas al abastecimiento de energía	
3.1. “The Peak oil”	
3.2. El carbón mineral	
3.3. Los biocombustibles	
4. Los combustibles derivados de la madera como fuente de energía	
4.1. Consumo y producción	
4.2. Análisis de países	
5. Conclusiones	
Referencias	
Capítulo 2. Consumo de combustibles derivados de la madera en Chile .....	33
Introducción	
1. Consumo de energía en Chile	
1.1. Consumo de energía primaria	
1.2. Consumo de energía secundaria	
2. Antecedentes relevantes para proyectar el abastecimiento de energía	
2.1. Petróleo	
2.2. Gas natural	
2.3. Carbón	
2.4. Hidroelectricidad	
2.5. Combustibles derivados de la madera	
3. Consumo de combustibles derivados de la madera en Chile	
3.1. Calidad de la información disponible para medir el consumo	
3.2. Modelos utilizados para la estimación del consumo de combustibles derivados de la madera	
3.3. Factores que inciden en el consumo de combustibles derivados de la madera	
3.4. Estimaciones realizadas por INFOR (1994) y Gómez-Lobo et al. (2006)	
3.5. Estimaciones de la Comisión Nacional de Energía (CNE) (cifras oficiales)	
4. Consumo sectorial de combustibles derivados de la madera en Chile	
4.1. Sector residencial, comercial y público	
4.2. Sectores industrial, minero y eléctrico	
5. Conclusiones	
Referencias	
Capítulos en elaboración:	
Capítulo 3. Secado de leña en el sur de Chile	
Capítulo 4. Producción de combustibles derivados de la madera en Chile	
Capítulo 5. Comercialización de combustibles derivados de la madera en Chile	
Capítulo 6. Sistema Nacional de Certificación de Leña: una herramienta innovadora para regular el mercado de la leña en Chile	
Capítulo 7. Hacia una política dendroenergética	

# PRESENTACIÓN

La leña y el carbón vegetal han sido componentes esenciales de la matriz energética chilena. Sin embargo, a pesar de su importancia, no se han realizado estudios sistemáticos sobre esta materia.

La indiferencia con la que nuestra sociedad ha tratado este tema se transformó en preocupación, en la medida en que algo tan común y arraigado en nuestra población, como calentarse o cocinar con leña, es actualmente uno de los problemas ambientales más serios que afecta al sur del país.

La degradación del bosque nativo debido a la tala ilegal para producir leña, su efecto sobre la biodiversidad y otras funciones ambientales de los bosques, junto con una creciente contaminación atmosférica en las ciudades del sur, fueron la chispa que encendió el debate. Debate que se fue tornando cada vez más dramático, en la medida que los efectos sobre la salud humana comenzaron a hacerse públicos.

En el otoño del 2000, el presidente Ricardo Lagos visitó la ciudad de Temuco como parte de sus primeras actividades oficiales. Durante dicha visita, hizo un anuncio que tendría consecuencias: *“la contaminación atmosférica en Temuco se solucionaría reemplazando la leña por gas natural”*. En esa época el acuerdo gasífero entre Chile y Argentina estaba plenamente vigente, lo que hacía viable esta solución.

Este anuncio hizo reaccionar a un grupo de profesionales de la Cooperación Alemana, CONAF y ONGs locales, liderados por los colegas Heinrich Burschel, Álvaro Rojas y Mauricio Lobos, quienes comenzaron un proceso de reuniones, debates y seminarios, en los que se concluyó que el problema no era la leña propiamente tal, sino la forma como se estaba utilizando (uso ineficiente y contaminante).

El anuncio del Presidente tenía profundas implicancias sociales, y potencialmente ambientales, que este grupo de expertos detectó desde el primer momento. Los 20 millones de dólares anuales que mueve el mercado de la leña en Temuco se distribuyen localmente, generando empleos e ingresos para miles de familias (productores, comerciantes, transportistas, picadores, etc.). Por tanto, reemplazar esta fuente de energía por gas importado desde Argentina, implicaría un serio deterioro a la economía regional. Además, el debilitamiento del mercado de la leña podría haber condenado a muchos bosques a ser reemplazados por otros usos del suelo “más rentables”.

El Grupo Leña Temuco convocó a organizaciones y personas de varias ciudades del sur del país, entre las que se encontraba la Agrupación de Ingenieros Forestales por el Bosque Nativo (AIFBN), a un proceso de discusión y análisis. Nuestra organización fue representada en aquel momento por el colega Luis Otero, que ya en 1996 había planteado la idea de “certificar la leña”. El principal producto que generó el Grupo Leña Temuco fue un

estándar de calidad para la leña, orientado a reducir las emisiones de material particulado.

En paralelo, Heinrich Burschel nos alentaba a iniciar un proceso similar en la ciudad de Valdivia; aunque iba un paso más allá, proponiéndonos “crear un sistema de certificación para la leña”. Dado que en aquel entonces el problema de la contaminación del aire en Valdivia no era grave, orientamos la discusión hacia la promoción del manejo forestal sustentable. Fue así como nació el Grupo Leña Valdivia.

A mediados del 2002, Fundación AVINA, a través de su directora Paola Berdichevsky, decide apoyarnos en la creación de un sistema local de certificación, orientado a reducir los impactos negativos que el comercio informal de leña estaba provocando en los bosques nativos de la Región de Los Ríos. Sin embargo, antes de hablar de financiamiento nos puso una condición: teníamos que demostrar que había consumidores de leña dispuestos a pagar un sobreprecio por “leña certificada”. Para probarlo, realizamos una encuesta a 600 hogares de la ciudad de Valdivia, la cual nos entregó información vital para el trabajo posterior. Gracias a este empujón inicial, en diciembre del 2003 comenzamos a implementar el proyecto “Sistema de Certificación para el Uso Sustentable de la Leña en Valdivia”, que durante 3 años nos permitió sentar las bases del Sistema Nacional de Certificación de Leña (SNCL).

A mediados del 2004, creamos un grupo de trabajo mixto compuesto por personas de Temuco y Valdivia, que después de varios meses lograron desarrollar los componentes básicos del SNCL (procedimientos, reglamentos, estructura organizacional, y estándar). Sin embargo, este proceso no fue fácil dada la diversidad de intereses involucrados. Mientras unos querían un sistema centrado en la calidad de la leña, otros hacíamos énfasis en su origen, y otros en la formalidad del proceso de comercialización. Finalmente, en noviembre del 2005, tres organizaciones públicas (CONAF, CONAMA y el Servicio de Impuestos Internos) y tres organizaciones de la sociedad civil (AIFBN, la Asociación Gremial Bosque Nativo Ñuble y el Departamento de Acción Social del Obispado de Temuco) firmamos el Acuerdo Nacional por el Uso Sustentable de la Leña, a partir del cual comienza a implementarse formalmente el SNCL.

En enero del 2007 se inició el proyecto “Leña, energía renovable para la conservación de los bosques nativos del sur de Chile”, financiado por la Unión Europea. Fueron 5 años y un financiamiento de 3,5 millones de euros, que nos permitió implementar el SNCL entre la VII y XI regiones. Además, este proyecto nos permitió crear varios programas complementarios, entre los cuales destacan los de extensión forestal y educación ambiental.

El 2012 ha sido un año difícil para el SNCL. Sostener los

programas más allá de los proyectos que los financian, ha sido un desafío por lo general infranqueable para las organizaciones de la sociedad civil. Sin embargo, el equipo que conduce actualmente el Sistema de Certificación ha sabido superarlos. Aparentemente, el sistema logró despertar un interés real por parte del sector público, quienes han estado financiando las actividades durante el año 2012, y prometen seguir haciéndolo el 2013.

A pesar de todos los esfuerzos, nosotros seguimos en deuda. No hemos sido capaces de presentar los resultados del Proyecto Leña, en términos de su impacto real con respecto al manejo del bosque nativo, la calidad del aire y la economía campesina. ¿Cómo impactó el SNCL en la formalización del mercado de la leña en Chile? ¿Cuál fue el impacto del SNCL y nuestro programa de extensión en el manejo del bosque nativo? ¿Hoy se manejan más bosques que antes? ¿Logramos reducir el contenido de humedad de la leña que se comercializa en el sur del país? Muchas son las preguntas que aún están sin respuesta, y que deben ser respondidas a la brevedad.

Tras 10 años de haber iniciado nuestro trabajo en torno al mercado de la leña, miro hacia atrás y veo tantas cosas. Tantos aciertos, pero también errores. Las organizaciones deben ser capaces de reconocer y celebrar sus aciertos, sin esconder sus errores, pues éstos nos permiten crecer. Sin duda, creo que el trabajo emprendido tuvo más aciertos que errores. Sin embargo, para tener un juicio más certero, necesitamos responder las preguntas que aún tenemos pendientes. Debemos evaluar lo que se ha hecho, enriqueciéndolo con un debate abierto y constructivo.

Este documento pretende comenzar a responder algunas de esas preguntas, a través de la sistematización de la información generada durante el Proyecto Leña, y de información que ha estado dispersa en múltiples fuentes. Este proceso de sistematización y análisis comenzó hace varios años, pero recién comienza a ver la luz en este libro, el cual esperamos publicar íntegramente durante el año 2013. Dado que lo perfecto es enemigo de lo bueno (así me lo dijo mi querido amigo y maestro Alberto Peña mientras guiaba mi tesis de pregrado), vamos a comenzar publicando algunos capítulos para ir avanzando poco a poco en los demás.

Quisiera agradecer a los colegas que han colaborado en la publicación de estos manuscritos, y a los autores de los capítulos que están en preparación o diagramación. Mis agradecimientos para la gente de MIRA, que ha tenido mucha paciencia con nosotros, y a Eduardo Neira, Director Ejecutivo de nuestra ONG, quien ha reservado fondos para la publicación de este documento.

Por último, quisiera dedicar este libro a mis colegas y amigos Pilar Aventín, Jaime Concha, Darian Stark y Luis Corrales, colaboradores directos e indirectos en todo este proceso, quienes dedicaron su vida a defender nuestros bosques nativos y la vida campesina. Donde estén amigos, sepan que siguen vivos en nuestra memoria.

**René Reyes Gallardo, Editor general**

## Capítulo 1:

# La biomasa forestal como fuente de energía a nivel mundial

René Reyes G.  
Ingeniero Forestal (M.Sc.)\*

## Introducción

A partir de la excavación de los primeros pozos de petróleo a mediados del siglo XIX, el consumo de energía a nivel mundial se ha incrementado vertiginosamente. Hoy, el abastecimiento de petróleo y gas natural está en una situación compleja, lo cual tiene a todo el mundo buscando nuevas fuentes de energía. En ese marco, los combustibles derivados de la madera surgen como una alternativa muy atractiva, especialmente para aquellos países que cuentan con bosques y plantaciones en abundancia, como es el caso de Chile.

Este capítulo tiene por finalidad analizar la situación en la que se encuentra el consumo de energía a nivel mundial, observar tendencias y las distintas estrategias que los países han implementado para abastecerse. Además, se describe la importancia de los combustibles derivados de la madera en las matrices energéticas de países pobres y ricos, y sus distintos formatos de utilización. Estos combustibles aparecen en la agenda internacional como una alternativa para enfrentar un futuro complejo, en el que el abastecimiento de energía, la producción de alimentos y el cambio climático crearán un acertijo difícil de resolver.

## 1. Consumo de energía a nivel mundial

### 1.1. Consumo de energía primaria

Entre 1973 y 2008 el consumo mundial de energía se duplicó, pasando de 6.115 Mtoe<sup>1</sup> a 12.267 Mtoe (IEA, 2010a). Las principales fuentes de energía que componen la matriz energética primaria no han variado durante el periodo. Los combustibles fósiles siguen siendo el principal componente, aunque su importancia relativa se redujo levemente pasando de un 86% en 1973 a un 81% en 2008, debido a un aumento significativo de la energía nuclear (Cuadro 1).

Entre 1973 y 2008 el consumo de petróleo aumentó un 44%, el de gas natural un 163% y el de carbón mineral un 121%. En tanto, los combustibles sólidos renovables<sup>2</sup> siguen siendo la segunda fuente de energía después de los combustibles fósiles, manteniendo su importancia relativa en la matriz energética en torno a un 10% (IEA, 2010a). El principal componente de los combustibles sólidos renovables son los combustibles derivados de la madera con un 87% del total (WEC, 2010).

Por otra parte, la energía nuclear presentó la mayor variación en este periodo alcanzando un 6% de la matriz en 2008. Finalmente, las energías renovables, entre las cuales destacan la hidroelectricidad, geotermia, eólica y solar, aumentaron ligeramente su participación en la matriz energética global llegando a un 3% (IEA, 2010a).

**Cuadro 1. Variación de la matriz energética primaria mundial entre 1973 y 2008**

Fuente de energía	Consumo energía 1973 (Mtoe)	%	Consumo energía 2008 (Mtoe)	%	Incremento 1973-2008 (%)
Petróleo	2.813	46,0	4.048	33,0	44
Carbón mineral	1.498	24,5	3.312	27,0	121
Gas natural	978	16,0	2.576	21,0	163
Comb. sól. ren.*	642	10,5	1.227	10,0	91
Nuclear	61	1,0	736	6,0	1.104
Otras ren.**	122	2,0	368	3,0	201
Total	6.115	100,0	12.267	100,0	101

\* Combustibles derivados de la madera, desechos agrícolas, estiércol, biocombustibles de primera generación y desechos municipales e industriales.

\*\* Hidroelectricidad, eólica, geotérmica, solar, etc.

Fuente: elaboración propia en base a IEA (2010a).

\* Estudiante de doctorado, University of British Columbia (Canadá)

<sup>1</sup> Mtoe= millones de toneladas de petróleo crudo equivalentes. Una tonelada de petróleo crudo equivalente corresponde a 42 gigajoule de energía.

<sup>2</sup> Combustibles derivados de la madera, desechos agrícolas, estiércol, biocombustibles de primera generación y desechos municipales e industriales.

Los 10 principales países consumidores de energía son Estados Unidos, China, Federación Rusa, India, Japón, Alemania, Canadá, Francia, Brasil y Corea del Sur. Éstos consumen el 61% de la

energía a nivel mundial, mientras otros 10 países<sup>3</sup> consumen un 14% y los 174 países restantes el 25% (entre éstos se encuentra Chile y el resto de Sudamérica) (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Principales países consumidores de energía primaria en el 2008**

Países	Consumo energía (Mtoe/año)	% del total	Población (millones)	% del total	Consumo per cápita (Mtoe/año)
1. USA	2.284	18,6	312	4,5	7,3
2. China	2.116	17,3	1.333	19,3	1,6
3. Fed. Rusa	687	5,6	139	2,0	4,9
4. India	621	5,1	1.181	17,1	0,5
5. Japón	496	4,0	126	1,8	3,9
6. Alemania	335	2,7	81	1,2	4,1
7. Canadá	267	2,2	34	0,5	7,8
8. Francia	266	2,2	65	0,9	4,1
9. Brasil	248	2,0	202	2,9	1,2
10. Corea del S.	227	1,9	49	0,7	4,6
Otros países	4.720	38,5	3.368	49,1	1,4
Total	12.267	100,0	6.890	100,0	2,1

Fuente: elaboración propia en base a IEA (2010b).

Al analizar la relación entre población y consumo de energía se observan desbalances importantes. En el extremo de los países con un mayor consumo per cápita de energía se encuentran Estados Unidos y Canadá, el primero con un 4,5% de la población mundial consume el 18,6% de la energía y el segundo con un 0,5% de la población consume el 2,2% de la energía. Por el contrario, India con el 17,1% de la población consume sólo el 5,1% de la energía. En una situación intermedia se encuentran países como China, que con un 19,3% de la población mundial consume el 17,3% de la energía, y Brasil con un 2,9% de la población consume el 2,0% de la energía (IEA, 2010b).

El clima es un factor que se debe tener en cuenta al momento de analizar esta información, pues países como Canadá se mantienen prácticamente congelados durante todo el invierno lo cual aumenta el consumo per cápita de energía. Sin embargo, éste no es el único factor que incide en el consumo de energía, ya que hay otros como el nivel de industrialización y el estilo de vida de las personas que también inciden.

Todos estos países tienen una matriz energética primaria basada en combustibles fósiles. El caso más extremo es la Federación Rusa, cuyo abastecimiento de energía proviene en un 91% de

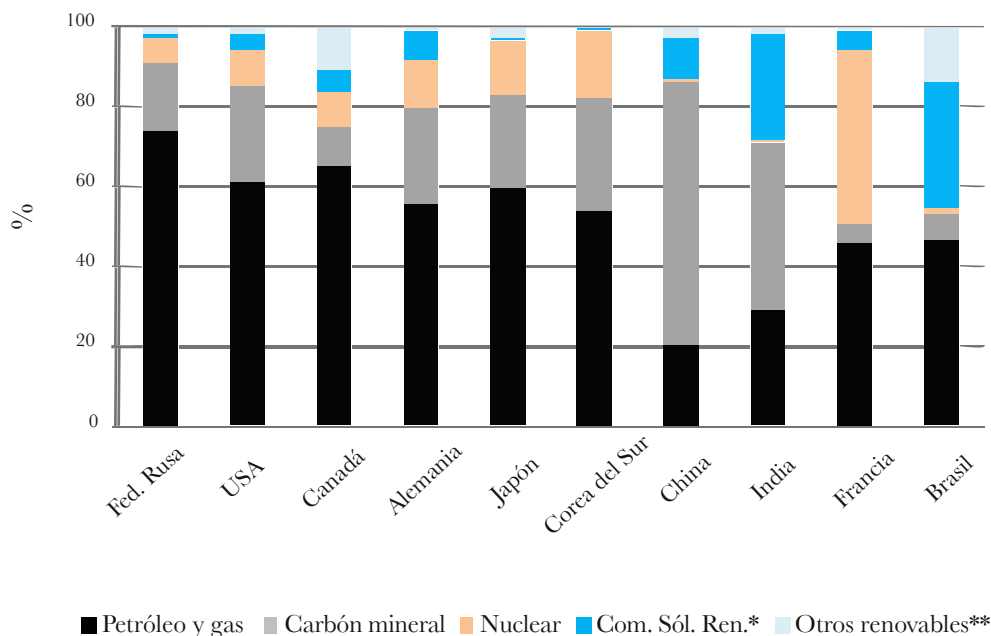
fuentes fósiles. Estados Unidos, Canadá, Alemania, Japón y Corea del Sur tienen matrices muy similares con más de un 75% derivada de fuentes fósiles, especialmente petróleo y gas natural. En estos países la energía nuclear es importante, representando entre un 9% y 17% de la matriz. En general, las energías renovables son poco importantes en estos países, a excepción de Canadá y Alemania. El caso de Alemania es especialmente interesante debido al uso de combustibles sólidos renovables, entre los cuales destaca la biomasa forestal (IEA, 2010b).

China e India tienen también una fuerte dependencia de los combustibles fósiles, sin embargo en ambos casos el componente más importante es el carbón mineral (66% y 42% de la matriz, respectivamente). Los combustibles sólidos renovables representan un 10% y 26% de la matriz energética, respectivamente. Francia y Brasil, en tanto, son los países menos dependientes de los combustibles fósiles, con sólo un 53% y 51% de sus matrices. En el caso de Francia la energía nuclear es fundamental con un 43% de la matriz, y en el caso de Brasil lo son los combustibles sólidos renovables, la hidroelectricidad y las energías renovables no convencionales con un 45% de la matriz (Figura 1).

<sup>3</sup> Reino Unido, Irán, Indonesia, México, Italia, Arabia Saudita, España, Ucrania, Sudáfrica y Australia.



Figura 1. Matriz energética primaria de los principales países consumidores de energía



\* Combustibles derivados de la madera, desechos agrícolas, estiércol, biocombustibles de primera generación y desechos municipales e industriales. \*\* Hidroelectricidad, eólica, geotérmica, solar, etc.  
Fuente: elaboración propia en base a IEA (2010b).

### 1.2. Consumo de energía secundaria

Un 33% del total de la energía primaria generada a nivel mundial se emplea en la producción de electricidad. En este proceso se utiliza el 62% de la producción mundial de carbón, el 36% del gas natural, el 6% del petróleo y el 6% de los combustibles sólidos renovables. Además, el 100% de la energía nuclear y otras renovables (hidroelectricidad, eólica, geotérmica, solar, etc.).

Dada la baja eficiencia media de las plantas productoras de electricidad (termoeléctricas a carbón, plantas de ciclo combinado,

etc.) los cerca de 4.000 Mtoe empleados en el proceso se transforman en 1.500 Mtoe de electricidad disponible (energía secundaria) (IEA, 2010b).

Las pérdidas que se generan en la producción de electricidad, sumadas a la energía invertida en el proceso de extracción y refinamiento de gas y petróleo, y otras transformaciones y pérdidas de energía primaria, reducen los 12.267 Mtoe iniciales a 8.428 Mtoe de energía disponible en la matriz global de energética secundaria (Cuadro 3).

Cuadro 3. Matriz energética secundaria mundial en el 2008

Fuente de energía	Consumo energía en 2008 (Mtoe)	%
Petróleo y derivados	3.506	41,6
Gas natural	1.315	15,6
Carbón mineral	826	9,8
Combustibles Sólidos Renovables*	1.070	12,7
Electricidad	1.450	17,2
Calor	261	3,1
Total	8.428	100,0

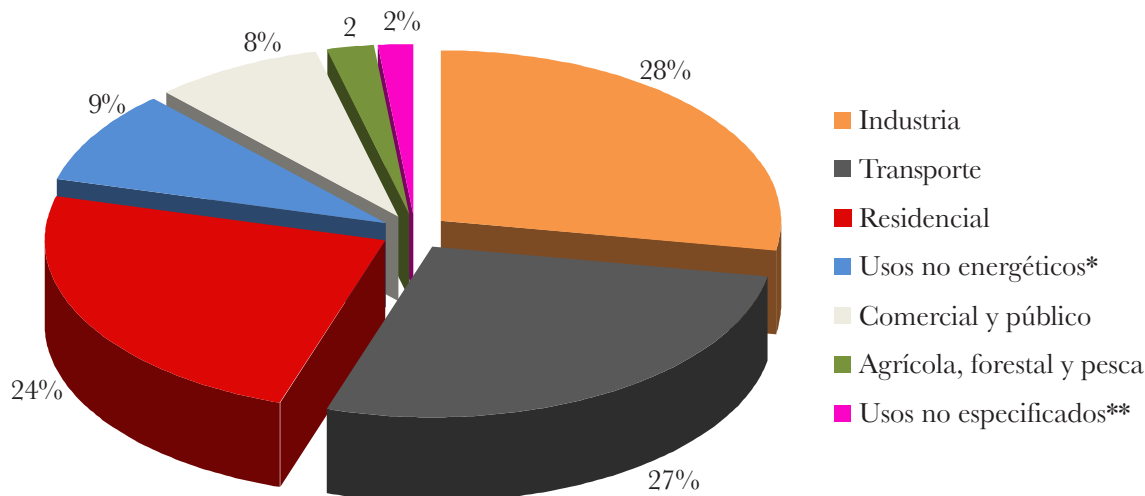
\* Combustibles derivados de la madera, desechos agrícolas, estiércol, biocombustibles de primera generación y desechos municipales e industriales.  
Fuente: elaboración propia en base a IEA (2010a).



Central Hidroeléctrica

Los 8.428 Mtoe disponibles en la matriz energética secundaria se utilizan principalmente en la industria (28%), el transporte (27%) y el sector residencial (24%) (Figura 2).

**Figura 2. Uso de la energía secundaria a nivel mundial**



Fuente: elaboración propia en base a IEA (2010a) e IEA (2010b).

\* Fundamentalmente industria petroquímica. \*\* Consumo militar y de otro tipo no especificado.

La industria, el transporte y el sector residencial utilizan casi el 80% de la energía disponible en la matriz energética secundaria a nivel mundial. Cada uno de estos sectores utiliza distintas fuentes de energía. La industria por ejemplo emplea el 78% del carbón mineral, el 42% de la electricidad y el 35% del gas natural, el transporte el 62% del petróleo y sus derivados, y el sector

residencial el 75% de los combustibles sólidos renovables, el 31% del gas natural y el 27% de la electricidad. Es decir, los combustibles sólidos renovables, entre los cuales se encuentra la biomasa forestal, son utilizados básicamente al interior de los hogares, ya sea para calefacción o cocina, en la industria (17,8%) y el transporte (4,2%) (biocombustibles) (Cuadro 4).

**Cuadro 4. Principales usos de la energía secundaria a nivel mundial**

Usos de la energía (%)	Petróleo	Gas natural	Carbón mineral	Com. Sól. Ren.	Electricidad	Calor
Industria	9,5	35,0	78,5	17,8	41,7	44,0
Transporte	61,4	5,9	0,4	4,2	1,6	0,0
Residencial	6,4	31,9	9,3	75,3	27,4	38,0
Uso no energético*	16,2	10,8	4,5	0,0	0,0	0,0
Comercial y público	3,1	13,2	2,8	1,5	23,4	12,4
Agri., for. y pesca	3,1	0,4	1,2	0,7	2,5	1,2
Usos no especific.**	0,4	2,7	3,3	0,5	3,4	4,4
Total	100	100	100	100	100	100

Fuente: elaboración propia en base a IEA (2010a) e IEA (2010b).

\* Fundamentalmente industria petroquímica. \*\* Consumo militar y de otro tipo no especificado.

## 2. Producción, exportación e importación de energía

### 2.1. Producción de energía

Cinco países concentran un 43% de la producción mundial de petróleo, destacando Medio Oriente como la región más importante con un 30% del total. La producción de gas natural está un poco más concentrada, pues los 5 principales productores generan un 51%, destacando la Federación Rusa (19%) y Estados Unidos (19%). La producción de carbón mineral está más concentrada aún ya que los 5 productores más importantes concentran el 75% de la producción mundial, destacando China como el gran productor de carbón con un 43% del total (IEA,

2010a).

Algo similar ocurre con la energía nuclear. Los 5 principales productores concentran un 68% de la producción mundial, destacando Estados Unidos y Francia con un 31% y 16%, respectivamente. La producción de combustibles sólidos renovables está menos concentrada, aunque por razones demográficas China e India concentran el 30% de la producción mundial. Le siguen Nigeria (7,3%), Estados Unidos (6,9%) y Brasil (6,6%). Finalmente, los principales productores de hidroelectricidad y energías renovables no convencionales son China (15,5%), Estados Unidos (10,2%), Brasil (9%), Canadá (9%) e Indonesia (4,1%) (Cuadro 5).

**Cuadro 5. Principales países productores de energía primaria**

Países	Producción de energía primaria (%)						
	Petróleo	Carbón	Gas	Com. Sol. Re.*	Nuclear	Otros Ren.**	Total pondera.
1. China	5,0	43,0	2,9	16,5	2,5	15,5	16,1
2. USA	8,0	14,0	19,0	6,9	30,7	10,2	13,2
3. Fed. Rusa	13,0	4,0	19,0	0,5	6,0	4,0	9,9
4. A. Saudita	12,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,0	4,4
5. India	1,0	8,0	1,0	13,3	0,5	3,0	4,2
6. Canadá	4,0	1,0	5,1	1,0	3,4	9,0	3,2
7. Irán	5,4	0,0	4,6	0,0	0,0	0,1	2,8
8. Indonesia	1,2	4,8	2,4	4,3	0,0	4,1	2,7
9. Australia	0,6	6,0	1,5	0,4	0,0	0,4	2,2
10. México	4,2	0,0	1,5	0,6	0,3	2,6	1,9
11. Otros	45,6	19,2	40,7	56,5	56,6	51,1	39,3
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

\* Combustibles derivados de la madera, desechos agrícolas, estiércol, biocombustibles de primera generación y desechos municipales e industriales. \*\* Hidroelectricidad, eólica, geotérmica, solar, etc.

Fuente: elaboración propia en base a IEA (2010a) e IEA (2010b).

En el cuadro anterior destacan los 10 principales productores de energía, los cuales produjeron casi el 61% de la energía primaria el año 2008. Al analizar el cuadro se observa que China es el principal productor con un 16,1% del total, lo cual se debe básicamente a su enorme producción de carbón mineral. En un segundo nivel se encuentran Estados Unidos (13,2%) y la Federación Rusa (9,9%). En un tercer nivel están Arabia Saudita, dada su gran producción de petróleo e India, que a su vez es uno de los principales productores de combustibles sólidos renovables.

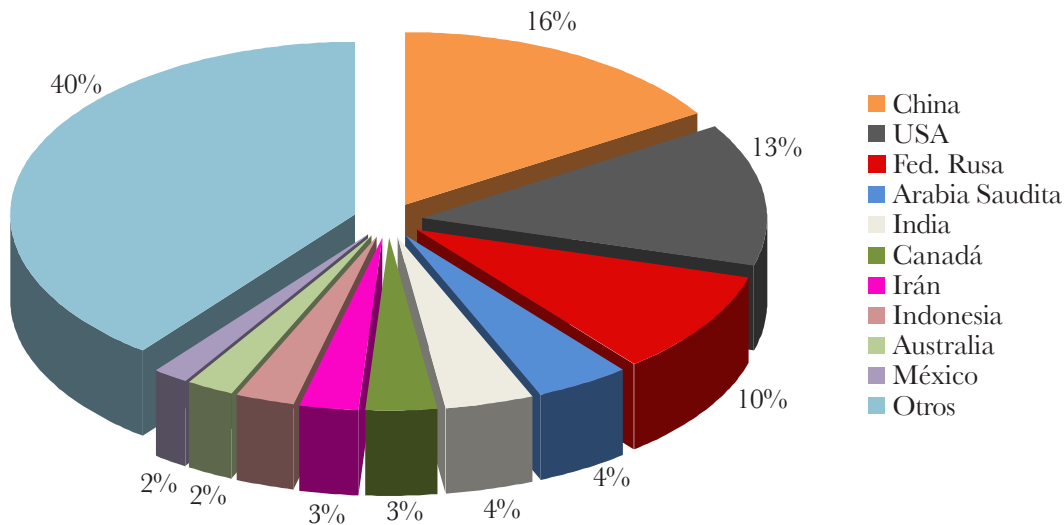
En un cuarto nivel están Canadá, Irán, Indonesia, Australia y México.

Por otra parte, es interesante destacar los casos de Brasil, Francia, Alemania, Japón y Corea del Sur, que si bien no están entre los "Top Ten" (pero si entre los 20 primeros), destacan por haber apostado por fuentes "alternativas", como la hidroeléctrica y los biocombustibles en el caso de Brasil, y la energía nuclear en el caso de los demás países.



Plataforma petrolífera

Figura 3. Principales países productores de energía primaria



Fuente: elaboración propia en base a IEA (2010a) e IEA (2010b).

## 2.2. Mercado internacional de energía

El comercio internacional de energía gira en torno al petróleo y al gas natural, ya que la producción de carbón mineral está orientada básicamente al mercado interno. Las cifras son elocuentes: un 49% y 24% de la producción mundial de petróleo y gas natural se exportan, lo cual se reduce a sólo un 14% en el caso del carbón mineral (IEA, 2010a).

Al igual que el carbón, la producción de electricidad está orientada al mercado interno. Si bien, hay una fracción que se exporta, las posibilidades reales de hacerlo están muy acotadas geográficamente debido a los costos y a las pérdidas energéticas asociadas al transporte eléctrico de larga distancia. Lo mismo ocurre con los combustibles sólidos renovables. Madera, desechos agrícolas, residuos domiciliarios e industriales, etc., están disponibles en casi todos los países del mundo, por tanto se comercializan a nivel local. En consecuencia, de toda la energía comercializada entre países durante el 2008 un 78% correspondió a petróleo y sus derivados y gas natural. El 22% restante correspondió a carbón mineral (13%) y electricidad (9%) (IEA, 2010a).

## 2.3. Exportadores e importadores netos de energía

Como es lógico, los países productores de energía satisfacen su consumo interno para luego comercializar sus excedentes en el mercado internacional. De un total de 75 países analizados, que representan el 92% del consumo mundial de energía, 34 logran autoabastecerse y vender excedentes a los países con déficit. De los 12.267 Mtoe de energía primaria que se consumieron a nivel mundial el año 2008, 2.700 Mtoe correspondieron a ese déficit (22%).

Los principales deficitarios de energía fueron Estados Unidos, con un 21,8% del déficit global, seguido por Japón (15,4%),

Alemania (7,6%), Corea del Sur (6,9%), India (5,8%), Italia (5,6%), Francia (4,9%), China (4,7%) y España (4,1%). En conjunto, estos países representan un 77% del déficit global de energía, y por ende de la demanda internacional de combustibles (básicamente petróleo) (Chile también está en la lista de países con un déficit significativo). Especialmente compleja es la situación de Japón, Alemania, Corea del Sur, Italia y España debido a la gran magnitud de sus déficits en relación a sus consumos internos.

Por otra parte, los principales países con excedentes de energía, especialmente de petróleo y gas natural, fueron la Federación Rusa con un 18,4% del total de excedentes, seguido por Arabia Saudita (13,5%), Noruega (6,1%), Australia (5,6%, básicamente carbón mineral), Indonesia (4,8%), Canadá (4,5%), Kuwait (4,1%), Argelia (4,0%), Irán (4,0%), Emiratos Árabes Unidos (4,0%), Venezuela (3,8%), Nigeria (3,7%) y Qatar (3,3%). En conjunto estos países acumularon un 80% de los excedentes de energía a nivel global, y por ende de la oferta internacional de combustibles.

## 3. Proyecciones asociadas al abastecimiento de energía

### 3.1. "The Peak Oil"

La economía mundial depende estrechamente de los combustibles fósiles. Sin ellos sería imposible mantener la industria, el transporte, el comercio, los hogares, etc., es decir, la forma de vida que hemos construido durante los últimos 200 años. Esta dependencia afecta especialmente a los países desarrollados que consumen enormes cantidades de energía, aunque también a los denominados "países emergentes" (entre los cuales está Chile) cuya demanda de energía ha crecido vigorosamente en los últimos 20 años.

Los combustibles fósiles son un recurso natural no renovable, al menos en una escala de tiempo humana. Por esta razón, una de las preguntas que ha rondado en la cabeza de las personas vinculadas al tema energético durante décadas es, ¿cuánto tiempo

durarán las reservas de combustibles fósiles? Responder esta pregunta no ha sido fácil debido a que el petróleo, el gas natural y el carbón mineral tienen reservas, precios, niveles de producción, etc., muy distintos, lo que dificulta la elaboración de proyecciones. Por lo demás cada año se encuentran reservas nuevas y se inventan nuevas tecnologías que incrementan la producción.

Sin embargo, hay consenso entre los expertos en torno a un tema; el petróleo es el combustible fósil que está más amenazado por la escasez y su abastecimiento será uno de los principales dolores de cabeza de la sociedad mundial durante las próximas décadas. Al respecto, la Agencia Internacional de Energía<sup>4</sup> (IEA, 2008) ha declarado recientemente que la era del petróleo barato<sup>5</sup> llegó a su fin, señalando que a partir del 2006-2007 comenzó un descenso gradual en la producción de petróleo convencional a nivel mundial, la cual se suplirá a partir de reservas no convencionales.

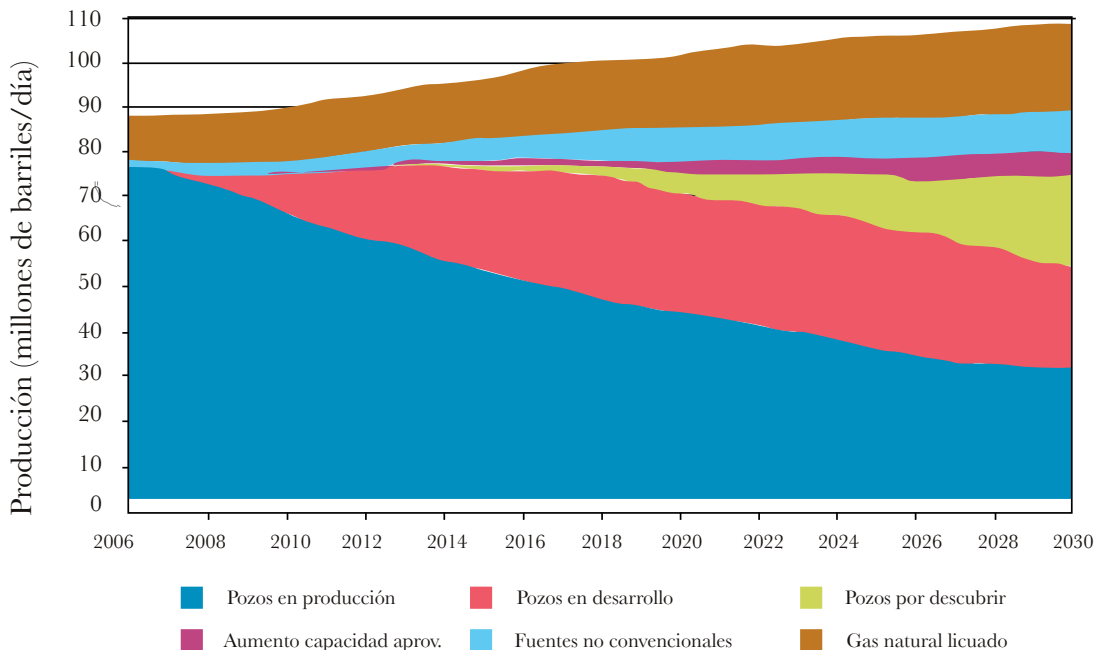
Las fuentes no convencionales de petróleo corresponden a pozos que han sido identificados pero que aún no entran en producción, pozos que aún no han sido descubiertos pero que se esperan descubrir durante los próximos años, recuperación de petróleo a partir de pozos viejos, petróleo no convencional (petróleo pesado, arenas de alquitrán y esquistos bituminosos), y gas natural licuado (Figura 4a). IEA (2008) estima que estas fuentes permitirían incrementar la producción actual de petróleo, que bordea los 85 millones de barriles diarios, alcanzando el 2030 casi 105 millones de barriles por día. El problema es que estas fuentes no

convencionales tienen costos de producción mucho más altos que el petróleo convencional lo cual tendrá un efecto significativo en la economía global (Brandt y Farrell, 2008).

IEA (2008) estima que si bien los próximos 20 años serán complejos, no habrá problemas de abastecimiento al menos hasta el año 2030. Esto es especialmente importante para los países que mantienen un alto déficit energético y que dependen de la importación de hidrocarburos (como es el caso de Chile), y para aquellos que vienen creciendo a gran velocidad, como es el caso de China e India. Sin embargo, las proyecciones de IEA han sido catalogadas como “demasiado optimistas” por varios autores, quienes argumentan que la producción mundial de petróleo ya alcanzó un “peak” máximo de producción, a partir del cual comenzará su agotamiento (de Almeida y Silva, 2009; Miller in press; Gallagher, 2011). En general, los autores coinciden en que este peak se alcanzó entre 2006 y 2010, aunque otros consideran que podría ocurrir antes del 2020 (Sorrell et al., 2010). Al respecto, Aleklett et al. (2010) analizaron detalladamente el informe elaborado por la Agencia Internacional de Energía (2008), utilizando la misma información que este organismo empleó para elaborar el informe, llegando a conclusiones opuestas. Según la opinión de estos investigadores la “era del petróleo llegó a su fin” entre los años 2007 y 2008 (Figura 4b).

Éste podría ser el principal factor detrás de las significativas alzas que han habido en el precio internacional del petróleo durante los últimos años.

Figura 4a. Producción mundial de petróleo al 2030 según IEA (2008)

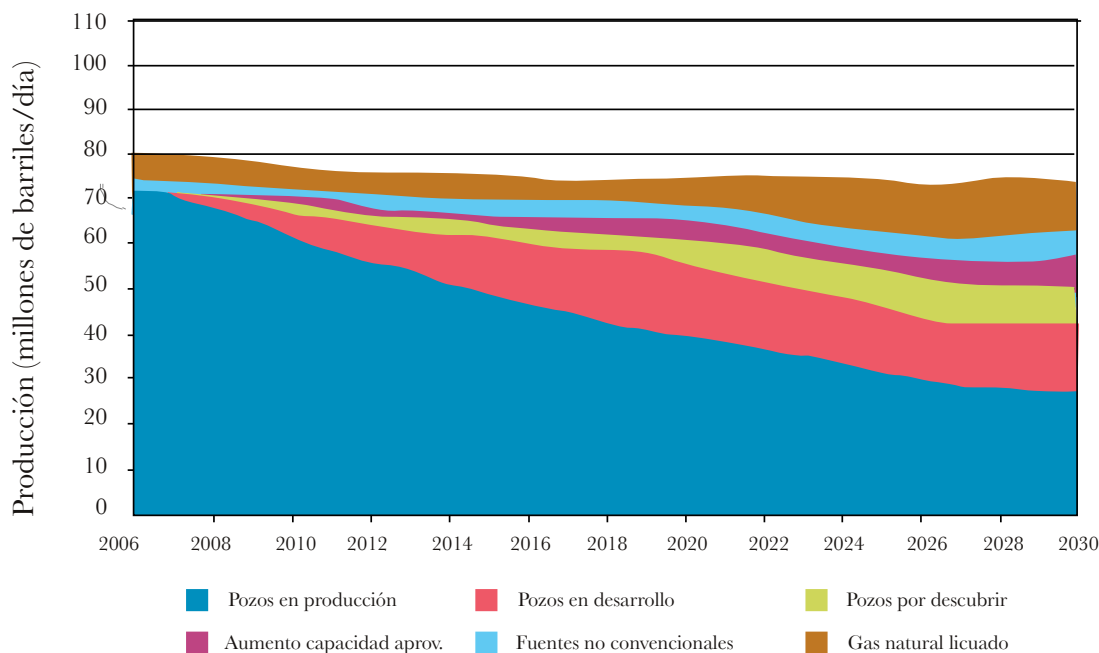


Fuente: IEA (2008).

<sup>4</sup> IEA es una organización compuesta por 28 países industrializados con el fin de compartir información, coordinar políticas, responder a emergencias, promover alternativas energéticas, etc. Es el organismo internacional más importante en materia energética a nivel mundial.

<sup>5</sup> El concepto de “Petróleo barato” se refiere a aquel petróleo que es producido desde pozos convencionales, utilizando las mismas técnicas y equipos que se han venido utilizando por décadas, con niveles de inversión y costos conocidos por la industria.

Figura 4b. Producción mundial de petróleo al 2030 según Aleklett et al (2010)



Fuente: Aleklett et al. (2010).

### 3.2. El carbón mineral

Durante los últimos 10 años, el carbón mineral ha sido la fuente de energía que ha experimentado el mayor incremento. IEA (2008) estima que la producción de carbón mineral va a aumentar en un 60% al año 2030, alcanzando los 7.000 Mtoe. Muchos países en el mundo consideran que el carbón mineral podría ir reemplazando al petróleo en la medida que éste escasee y se haga más caro. De hecho países como India y China han basado su matriz energética en esta fuente de energía.

Este aumento en la demanda, junto con un incremento en los costos de producción, ha elevado el precio internacional del carbón mineral siguiendo una tendencia muy similar a la del petróleo y el gas (IEA, 2008). Las reservas probadas de carbón mineral en el mundo suman 847 mil millones de toneladas, siendo Estados Unidos, Rusia, China y Australia los propietarios del 70% de ellas. Éstas permitirían abastecer el consumo actual de carbón mineral por más de 100 años (IEA, 2008). Por tanto el problema con el abastecimiento de carbón no es su disponibilidad, como ocurre con el petróleo, sino su precio e impacto sobre el medio ambiente. No son compatibles las metas definidas por el panel intergubernamental sobre cambio climático con el uso indiscriminado de carbón mineral. De ser así, es probable que por evitar una crisis energética desatemos una peor.

### 3.3. Los biocombustibles

Los biocombustibles de primera generación producidos a partir de cultivos agrícolas representan un 0.2% de la matriz energética

global, con 24,4 Mtoe el 2006. En 2007, esto equivalió a 62 mil millones de litros que representan el 1,3% del total de combustible utilizado en transporte (Ajanovic in press). Brasil lidera la utilización de biocombustibles, los cuales satisfacen un 21% de sus necesidades energéticas en el sector transporte. Le siguen Estados Unidos (3%), la Unión Europea (1,8%), Canadá (1,4%) y China (1,1%). Las principales materias primas para la producción de biocombustibles son el maíz, el trigo, la cebada, la caña de azúcar, el raps, la soja y el girasol (Ajanovic in press).

La producción de biocombustibles y la producción de alimentos están estrechamente unidas. El planeta tiene 13.200 millones de hectáreas de tierra firme, de las cuales un 11% corresponden a tierras agrícolas, un 26% a praderas, un 32% a bosques y plantaciones forestales, un 9% a áreas urbanas y un 21% a otros usos<sup>6</sup>. Mucha de la tierra útil para actividades agrícolas ya está en uso, por lo tanto la única forma de incrementar la superficie de tierras agrícolas es a costa de praderas o bosques. De hecho, entre 7 y 8 millones de hectáreas de bosques son convertidas en tierras agrícolas cada año en el mundo (FAO, 2002).

Los cultivos empleados para la producción de biocombustibles de primera generación utilizan el 1% de la tierra agrícola existente, lo que equivale a unas 14 millones de hectáreas (FAO, 2008). Es decir, con el 1% de la tierra arable estamos produciendo el 1,3% del combustible utilizado para transporte. Por tanto pensar en reemplazar completamente el consumo de petróleo con biocombustibles generados a partir de cultivos agrícolas es imposible, dado que nos quedaríamos sin tierra para producir alimentos.

<sup>6</sup> Este 21% no está disponible para cultivos agrícolas, praderas ni bosques debido a que son suelos infértiles, poco profundos o simplemente se encuentran en áreas con climas hostiles (demasiado fríos, secos, etc.).



Durante los últimos 10 años ha existido una intensa discusión sobre el efecto de la producción de biocombustibles en el precio de los alimentos. Rathmann et al. (2010) señalan que si bien el efecto existe, ha sido poco significativo. Los mismos autores consideran que el precio del petróleo y la especulación financiera han sido factores mucho más decisivos en incrementar el precio de los alimentos. Sin embargo, Yang et al. (2009) señalan que en la Subregión de Greater Mekong (China) el desarrollo de los biocombustibles ha aumentado significativamente el precio de los alimentos, generando efectos en la producción agrícola, el uso del suelo, el comercio y la seguridad alimentaria. De hecho, Tirado et al. (2010) identifican a los biocombustibles producidos a partir de cultivos agrícolas como una amenaza para la seguridad alimentaria y la superación de la desnutrición en el mundo.

Los estudios disponibles no coinciden en relación al impacto de largo plazo de los biocombustibles sobre el precio de los alimentos. Las conclusiones dependen de los modelos que se empleen. Cuando éstos se acotan al sector agrícola los impactos son significativos, pero cuando se analiza toda la cadena los impactos no son tan claros, y aparecen otros aspectos que estarían generando un mayor efecto (como el precio del petróleo) (Timilsina y Shrestha in press). Sin embargo, el conflicto entre los biocombustibles y la producción de alimentos continúa. En Ghana, compañías europeas y americanas han estado compitiendo por la compra de tierras agrícolas para establecer cultivos energéticos, mientras China acaba de comprar 2,8 millones de hectáreas en la República Democrática del Congo y negocia otras 2 millones en Zambia para los mismos fines. Compras similares se han observado en Nigeria, Tanzania, Etiopía, Kenia, Mozambique, etc. Al mismo tiempo, y paradójicamente, millones de personas enfrentan el hambre en el continente africano (Amigun et al., 2011).

Hay consenso en que los biocombustibles de primera generación reducen la emisión de gases de efecto invernadero, siempre y cuando no haya cambio de uso del suelo (reemplazo de bosques). De otra forma, su aporte real a la mitigación del cambio climático es difuso (Timilsina y Shrestha in press). Además, Hill et al (2008) plantean que el bioetanol producido a partir de maíz, generaría mayores costos ambientales y sociales en Estados Unidos, que la gasolina convencional y el bioetanol producido a partir de celulosa. Considerando las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas durante el proceso de producción de estos combustibles y las de material particulado fino PM<sub>2.5</sub>, cuyo efecto sobre la salud humana ha sido ampliamente reportado, la producción de bioetanol a partir de maíz tendría un costo que fluctúa entre US\$ 0,47 y US\$ 0,95 por cada galón de etanol equivalente. En cambio la gasolina convencional tendría un costo de US\$ 0,47 y el bioetanol a partir de celulosa entre US\$ 0,12 y US\$ 0,21.

Es decir, por distintas razones los biocombustibles producidos a partir de cultivos agrícolas deberían ser reemplazados o complementados por biocombustibles producidos a partir de otras fuentes de biomasa. De hecho, IEA (2006) señala que el

uso a gran escala de biocombustibles no será posible a menos que se desarrolle una tecnología económicamente competitiva para producirlos a partir de biomasa lignocelulósica, la cual puede ser obtenida desde terrenos no-agrícolas y por ende generar un menor impacto en la agricultura, la seguridad alimentaria, la emisión de gases de efecto invernadero y el medio ambiente.

#### 4. Los combustibles derivados de la madera como fuente de energía

##### 4.1. Consumo y producción

2.400 millones de personas utilizan madera y otras formas de biomasa a nivel mundial, especialmente en países en desarrollo, lo que representa un 36% de la población mundial (FAO, 2010). Los combustibles sólidos renovables representaron el 2008 el 10% de la matriz de energía primaria, un 87% de lo cual correspondió a combustibles derivados de madera, un 9% a desechos agrícolas y biocombustibles producidos a partir de cultivos agrícolas, y un 4% a desechos municipales e industriales (IEA, 2010a; WEC, 2010). Al respecto, FAO (2007) estima que más de la mitad de los 3.300 millones de metros cúbicos de madera cosechada anualmente en el mundo se utiliza con fines energéticos.

Los combustibles derivados de la madera más utilizados en el mundo son: la leña, que corresponde a madera en trozo utilizada normalmente para producir calor, el carbón vegetal<sup>7</sup>, y los desechos forestales. Estos últimos pueden ser obtenidos en el bosque después de una cosecha forestal, en aserraderos o industrias como resultado del procesamiento de la madera, o como madera de desecho de la construcción u otras actividades.

Los combustibles derivados de la madera se emplean principalmente en el sector residencial urbano y rural, para calefacción y cocina, aunque también son utilizados frecuentemente en los sectores industrial, público (hospitales, colegios, municipios, y edificios públicos) y comercial (restaurantes, hoteles, etc.).

La participación de los combustibles derivados de la madera en la matriz de energía primaria de los países en desarrollo es significativa, alcanzando un 14% en Latinoamérica, un 19% en Asia y un 26% en África. De hecho, existen al menos 34 países donde los combustibles derivados de la madera representan más del 70% de la matriz (Sims et al., 2007).

Al respecto, se observa una alta correlación entre el consumo de combustibles sólidos renovables (donde destacan los combustibles derivados de la madera) y el ingreso per cápita, en aquellos países con ingresos inferiores a US\$ 10.000 anuales<sup>8</sup> (Figura 5). Bajo US\$ 2.500 anuales de ingreso per cápita la participación de estos combustibles en la matriz energética es de un 75% en promedio (CV= 16%). Es decir, los países más pobres del mundo, concentrados en una alta proporción en África y Asia, satisfacen

<sup>7</sup> Un 8,3% de la madera empleada con fines energéticos se utiliza para producir carbón vegetal (IEA, 2007).

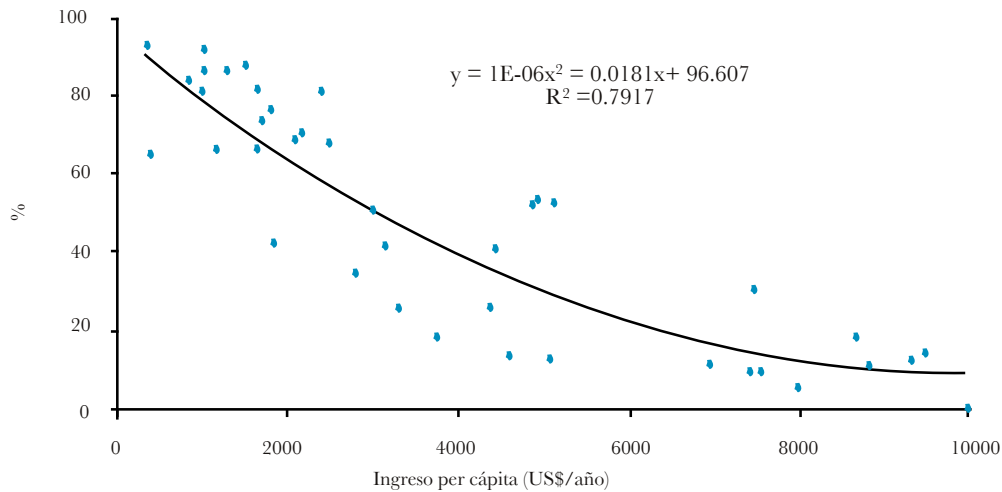


Producción de leña en sectores rurales

sus necesidades energéticas fundamentalmente a partir de madera y desechos. Entre US\$ 2.500 y US\$ 6.000 anuales la participación de los combustibles sólidos renovables en la matriz energética es

de un 36% en promedio (CV=44%), y entre US\$ 6.000 y US\$ 10.000 anuales, la participación fluctúa entre un 6% y un 18% (exceptuando El Salvador) (IEA, 2010b; IMF, 2010).

**Figura 5. Relación entre ingreso per cápita y consumo de combustibles sólidos renovables en 42 países con ingresos bajos**



Fuente: elaboración propia en base a IEA (2010b) e IMF (2010).

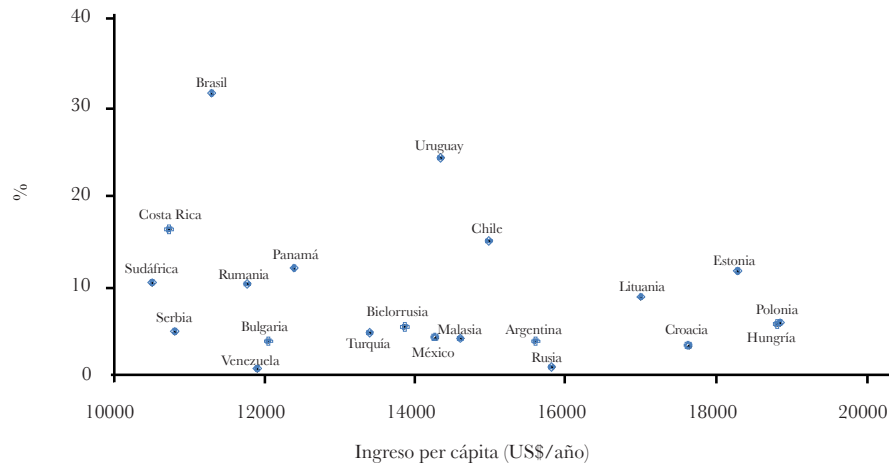
Sobre US\$ 10.000 anuales no se observa una correlación significativa entre ingreso y consumo de combustibles sólidos renovables. En los países de ingresos medios (entre US\$ 10.000 y US\$ 20.000 anuales) se observan dos situaciones distintas. Por un lado países donde estos combustibles son muy relevantes en la matriz energética, como Costa Rica (16%), Brasil (30%), Uruguay (24%) y Chile (15%), y por otro, países donde representa menos de un 10% de la matriz (Figura 6).

Austria y Dinamarca donde el uso de combustibles sólidos renovables, especialmente aquéllos derivados de madera, es muy significativo, representando entre un 15% y 22% de su matriz (IEA, 2010b; IMF, 2010).

En los países desarrollados, con ingresos sobre US\$ 20.000 anuales, los combustibles sólidos renovables son poco importantes en la matriz energética, con una participación menor al 8% (moda= 4%). Sin embargo, hay países como Finlandia, Suecia,

Los combustibles sólidos renovables, especialmente la biomasa forestal, están siendo utilizados en forma creciente como una forma de reemplazar combustibles fósiles y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. De hecho, FAO (2010) prevé un incremento en la demanda mundial de biomasa forestal con estos fines, durante las próximas décadas, debido al aumento de la población y al incremento en el precio de los combustibles fósiles.

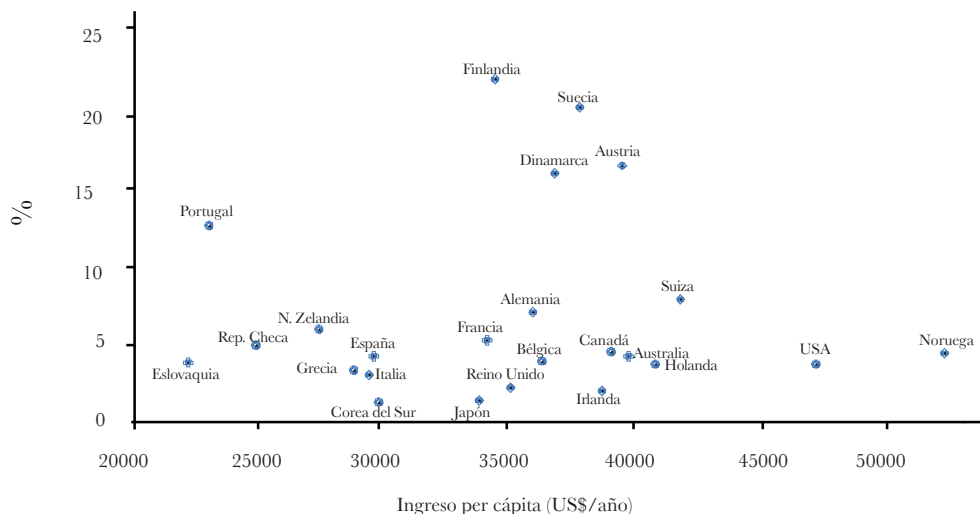
**Figura 6. Participación de los combustibles sólidos renovables en la matriz energética de 21 países de ingresos medios**



Fuente: elaboración propia en base a IEA (2010b) e IMF (2010).

<sup>8</sup> Sin considerar aquellos países que se encuentran en zonas áridas.

Figura 7. Participación de los combustibles sólidos renovables en la matriz energética de 24 países con ingresos altos



Fuente: elaboración propia en base a IEA (2010b) e IMF (2010).

La producción mundial de combustibles derivados de la madera alcanzó 1.890 millones de metros cúbicos en 2007, lo que equivale al 53% de la producción mundial de madera (FAO, 2009a). Asia es el principal productor mundial de combustibles derivados de madera con un 42% del volumen, seguido por África (32%) y América (18%). Además, 102 millones de metros cúbicos de

residuos forestales fueron usados para la producción de energía a nivel mundial, un 59% de los cuales se generaron en Europa y un 26% en Asia. Por otra parte, durante el año 2007 se produjeron 45 millones de toneladas de carbón vegetal, un 55% del cual se produjo en África, un 27% en Latinoamérica y un 15% en Asia (Cuadro 6).

Cuadro 6. Producción mundial de leña, desechos forestales y carbón durante el 2007

Región	Leña		Desechos forestales		Carbón vegetal	
	Cantidad (miles de m <sup>3</sup> )	%	Cantidad (miles de m <sup>3</sup> )	%	Cantidad (miles de m <sup>3</sup> )	%
África	603.089	32,0	625	0,6	24.765	54,8
América	332.800	17,6	12.535	12,3	13.033	28,9
Asia	786.648	41,7	26.555	26,0	6.659	14,7
Europa	152.604	8,1	59.969	58,8	689	1,5
Oceanía	11.041	0,6	2.300	2,3	24	0,1
Total	1.886.182	100,0	101.984	100,0	45.170	100,0

Fuente: FAO (2009).

El Cuadro 6 muestra que la leña es producida fundamentalmente en África y Asia, con casi un 74% del volumen total, aunque en Latinoamérica también es un combustible importante. En cambio, casi un 60% de los desechos forestales se emplean en Europa y un 84% del carbón vegetal se emplea en África y América. Ésos son los “formatos” más frecuentes en que se producen los combustibles derivados de la madera en cada continente, lo cual está asociado no sólo a variables económicas y tecnológicas sino también a aspectos culturales.

**4.1. Análisis de países**

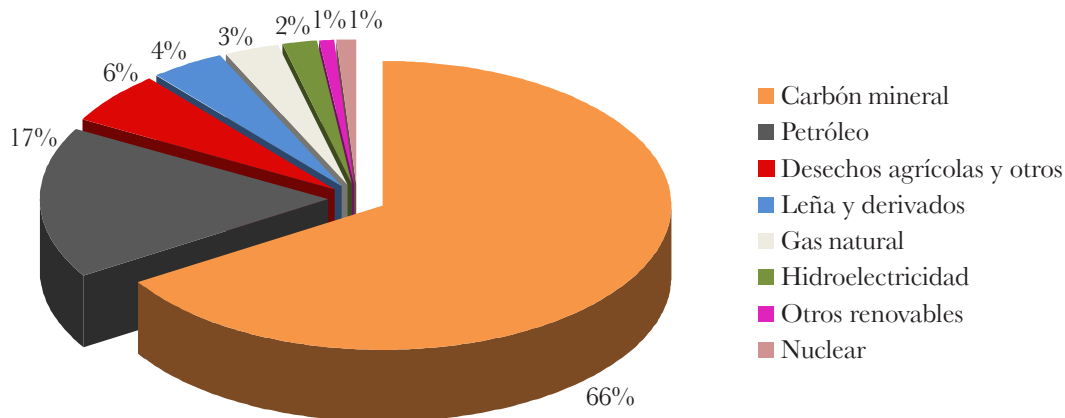
**a) China**

China es el segundo consumidor mundial de energía con 2.116 Mtoe anuales, los cuales representaron un 17% del consumo

global de energía el año 2008 (IEA, 2010a). Este país tiene 1.333 millones de habitantes, un 54% de los cuales viven en áreas rurales (NBS, 2010). Según el Fondo Monetario Internacional (2010) el ingreso per cápita en China es de US\$5.963, por tanto se clasifica como un país de ingresos bajos.

La matriz de energía primaria China depende fuertemente del carbón mineral, especialmente para la producción de electricidad y el abastecimiento industrial. Los combustibles sólidos renovables representan un 10% de la matriz energética siendo los componentes más relevantes los desechos agrícolas<sup>9</sup> (5%), los combustibles derivados de la madera (4%) y estiércol animal (1%), los cuales son especialmente importantes en áreas rurales (Figura 8).

**Figura 8. Matriz de energía primaria de China en 2008**



Fuente: elaboración propia en base a IEA (2010b) y Koopmans (2005).

Los combustibles derivados de la madera, básicamente leña y derivados, son la cuarta fuente de energía más importante de China con un 4% de la matriz. Esta fuente de energía es utilizada básicamente por el sector residencial rural para calefacción y cocina. En las áreas cálidas del sur de China, leña y derivados son utilizados para cocinar y calentar agua, y en el norte, donde el clima puede llegar a ser muy frío durante el invierno, también se utiliza para calefacción. El consumo de leña para calefacción en el norte de China puede alcanzar el 40% del consumo total de energía domiciliaria (Pachauri y Jiang, 2008).

No existen datos precisos sobre el consumo de leña y derivados en China. Las estimaciones varían entre 127 y 267 millones de toneladas anuales (entre 203 y 427 millones de metros cúbicos sólidos, aproximadamente), un 26% de los cuales se generarían fuera de los bosques (árboles aislados, desechos forestales, plantaciones de palma aceitera y otros cultivos, etc.) (Koopmans,

2005). Al respecto, Yanli et al (2010) estiman que la producción potencial de biomasa forestal en China es de 499 millones de toneladas anuales, incluyendo leña, desechos industriales y desechos de silvicultura, los cuales están concentrados en el sureste, suroeste y noreste del país y en la región autónoma de Xinjiang Uygur, pero no estarían totalmente disponibles.

En términos generales no se observa una pérdida de bosques en China debido a la producción de leña y derivados. De hecho, la superficie de bosques entre 1990 y 2000 se habría incrementado pasando de 145 a 163 millones de hectáreas. Sin embargo, es fundamental aclarar que la definición de bosques empleada en el estudio de Koopmans (2005) incluye a bosques nativos y plantaciones forestales. También es relevante mencionar que éstas son estimaciones generales, que no consideran las particularidades regionales o provinciales al interior del país.

<sup>9</sup> Paja producida a partir de los cultivos de maíz (39%), Trigo (19%), Arroz (17%) y otros (25%) (Zeng et al., 2007).



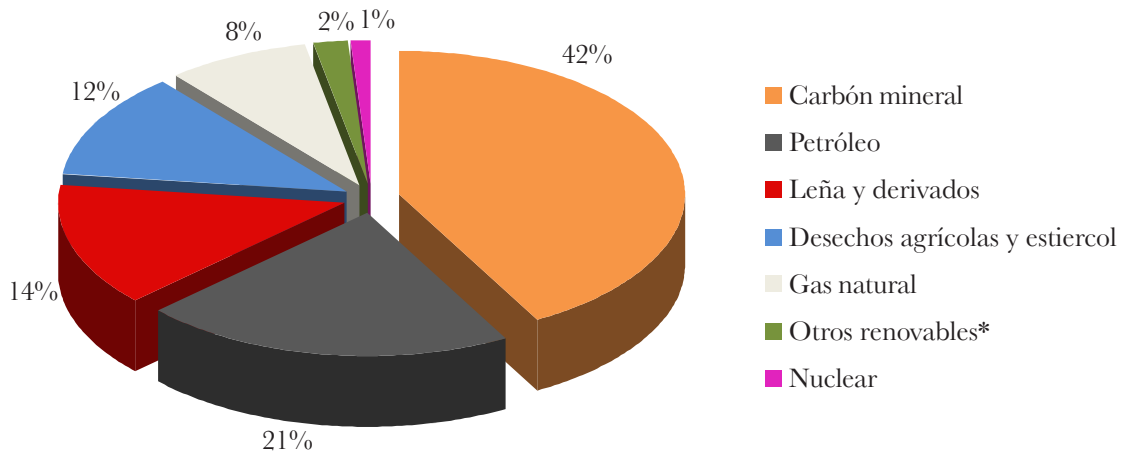
Ruma de leña

**b) India**

India es el cuarto consumidor mundial de energía con 621 Mtoe anuales, los cuales representaron un 5% del consumo global de energía el año 2008 (IEA, 2010a). Este país tiene 1.155 millones de habitantes, un 71% de los cuales viven en áreas rurales, aunque el proceso de migración campo - ciudad es intenso (Ravindranath et al., 2005). Según el Fondo Monetario Internacional (2010) el ingreso per cápita en India es de US\$ 2.742, por tanto se clasifica como un país de ingresos bajos.

India tiene una matriz de energía primaria que depende en gran medida del carbón mineral (42%), el cual es producido dentro del país (Mahendra y Mool, 2010). La segunda fuente de energía son los combustibles sólidos renovables que representan un 26% de la matriz, los cuales son la principal fuente de energía en áreas rurales representando más de un 80% de la energía consumida. Leña y derivados es el principal combustible sólido, con un 54% del total, seguido por los desechos agrícolas y el estiércol animal (Figura 9).

**Figura 9. Matriz de energía primaria de India en 2008**



\* Hidroelectricidad, eólica, geotérmica.

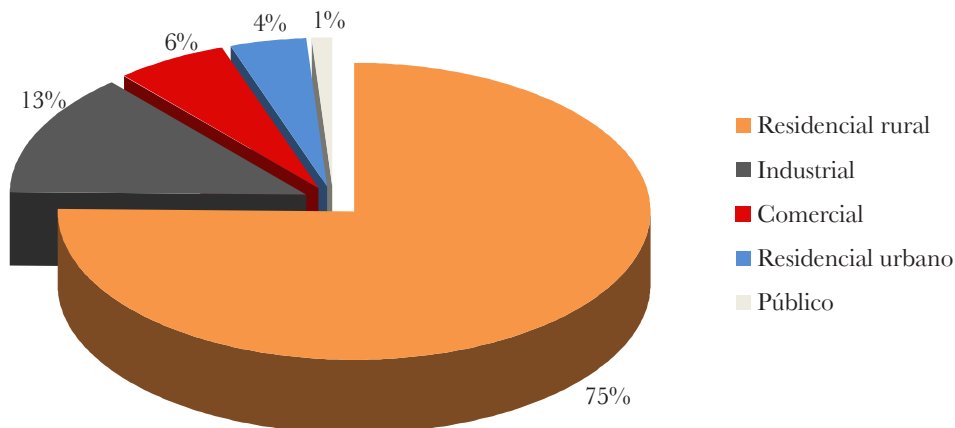
Fuente: elaboración propia en base a IEA (2010b) y Ravindranath et al. (2005).

Un 88% de la población rural utiliza leña y derivados, porcentaje que no ha variado en los últimos 30 años. En cambio, sólo un 35% de la población urbana utiliza leña y derivados, porcentaje que bajó desde un 61% en 1983 (Pachauri y Jiang, 2008). Esta enorme demanda ha generado escasez, lo cual está incrementando el precio de la leña y con ello la demanda sobre los desechos agrícolas y el estiércol. Por otra parte, una de las características asociadas al uso de leña y derivados es la baja eficiencia de los

equipos de combustión empleados, la cual fluctúa entre un 10% y un 14% (Ravindranath et al., 2005).

Un 75% de leña y derivados se emplea en el sector residencial rural, básicamente para cocinar y calentar agua. Dadas las altas temperaturas que hay en general en las distintas regiones de India, la producción de calor no es un uso relevante, a excepción de la industria (FAO, 2003; Pachauri y Jiang, 2008) (Figura 10).

**Figura 10. Consumo de leña y carbón vegetal por sector**



Fuente: elaboración propia en base a FAO (2003).

Ravindranath y Hall (1995) mencionan que un 45% de la leña y derivados producida en India proviene de bosques nativos, de los cuales menos de un tercio correspondería a árboles cortados específicamente con ese fin. La mayor parte del volumen proviene de desechos de cosecha o ramas, un 36% corresponden a arbustos o árboles aislados en tierras degradadas, áreas agrícolas o en torno a los caminos, y un 23% se obtiene a partir de plantaciones forestales.

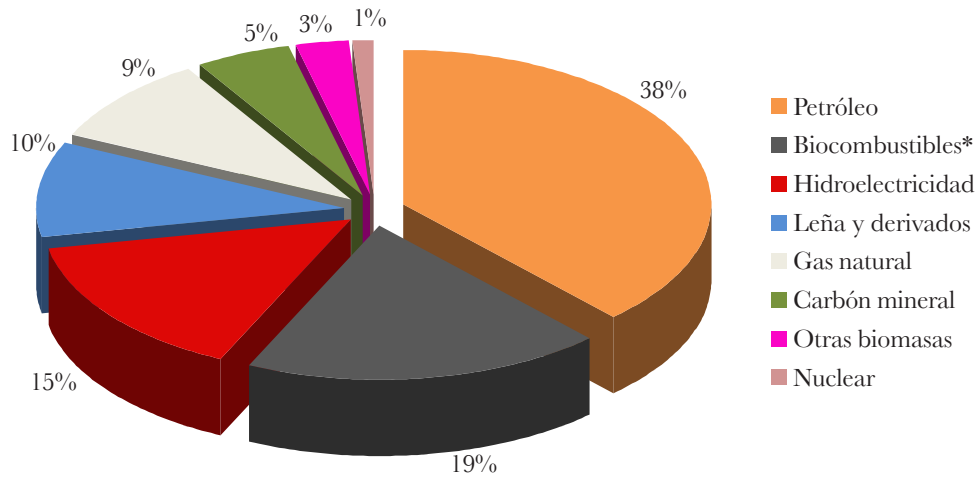
**c) Brasil**

Brasil es el noveno consumidor mundial de energía con 248 Mtoe anuales, los cuales representaron un 2% del consumo global de energía el año 2008 (IEA, 2010a). Este país tiene 191 millones

de habitantes, un 16% de los cuales viven en áreas rurales (IBGE, 2010). Según el Fondo Monetario Internacional (2010) el ingreso per cápita en Brasil es de US\$10.326, por tanto se clasifica como un país de ingresos medios.

La matriz de energía primaria brasileña es una de las más limpias y diversificadas del mundo, observándose un interesante balance entre fuentes de energía fósil (52%) y renovables (48%) (Figura 11). Brasil ha sido uno de los pioneros mundiales en la producción de bioetanol, el cual se produce a partir de caña de azúcar. El Estado brasileño inició la producción de biocombustibles en 1931, logrando consolidarse como la segunda fuente de energía después del petróleo con un 19% del abastecimiento energético (Ministerio de Minas y Energía de Brasil, 2009).

**Figura 11. Matriz de energía primaria de Brasil en 2008**

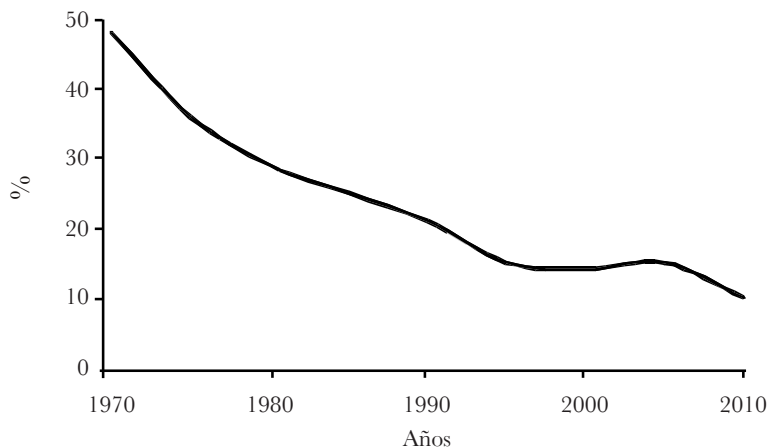


Fuente: elaboración propia en base a Ministerio de Minas y Energía de Brasil (2009).  
\* Producido a partir de caña de azúcar.

Los combustibles extraídos de la madera, básicamente leña y derivados, son la cuarta fuente de energía más importante de Brasil con un 10% de la matriz. Sin embargo, el uso de éstos se ha reducido ostensiblemente desde 1970, debido al éxodo masivo

de población campesina a las ciudades y al reemplazo de leña por otros combustibles, especialmente gas licuado (FAO, 1994) (Figura 12).

**Figura 12. Leña y carbón vegetal en la matriz energética de Brasil entre 1970 y 2010**



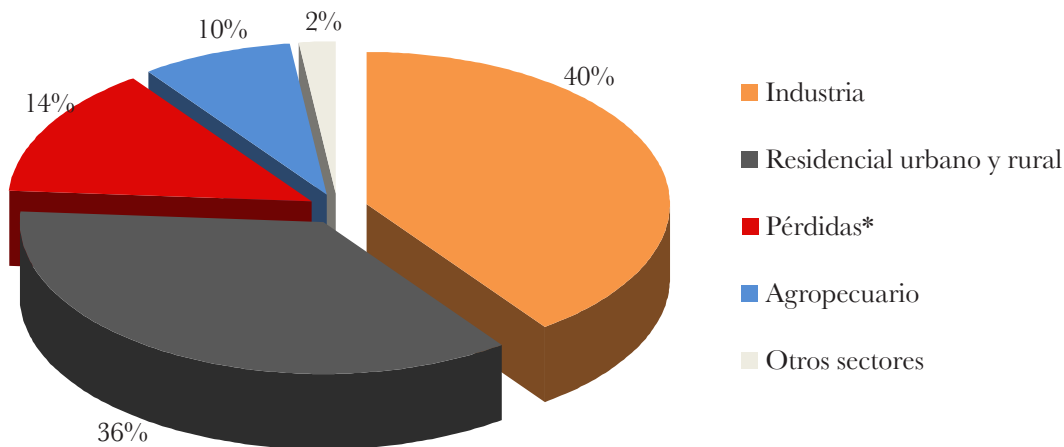
Fuente: elaboración propia en base a Ministerio de Minas y Energía de Brasil (2009).



Un 32% de la leña se emplea para producir carbón vegetal, un 31% en el sector residencial (urbano y rural), un 27% en el sector industrial, un 10% en el sector agropecuario y un 1% en la generación de electricidad. Las principales industrias que consumen leña son: fábricas de cerámicas (32%), elaboradoras

de bebidas y alimentos (31%), plantas de celulosa y papel (22%) y otras (15%). Por otra parte, el carbón vegetal se emplea fundamentalmente en la industria (sector siderúrgico), con un 83% del total, seguido por el sector residencial (15%) y otros (2%) (Ministerio de Minas y Energía de Brasil, 2009).

Figura 13. Consumo de leña y carbón vegetal por sector



Pérdidas generadas en la transformación de leña en carbón vegetal.  
Fuente: elaboración propia en base a Ministerio de Minas y Energía de Brasil (2009).

El consumo de leña en Brasil es de casi 80 millones de metros cúbicos de madera sólida al año, los cuales se obtienen generalmente a partir de la degradación y la destrucción del bosque nativo (FAO, 1994). Sin embargo, el impacto ambiental del consumo de leña está muy disperso debido a la enorme extensión del país, aunque en algunas regiones es posible observar sus efectos. En la Región Amazónica, por ejemplo, existe una alta presión sobre los bosques para abastecer de carbón vegetal a la industria siderúrgica. En el sur del país extensas regiones fueron deforestadas para proveer leña a la agroindustria (ahumado). Algo similar ocurre en la región semiárida del Noreste de Brasil para la producción de cerámica (FAO, 1994). Durante los últimos 15 años ha habido un esfuerzo para reducir el abastecimiento de leña y carbón vegetal desde bosques nativos, fomentando el establecimiento de plantaciones dendroenergéticas.

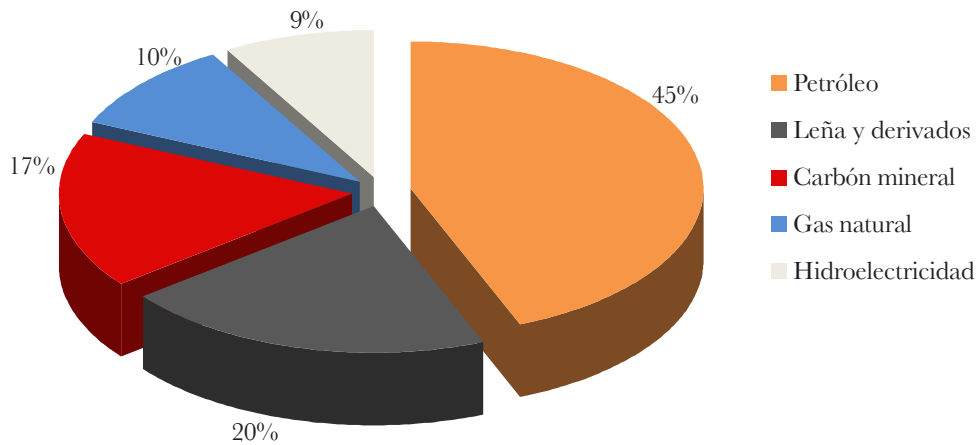
#### d) Chile

El año 2008, Chile consumió 31 Mtoe anuales, los cuales representaron un 0,25% del consumo global de energía (IEA,

2010a). Este país tiene 17 millones de habitantes, un 13% de los cuales viven en áreas rurales (INE, 2010). Según el Fondo Monetario Internacional (2010) el ingreso per cápita en Chile es de US\$14.982 por año, por tanto se clasifica como un país de ingresos medios.

La matriz de energía primaria chilena depende fuertemente de la importación de combustibles fósiles, entre los que destacan el petróleo y el carbón mineral (Figura 14). Durante los últimos 20 años Chile ha tenido problemas serios con su abastecimiento de energía. A fines de los '90 el gobierno chileno firmó un convenio de abastecimiento de gas natural con Argentina, el cual permitiría contar con una fuente de energía barata y más limpia para la producción de electricidad y el abastecimiento industrial y domiciliario. Sin embargo, al poco andar comenzaron los problemas de abastecimiento. En 2004, durante el peak del gas Argentino, esta fuente de energía llegó a representar un 29% de la matriz. Actualmente representa sólo un 10% y va en disminución. Esto se ha compensado con carbón mineral, lo cual ha "ennegrecido" la matriz energética chilena (CNE, 2010).

Figura 14. Matriz de energía primaria de Chile en 2008



Fuente: elaboración propia en base a CNE (2010).

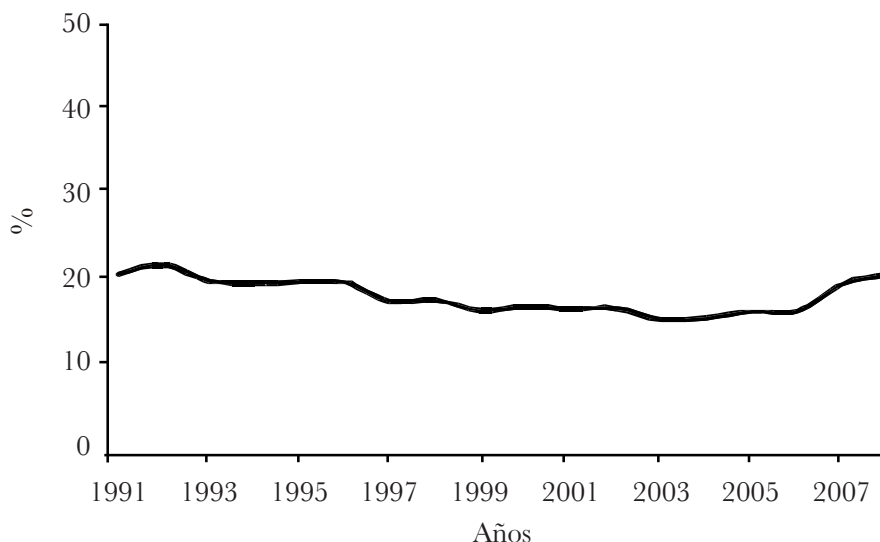
La matriz energética chilena también tiene su “lado verde”. Los combustibles derivados de la madera, especialmente leña y desechos forestales, representaron el 2008 un 20% de la matriz, transformándose en la segunda fuente de energía después del petróleo. Por otra parte, la hidroelectricidad más la energía eólica alcanzaron un 9%. Es decir, casi un tercio de la matriz energética chilena es renovable (CNE, 2010).

La importancia relativa de los combustibles derivados de la madera en la matriz energética se ha mantenido más o menos constante desde 1991 (Figura 15), a pesar de que durante el mismo periodo la población rural disminuyó de un 17% a un 13% (INE, 2010). En general, se observa que los combustibles derivados de la madera se emplean principalmente en el sector residencial rural y la industria. Por tanto, cuando se producen

fenómenos de migración rural – urbano se observa también una reducción en el consumo de biomasa forestal. Esto se observó en Brasil, y también se está observando en el caso de India y China. Sin embargo, en el caso de Chile no ocurrió lo mismo.

El clima frío de las regiones del sur chileno genera una alta demanda de energía para calefacción. Esto sumado a la alta disponibilidad de biomasa forestal, que implica precios relativamente bajos para los combustibles derivados de la madera en comparación a otras fuentes de energía, podrían ser las principales causas de la gran importancia que tiene este combustible en la matriz energética chilena. Además, Lara et al. (2009) reportan que el consumo industrial de leña aumentó ostensiblemente desde 2002, lo cual reafirma esta tendencia.

Figura 15. Leña y desechos forestales en la matriz energética de Chile entre 1991 y 2010

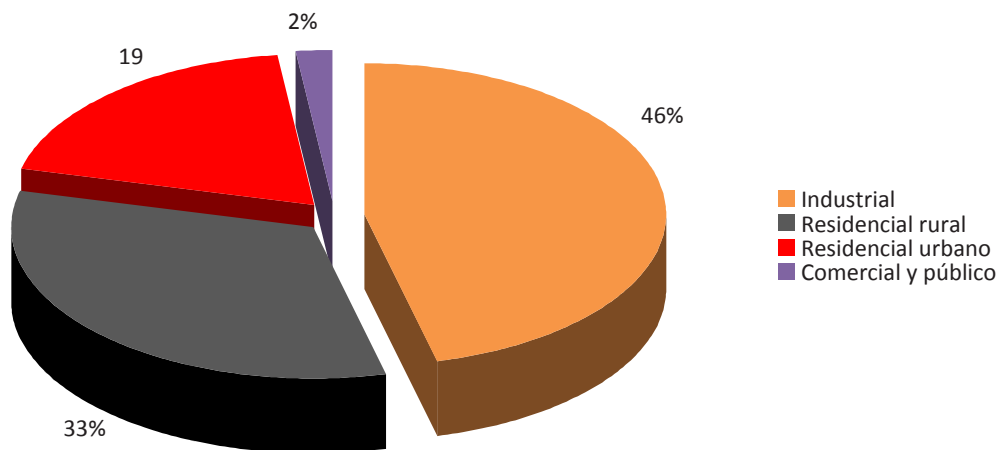


Fuente: elaboración propia en base a CNE (2010).

Un 46% de los combustibles derivados de la madera se emplean en el sector industrial, un 33% en el residencial rural, un 19% en el sector urbano y un 2% en los sectores comercial y público (Lara et al., 2010). En el sector residencial rural, la leña se emplea para cocinar y calefaccionar el hogar, utilizando equipos de combustión que tienen una eficiencia media de un 30%. En el

sector residencial urbano, la leña se emplea para calefacción, aunque también hay familias de los estratos socioeconómicos bajos que la emplean para cocinar. Por otra parte, en el sector industrial se utiliza leña para producir calor, vapor y electricidad (Gómez-Lobo et al., 2006).

Figura 16. Consumo de leña y desechos forestales por sector



Fuente: elaboración propia en base a Gómez-Lobo *et al.* (2006)

En Chile se emplean 15 millones de metros cúbicos sólidos de leña al año, dos tercios de los cuales se obtienen a partir de bosques nativos y un tercio desde plantaciones forestales (*Pinus radiata*, *Eucaliptus globulus*, *Eucaliptus nitens* y *Acacia melanoxylon*, principalmente) (Gomez-Lobo et al., 2006; INFOR, 1994). Además se emplean 5 millones de metros cúbicos sólidos de desechos forestales para la producción de calor y electricidad, en aserraderos y plantas de celulosa.

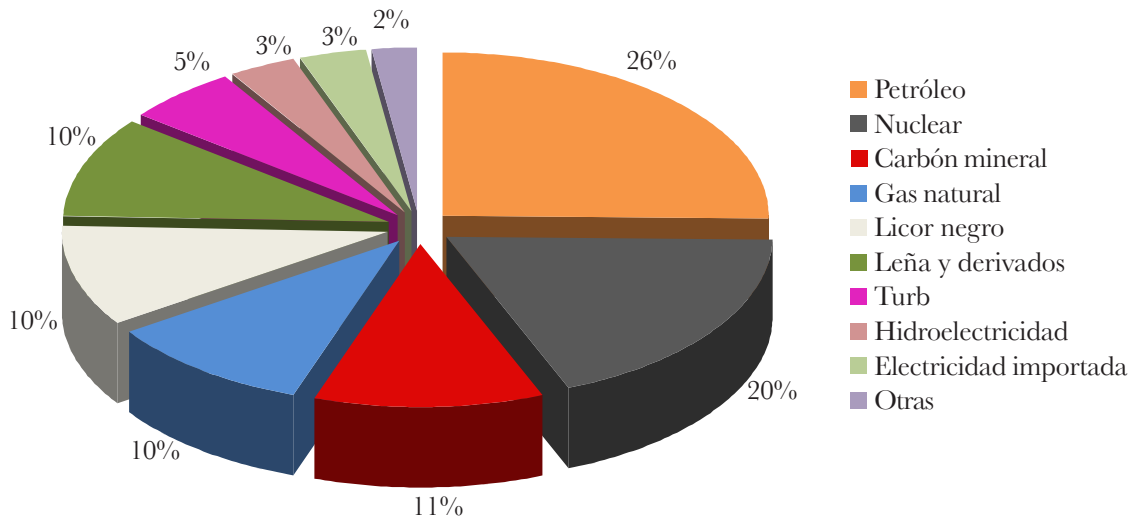
Reyes y Venegas (2009) mencionan que la biomasa forestal que proviene de bosques nativos se produce, en general, a partir de cortas ilegales o actividades silvícolas mal implementadas, lo cual ha degradado miles de hectáreas de estos bosques. En tanto, la biomasa que proviene de plantaciones se produce a partir de talas rasas extensas, que a veces cubren decenas o incluso cientos de hectáreas, causando degradación de suelo, agua, pérdida de biodiversidad, etc. Es decir, la biomasa forestal que se utiliza en Chile no tiene una base de sustentabilidad que permita proyectarla en el tiempo.

#### e) Finlandia y Suecia

Finlandia y Suecia consumieron 35 y 50 Mtoe el año 2008, respectivamente, representando ambos el 0,7% de la energía consumida a nivel mundial (IEA, 2010b). Estos países tienen 5,3 y 9,3 millones de habitantes, respectivamente, de los cuales un 39% y 17% viven en áreas rurales (OECD, 2008; SMA, 2008). Según el Fondo Monetario Internacional (2010) el ingreso per cápita en Finlandia y Suecia es mayor a los US\$ 36.000, por tanto se clasifican como países de ingresos altos.

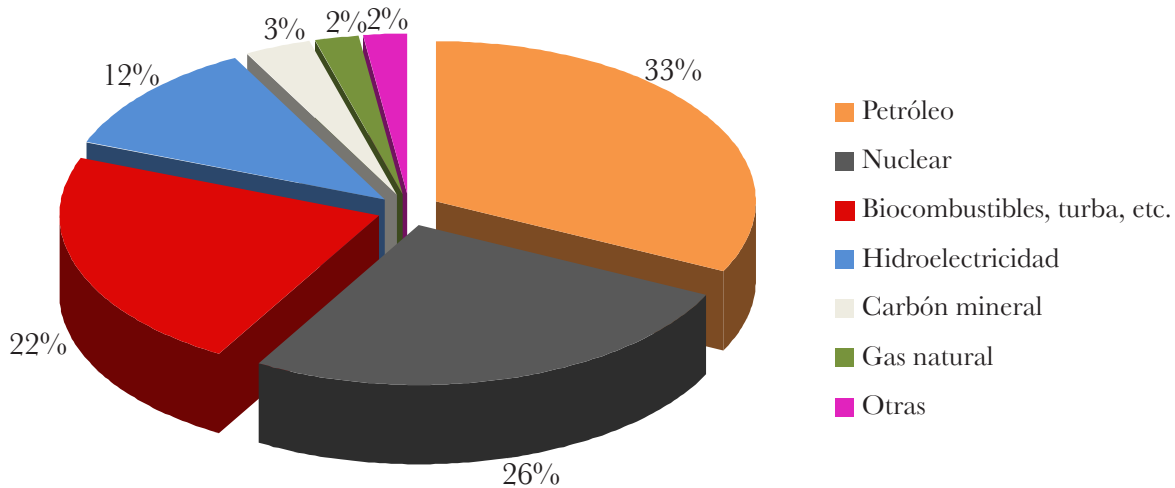
Las matrices energéticas de Finlandia y Suecia tienen un alto porcentaje de fuentes renovables. En el caso de Finlandia, un 20% de la matriz corresponde a combustibles derivados de la madera, de los cuales la mitad corresponde a licor negro producido en plantas de celulosa y la otra mitad a leña, chips, pellets y briquetas (Figura 17). En el caso Sueco un 22% de la matriz corresponde a biocombustibles, entre los que se encuentran aquellos derivados de madera (Figura 18). Ambos países tienen matrices energéticas muy diversificadas, y con una menor dependencia de fuentes fósiles.

Figura 17. Matriz de energía primaria de Finlandia en 2008



Fuente: elaboración propia en base a Statistics Finland (2010).

Figura 18. Matriz de energía primaria de Suecia en 2008



Fuente: elaboración propia en base a Swedish Energy Agency (2010).

El consumo de leña y derivados en Finlandia y Suecia es de 4,7 y 6,1 millones de metros cúbicos sólidos al año, los cuales se emplean principalmente en el sector residencial urbano y rural. Hasta la década del '50, la calefacción residencial en áreas urbanas y rurales de Finlandia dependía básicamente de este combustible, el cual comenzó a ser reemplazado por otras fuentes de energía

(Myllyntaus y Mattila, 2002). Actualmente, sólo un 9% y 10% de la madera producida en Finlandia y Suecia se usa con fines energéticos, el resto se emplea para la producción de madera aserrada, tableros, pulpa de celulosa y productos de papel (Lindroos, 2011; FAO, 2007a). Sin embargo, el consumo de biomasa forestal para energía va en aumento (Figura 19).

**Figura 19. Combustibles derivados de madera en la matriz energética de Finlandia entre 1990 y 2009**

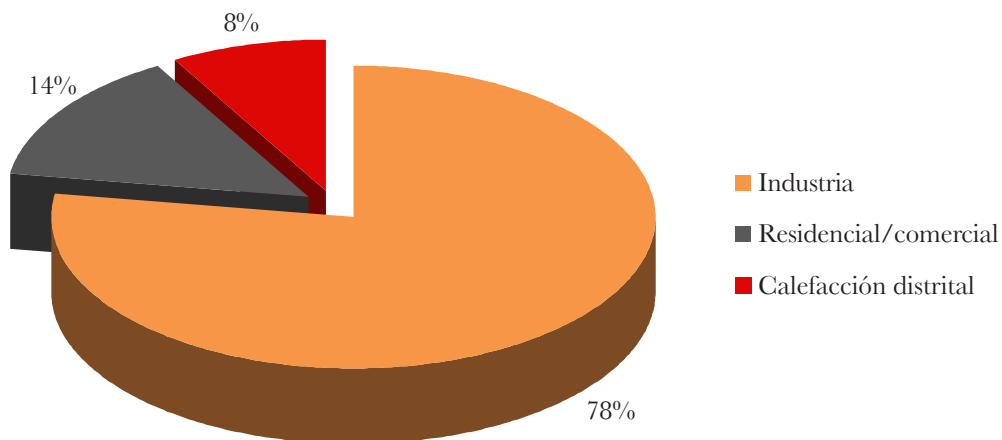


Fuente: elaboración propia en base a Statistics Finland (2010).

En Finlandia, un 78% de los combustibles derivados de la madera se utilizaron en el sector industrial. El licor negro se emplea básicamente en la industria de la celulosa, donde se obtiene como subproducto, y los chips en diversas industrias donde se emplean para producir calor y electricidad. Los chips se producen a partir de desechos forestales y madera rolliza de diámetro reducido. El

2006 se produjeron 3,4 millones de metros cúbicos, un 90% de los cuales se utilizaron en la industria y el 10% restante en el sector residencial (Kärhä in press). Por otra parte, leña, pellets y briquetas se emplean preferentemente en el sector residencial (Figura 20).

**Figura 20. Consumo de combustibles derivados de la madera por sector**



Fuente: elaboración propia en base a Statistics Finland (2010).

## 5. Conclusiones

Los combustibles derivados de la madera son la fuente de energía más antigua de la humanidad, y aún, en pleno siglo XXI, siguen siendo utilizados alrededor del mundo tanto por países pobres como ricos.

La cantidad de hogares que utilizan leña es enorme, incluso en los países desarrollados. En Australia y Estados Unidos, por ejemplo, un cuarto de los hogares utilizan leña y derivados. Un 55% de toda la madera producida en el mundo, ya sea de bosques nativos y plantaciones forestales, se utiliza como leña. Es decir, un volumen gigantesco, sin considerar los desechos forestales, el licor negro y otros productos derivados de la madera que también se utilizan para estos fines.

La crisis energética por la que está atravesando la humanidad ha incrementado el interés por los combustibles derivados de la madera, especialmente dado el constante incremento en los precios de los combustibles fósiles, especialmente el petróleo. Si las proyecciones de Aleklett et al. (2010) con respecto al “peak oil” son efectivas, el incremento en los precios será aún mayor. Si se considera además que existe un interés creciente por parte de las personas en los países desarrollados por utilizar combustibles renovables, como la madera, es posible afirmar que existen oportunidades ciertas para el desarrollo de un mercado vigoroso en torno a los combustibles derivados de la madera. En Lituania

por ejemplo, el consumo de leña y derivados se ha incrementado en un 500% en los últimos 10 años. Una tendencia similar se observa en Finlandia, Suecia, Alemania, Dinamarca, Estados Unidos, Brasil y una larga lista de países (Lindroos, 2011).

Al respecto, FAO (2007b) señala que existe un enorme potencial para expandir el uso de combustibles derivados de la madera, junto con los desechos agrícolas, desechos municipales e industriales y otros biocombustibles. En el mediano plazo parece conveniente desarrollar combustibles líquidos lignocelulósicos, los cuales podrían producirse a partir de especies herbáceas, arbustivas o arbóreas plantadas en áreas marginales y terrenos degradados para no afectar la producción de alimentos. Las proyecciones indican que los combustibles derivados de la madera y otros combustibles sólidos renovables podrían abastecer entre un tercio y un cuarto de las necesidades energéticas del mundo, al año 2050 (FAO, 2007b).

Finalmente, lo que ocurra durante los próximos años con los combustibles derivados de la madera dependerá de su competitividad con respecto a otras fuentes de energía, y de las políticas que los países adopten para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero. Lo que sí es seguro es que los próximos 20 años serán “movidos”. Un periodo especial lleno de oportunidades y riesgos. Quizás uno de los momentos más importantes en la historia de la humanidad, en el cual los bosques tendrán mucho que aportar.



Bosque nativo chileno

## References

- Ajanovic, A. Biofuels versus food production: Does biofuels production increase food prices?. *Energy* (2010), doi:10.1016/j.energy.2010.05.019 (in press)
- Aleklett, K., M. Höök, K. Jakobsson, M. Lardelli, S. Snowden y B. Söderbergh. 2010. The peak of the oil age. *Energy Policy* 38 (3): 1398–1414.
- Amigun, B., J. Kaviti Musango y W. Stafford. 2011. Biofuels and sustainability in Africa. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (2): 1360–1372.
- Brandt A. y A. Farrell. 2008. Dynamics of the Oil Transition: Modeling Capacity, Costs, and Emissions. University of California Energy Institute. *Energy Policy and Economics* 021, working paper (disponible en: [www.ucci.berkeley.edu/PDF/EPE\\_021.pdf](http://www.ucci.berkeley.edu/PDF/EPE_021.pdf)).
- CNE (Comisión Nacional de Energía Chile). 2010. Balances energéticos (disponible en: [www.cne.cl/cnewww/opencms/06\\_Estadisticas/Balances\\_Energ.html](http://www.cne.cl/cnewww/opencms/06_Estadisticas/Balances_Energ.html)).
- De Almeida, P. y P. D. Silva. 2009. The peak of oil production - Timings and market recognition. *Energy policy* 37 (4): 1267–1276.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2010. Criteria and indicators for sustainable woodfuels. *FAO Forestry Paper* 160. Rome. 103 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2009. FAOSTAT (disponible en: [www.faostat.fao.org](http://www.faostat.fao.org)).
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2007a. State of the world's forests (disponible en: [www.fao.org/docrep/009/a0773e/a0773e00.HTM](http://www.fao.org/docrep/009/a0773e/a0773e00.HTM)).
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2007b. Forests and energy in developing countries. *Forests and Energy Working Paper*. Roma Italia. 42 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2003. Wood energy information analysis in Asia (disponible en: [www.fao.org/docrep/006/ad353e/ad353e00.HTM](http://www.fao.org/docrep/006/ad353e/ad353e00.HTM)).
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2002. The salt of the earth: hazardous for food production. *World Food Summit* (disponible en: [www.fao.org/worldfoodsummit/english/newsroom/focus/focus1.htm](http://www.fao.org/worldfoodsummit/english/newsroom/focus/focus1.htm)).
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1994. Seminario regional sobre los sistemas dendroenergéticos optimizados para el desarrollo rural y la protección ambiental. Depósito de documentos de la FAO (disponible en: [www.fao.org/docrep/006/ad097s/AD097S03.htm](http://www.fao.org/docrep/006/ad097s/AD097S03.htm)).
- Gallagher, B. 2011. Peak oil analyzed with a logistic function and idealized Hubbert curve. *Energy Policy* 39 (2): 790–802.
- Gómez-Lobo, A., J.L. Lima, C. Hill y M. Meneses. 2006. Diagnóstico del mercado de la leña en Chile. Informe Final. Departamento de Economía, Universidad de Chile. 157p.
- Hill, J., S. Polaskya, E. Nelson, D. Tilman, H. Huo, L. Ludwig, J. Neumann, H. Zheng y D. Bonta. 2009. Climate change and health costs of air emissions from biofuels and gasoline. *PNAS* 106(6): 2077-2082.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2010. Censo 2010 (disponible en: [www.censo2010.ibge.gov.br/resultados\\_do\\_censo2010.php](http://www.censo2010.ibge.gov.br/resultados_do_censo2010.php)).
- IEA (International Energy Agency). 2010a. Key World Energy Statistics (disponible en: [www.iea.org/textbase/nppdf/free/2010/key\\_stats\\_2010.pdf](http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2010/key_stats_2010.pdf)).
- IEA (International Energy Agency). 2010b. Statistics and balances (disponible en: [www.iea.org/stats/index.asp](http://www.iea.org/stats/index.asp)).
- IEA (International Energy Agency). 2008. World energy outlook 2008 (disponible en: [www.worldenergyoutlook.org/2008.asp](http://www.worldenergyoutlook.org/2008.asp)).
- IEA (International Energy Agency). 2007. Biomass for power generation and CHP (disponible en: [www.iea.org/Textbase/tecnoc/essentials.htm](http://www.iea.org/Textbase/tecnoc/essentials.htm)).
- IEA (International Energy Agency). 2006. World energy outlook 2006 (disponible en: [www.worldenergyoutlook.org/2006.asp](http://www.worldenergyoutlook.org/2006.asp)).
- IMF (International Monetary Fund). 2010. Data and statistics (disponible en: [www.imf.org/external/data.htm](http://www.imf.org/external/data.htm)).
- INFOR (Instituto Forestal Chile). 1994. Evaluación del consumo de leña en Chile 1992. Informe técnico N° 130. 50 p.
- INE (Instituto Nacional de Estadística Chile). 2010. Censo 2002, síntesis de resultados (disponible en: [www.ine.cl/cd2002/sintesisencensal.pdf](http://www.ine.cl/cd2002/sintesisencensal.pdf)).
- Kärhå, K. Industrial supply chains and production machinery of forest chips in Finland. *Biomass and Bioenergy* (2010), doi:10.1016/j.biombioe.2010.11.016 (in press)
- Koopmans, A. 2005. Biomass energy demand and supply for South and South-East Asia- assessing the resource base. *Biomass and Bioenergy* 28 (2): 133-150.
- Lara, A., R. Reyes y R. Urrutia. 2010. Capítulo 3: Bosques nativos. In: Informe País Estado del Medio Ambiente en Chile 2008. Instituto de Asuntos Públicos, Centro de Análisis de Políticas Públicas, Universidad de Chile. 126-171 pp, Santiago, Chile.
- Lindroos, O. 2011. Residential use of firewood in Northern Sweden and its influence on forest biomass resources. *Biomass and bioenergy* 35 (1): 385-390.
- Mahendra, L. y S. Mool. 2010. Conventional and Renewable Energy Scenario of India: Present and Future. *Canadian Journal on Electrical and Electronics Engineering* 1(6): 122-140.
- Myllyntaus T. y T. Mattila. 2002. Decline or increase? The standing timber stock in Finland, 1800–1997. *Ecological Economics* 41 (2): 271–288
- Miller, R.G. Future oil supply: The changing stance of the International Energy Agency. *Energy Policy* (2010), doi:10.1016/j.enpol.2010.12.032 (in press)
- Ministerio de Minas y Energía de Brasil. 2009. Energía renovable Brasil (disponible en: [www.mme.gov.br/mme/menu/todas\\_publicacoes.html](http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas_publicacoes.html)).
- NBS (National Bureau of Statistics of China). 2010. China Statistical Yearbook 2009 (disponible en: [www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2009/indexeh.htm](http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2009/indexeh.htm)).
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). 2008. OECD Rural Policy Reviews: Finland (disponible en: [www.oecd.org/document/46/0,3343,en\\_2649\\_33735\\_404623](http://www.oecd.org/document/46/0,3343,en_2649_33735_404623)



- 82\_1\_1\_1\_1,00.html#chapter\_1).
- Pachauri, Sh. y L. Jiang. 2008. The household energy transition in India and China. *Energy Policy* 36 (11): 4022–4035.
- Rathmann, R., A. Szklo y R. Schaeffer. 2010. Land use competition for production of food and liquid biofuels: an analysis of the arguments in the current debate. *Renewable Energy* 35 (1): 14-22.
- Ravindranath, N.H., H.I. Somashekar, M.S. Nagaraja, P. Sudha, G. Sangeetha, S.C. Bhattacharya y P. Abdul Salam. 2005. Assessment of sustainable non-plantation biomass resources potential for energy in India. *Biomass and Bioenergy* 29 (3): 178-190.
- Ravindranath N.H. y D.O. Hall. 1995. *Biomass, Energy, and Environment: A developing country perspective from India*. Oxford University Press, UK.
- Reyes, R. y A. Venegas. 2009. Lineamientos para una política dendroenergética. Estado del arte, objetivos y propuestas. V Cumbre de la Leña. Castro-Chiloé. Abril, 2009. 35 p.
- SMA (Swedish Ministry of Agriculture). 2008. *Rural Development Programme for Sweden – the period 2007-2013* (disponible en: [www.regeringen.se/content/1/c6/08/27/31/dell11eed.pdf](http://www.regeringen.se/content/1/c6/08/27/31/dell11eed.pdf)).
- Sims, R.E.H., R.N. Schock, A. Adegbulugbe, J. Fenhann, I. Konstantinaviciute, W. Moomaw, H.B. Nimir, B. Schlamadinger, J. Torres-Martínez, C. Turner, Y. Uchiyama, S.J.V Vuori, N. Wamukonya y X. Zhang. 2007. Energy supply. In: B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave y L.A. Meyer, eds. *Climate change 2007: mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp. 251-322. Cambridge, UK and New York, NY, USA, Cambridge University Press.
- Sorrell, S., J. Speirs, R. Bentley, A. Brandt y R. Miller. 2010. Global oil depletion: Are view of the evidence. *Energy policy* 38 (9): 5290–5295.
- Statistics Finland. 2010. *Energy Consumption* (disponible en: [www.stat.fi/til/ekul/2009/ekul\\_2009\\_2010-12-10\\_tie\\_001\\_en.html](http://www.stat.fi/til/ekul/2009/ekul_2009_2010-12-10_tie_001_en.html)).
- Swedish Energy Agency. 2010. *Energy in Sweden 2010* (disponible en: [www.energimyndigheten.se/en/](http://www.energimyndigheten.se/en/)).
- Timilsina G.R. y A. Shrestha. How much hope should we have for biofuels?. *Energy* (2010), doi:10.1016/j.energy.2010.08.023 (in press)
- Tirado, M.C., M.J. Cohen, N. Aberman, J. Meerman y B. Thompson. 2010. Addressing the challenges of climate change and biofuel production for food and nutrition security *Food Research International* 43 (7): 1729–1744.
- WEC (World Energy Council). 2010. *Survey of energy resources* (disponible en: [www.worldenergy.org/publications/](http://www.worldenergy.org/publications/)).
- Yang, J., J. Huang, H. Qiu, S. Rozelle y M.A. Sombilla. 2009. Biofuels and the Greater Mekong Subregion: Assessing the impact on prices, production and trade. *Applied Energy* 86 (4): 537–546
- Yanli, Y., Z. Peidong, Z. Wenlong, T. Yongsheng, Z. Yonghong y W. Lisheng. 2010. Quantitative appraisal and potential analysis for primary biomass resources for energy utilization in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14 (9): 3050–3058.



## Capítulo 2:

# Consumo de combustibles derivados de la madera en Chile

René Reyes G.  
Ingeniero Forestal (M.Sc.)\*

### Introducción

En Chile, el consumo de combustibles derivados de la madera es muy importante. El año 2010 representaron un 19% de la matriz de energía primaria, porcentaje que podría aumentar significativamente dadas las imprecisiones observadas en la estimación del consumo industrial, y de algunos tipos de combustibles derivados de la madera como los desechos forestales e industriales, y el carbón vegetal.

Los combustibles derivados de la madera se utilizan en Chile para calefacción, cocina producción de vapor y electricidad. El sector industrial es el principal consumidor, con un 46% del total, seguido por el sector residencial rural (33%), el sector residencial urbano (19%) y los sectores comercial y público (3%) (Gómez-Lobo et al. 2006).

El alto consumo de combustibles derivados de la madera se debe principalmente a las bajas temperaturas invernales en el centro y sur del país, a la abundancia de biomasa forestal y a otras causas que están mencionadas en el documento. En la zona central el consumo medio por hogar es 1 m<sup>3</sup>/año (en los hogares que consumen), alcanzando más de 18 m<sup>3</sup>/año en la zona austral. Hasta la década de los '90 el consumo de combustibles derivados de la madera estaba más concentrado en el sector residencial. En 1992, INFOR (1994) estimó que casi un 60% del consumo correspondía a dicho sector. Sin embargo, durante la última década se ha incrementado el consumo del sector industrial (Gomez-Lobo et al., 2006). También se ha observado un aumento importante en el uso de combustibles derivados de la madera para producir electricidad.

Al respecto, CNE (2011a) estima que un 1,4% de la capacidad de generación eléctrica instalada a nivel nacional funciona en base a biomasa forestal, produciendo casi 190 megawatts anualmente. Dicha producción es realizada por las dos grandes empresas del sector forestal chileno (Arauco y CMPC) y Energía Verde S.A, empresa asociada al grupo Gener (ex Chilectra), actualmente en manos de AES Corporation (USA). Las primeras aprovechan los desechos producidos en sus industrias, especialmente en plantas de celulosa, y la segunda compra desechos a terceros (Pontt 2008).

A pesar de la gran importancia que tienen los combustibles derivados de la madera en la matriz energética chilena, existe poca información al respecto. En general, los estudios disponibles

corresponden a caracterizaciones del consumo residencial urbano en ciudades específicas o regiones, las cuales no permiten sacar conclusiones a nivel nacional. El Instituto Forestal en 1994 y la Universidad de Chile en 2006 realizaron estudios más extensos, sin embargo, éstos tienen deficiencias considerables, especialmente a nivel del consumo residencial rural e industrial. De esta forma, las estadísticas que genera la Comisión Nacional de Energía están basadas en modelos que pueden tener un margen de error significativo.

Gran parte del mercado de los combustibles derivados de la madera es informal, pues no cumple con la legislación forestal, tributaria, laboral, etc. (cosecha, transporte y venta al margen de la ley). Los consumidores, en tanto, siguen utilizando leña y desechos forestales con un alto contenido de humedad, en equipos de combustión poco eficientes. Todo esto ha producido altos niveles de contaminación atmosférica, convirtiendo a Chile en el país con mayores índices de material particulado PM10 dentro de la OCDE.

Una de las causas por las cuales se utilizan combustibles derivados de la madera en Chile es su bajo costo en comparación a los combustibles fósiles y la electricidad. Considerando que los precios de los combustibles fósiles van en aumento, arrastrando también a la electricidad, no se prevé el reemplazo de la biomasa forestal como fuente de energía, sino más bien lo contrario. Por esta razón, este documento tiene por objetivo aportar a las discusiones sobre el consumo de combustibles derivados de la madera en Chile, analizando la última información disponible y proyectando ciertas tendencias.

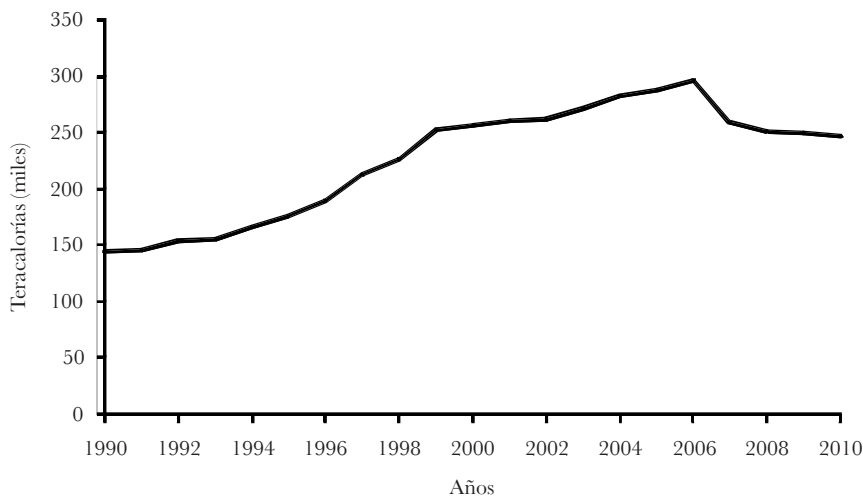
## 1. Consumo de energía en Chile

### 1.1. Consumo de energía primaria

Entre 1990 y 2010 Chile casi duplicó su consumo de energía pasando de 145.000 a 247.000 teracalorías anuales, con un crecimiento medio de un 3,3% anual (Figura 1). Sin embargo, el crecimiento entre 1990 y 2006, periodo en el cual el consumo aumentó permanentemente, fue de un 4,7% anual (MINERGIA 2012). A partir del 2006 hubo una reducción importante en el consumo de energía primaria debido al desplome en el abastecimiento de gas natural desde Argentina, lo cual produjo paralización de industrias y una serie de otros trastornos, dejando en evidencia la gran vulnerabilidad de la matriz energética chilena.

\* Estudiante de doctorado, University of British Columbia (Canadá)  
Nota: Todas las cifras están expresadas en metros cúbicos sólidos.

Figura 1. Consumo de energía primaria en Chile

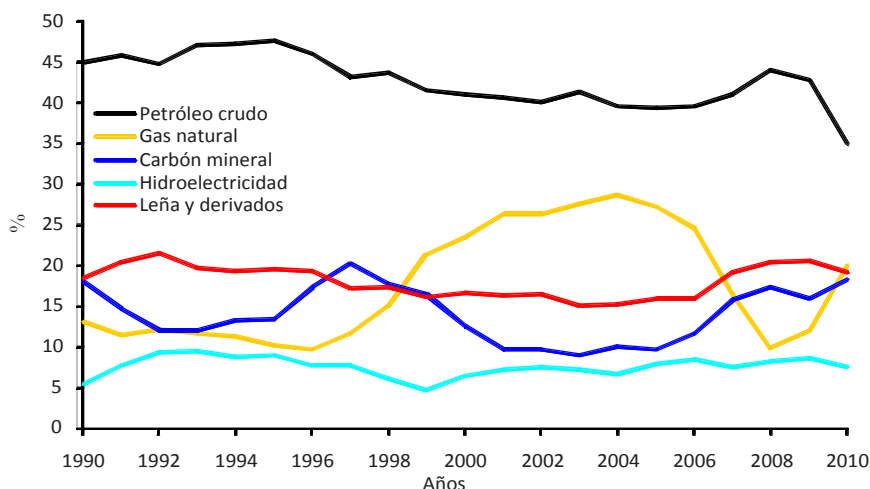


Fuente: elaboración propia en base a MINERGIA 2012.

El 2010, el petróleo crudo fue el principal componente de la matriz de energía primaria con un 35% del total. Le siguen en orden de importancia el gas natural con un 20%, los combustibles derivados de la madera<sup>1</sup> con un 19%, el carbón mineral (18%) y la hidroelectricidad (8%) (MINERGIA 2012). La energía eólica y otras renovables representan menos del 0.2% de la matriz. Entre 1990 y 2010 la matriz de energía primaria ha tenido dos

componentes fundamentales: a) fuentes fósiles importadas (petróleo crudo, gas natural y carbón mineral) y b) fuentes renovables producidas localmente (combustibles derivados de la madera e hidroelectricidad). En dicho periodo, las fuentes fósiles han representado entre un 69% y 79% de la matriz, dependiendo de la producción hidroeléctrica.

Figura 2. Evolución de la matriz de energía primaria entre 1990 y 2010 (en %)



Fuente: elaboración propia en base a MINERGIA 2012.

<sup>1</sup> Leña y desechos industriales. No se considera adecuadamente el consumo de desechos forestales, carbón vegetal, briquetas y pellets.

Durante los últimos 20 años no ha habido cambios significativos en la composición de la matriz de energía primaria. La mayor demanda se ha cubierto aumentando la importación de combustibles fósiles, construyendo nuevas centrales hidroeléctricas y cortando más árboles para producir leña.

El petróleo crudo, los combustibles derivados de la madera y la hidroelectricidad han experimentado tasas de crecimiento más regulares que el gas natural y el carbón mineral, que han aumentado o disminuido dependiendo de su disponibilidad y precio. La importación de petróleo crudo ha disminuido desde el 2006 debido al alza en el precio internacional de este commodity, disminución que se ha hecho más evidente a partir del 2009 (Figura 3). Esto se ha compensado con gas natural y carbón mineral. Sin embargo, el proceso no ha sido fácil. El gas natural argentino fue la gran apuesta del Gobierno Chileno durante los '90. Entre 1990 y 1996 el consumo de gas natural giraba en torno a las 18 mil teracalorías anuales. Sin embargo, tras la firma del acuerdo gasífero entre los gobiernos de Chile y

Argentina en 1995, el consumo de gas natural aumentó fuertemente hasta llegar a 81 mil teracalorías en 2004. Este incremento permitió reducir el consumo de carbón mineral que en 1997 alcanzaba las 43 mil teracalorías, lo cual permitió “limpiar” la producción eléctrica chilena y reducir la contaminación atmosférica en ciudades como Santiago (MINERGI A 2012).

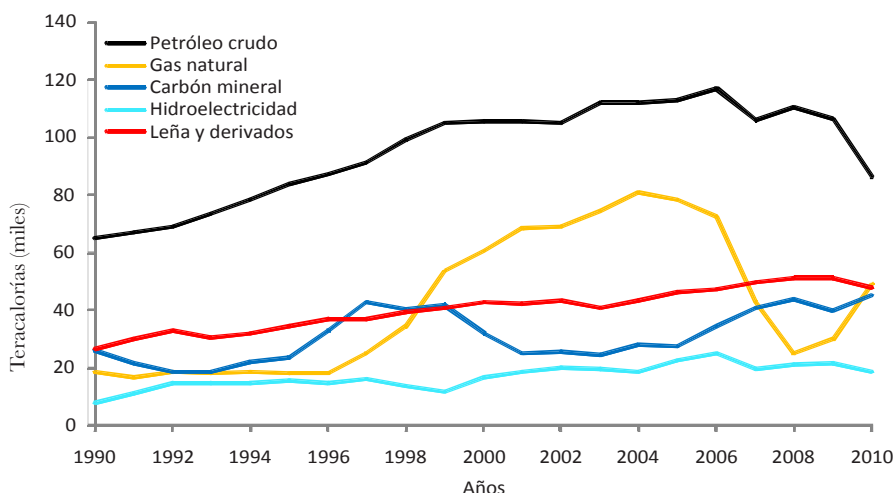
Sin embargo, el año 2006 los envíos de gas natural argentino comenzaron a reducirse. Esta reducción fue compensada con un aumento en el consumo de carbón mineral (MINERGI A 2012). La construcción de la planta de regasificación en el Puerto de Quinteros permitió aumentar la disponibilidad de gas natural, alcanzado el 2010 las 49 mil teracalorías, pero a un costo muy superior al gas Argentino. Las importaciones de carbón están en torno a las 45 mil teracalorías, pero se espera que aumenten debido a una serie de proyectos termoeléctricos que están en construcción o evaluación. Por disponibilidad y precio el carbón se ha convertido en la “nueva gran apuesta” del Gobierno Chileno.

Cuadro 1. Variación de la matriz energética primaria entre 1990 y 2010

Fuente de energía	Consumo energía 1990 (teracalorías)	%	Consumo energía 2010 (teracalorías)	%	Incremento (%)
Petróleo crudo	64,767	45	86,056	35	33
Gas natural	18,770	13	49,353	20	163
Carbón mineral	26,046	18	45,280	18	74
Hidroelectricidad	7,713	5	18,710	8	142
Leña y derivados	26,603	18	47,494	19	78
Otros	176	0	366	0	108
Total	144.075	100	247.259	100	72

Fuente: elaboración propia en base a MINERGI A 2012.

Figura 3. Evolución de la matriz de energía primaria entre 1990 y 2010 (en teracalorías)



Fuente: elaboración propia en base a MINERGI A 2012.



**Productor tras una faena de raleo para producción de leña.**

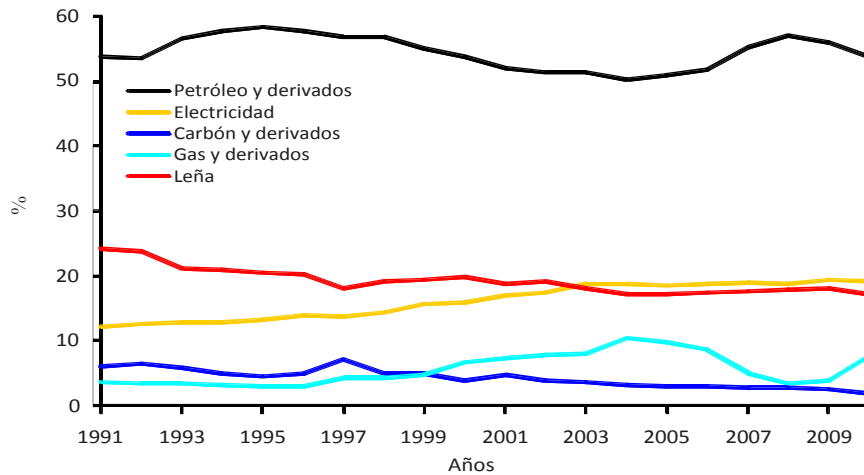
**1.2. Consumo de energía secundaria**

En 2010, el 94% del carbón mineral se utilizó para producir electricidad en plantas termoeléctricas, al igual que el 63% del gas natural, el 11% del petróleo y derivados, y el 10% de los combustibles derivados de la madera (básicamente desechos de la industria forestal). Esto, sumado a la hidroelectricidad, equivalen a casi 114 mil teracalorías que se invierten en el proceso (casi la mitad de la energía primaria), las cuales se convierten en 49 mil

teracalorías de electricidad aprovechable (el resto de la energía se pierde en el proceso de transformación).

Es decir, el carbón mineral en Chile está asociado estrechamente a la producción eléctrica. Después de eso desaparece de la matriz de energía secundaria, con menos de un 3%. Algo similar ocurre con el gas natural. La Figura 4 muestra los principales componentes de la matriz de energía secundaria, en la cual destacan tres fuentes de energía: petróleo y derivados, electricidad y leña y derivados.

**Figura 4. Evolución de la matriz de energía secundaria entre 1991 y 2010 (en %)**

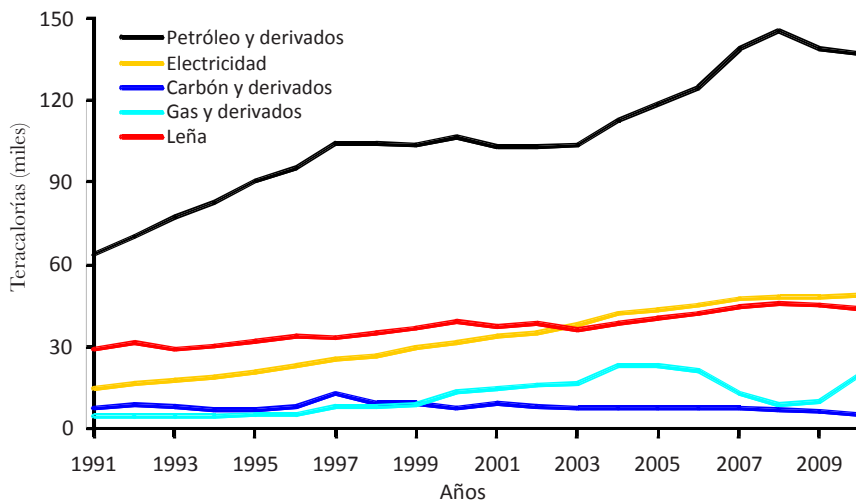


Fuente: elaboración propia en base a MINERGIA 2012.

La electricidad ha sido la fuente de energía secundaria que ha experimentado el mayor crecimiento durante los últimos 20 años, llegando a más que triplicarse en el periodo 1997-2010. En

cambio, el consumo de petróleo y derivados se duplicó y el de leña y derivados se multiplicó por 1,5 (Figura 5).

**Figura 5. Evolución de la matriz de energía secundaria entre 1991 y 2010 (en teracalorías)**

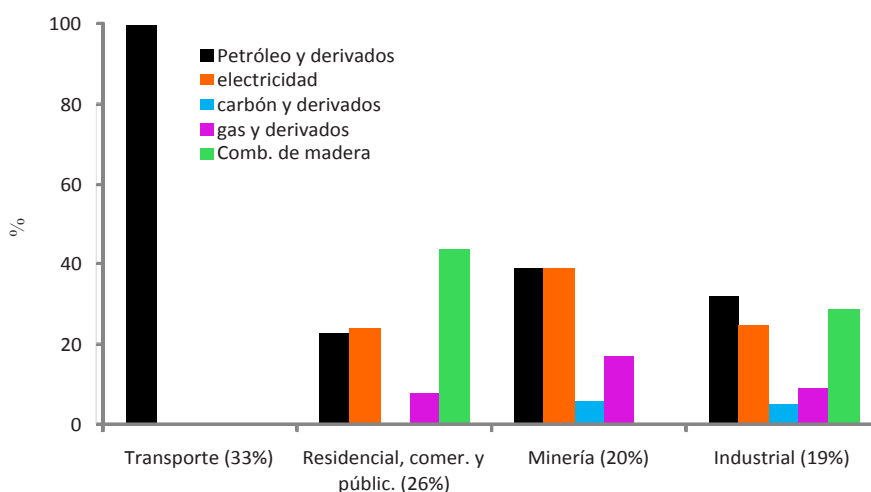


Fuente: elaboración propia en base a MINERGIA 2012.

El sector industrial y minero es el principal consumidor de energía secundaria con el 38% del total. La industria utiliza petróleo y derivados (32%), leña y derivados (29%), electricidad (25%), y en menor medida gas natural (9%) y carbón (5%). En tanto, la minería emplea electricidad (39%), petróleo y derivados (39%), y en menor medida gas natural (17%) y carbón (6%). El 75% de la leña y derivados utilizados en la industria se emplean en la producción de papel y celulosa, y el 25% restante en otro tipo de industrias (MINERGIA 2012).

El sector residencial, comercial y público consume el 26% de la energía secundaria. El 44% corresponde a leña y derivados, el 24% a electricidad, el 23% a petróleo y derivados (principalmente gas licuado) y el 8% a gas natural. En tanto, el sector transporte consume el 33% de la energía secundaria, la cual obtiene casi en un 100% de petróleo y derivados. Es importante considerar que el consumo del sector transporte es una consecuencia de la actividad en los otros sectores (Figura 6)

Figura 6. Consumo sectorial de energía secundaria año 2010

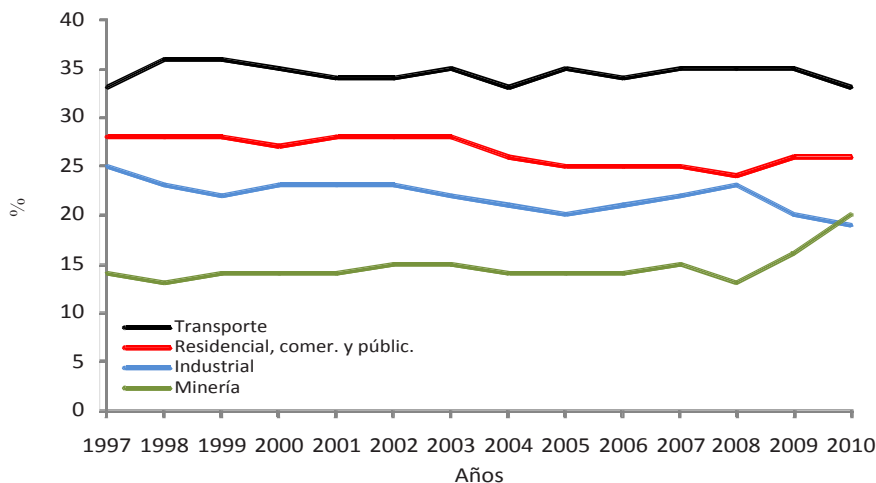


Fuente: elaboración propia en base a MINERGIA 2012.

Entre 1997 y 2010 la importancia relativa del sector minero en el consumo de energía secundaria aumentó fuertemente, superando el 2010 al sector industrial (Figura 7). Sin considerar al sector transporte (principal consumidor de petróleo y derivados),

la minería es el principal consumidor de 4 de las 5 fuentes de energía que componen la matriz de energía secundaria, con el 14% del petróleo y derivados, el 39% de la electricidad, el 47% de gas y derivados y el 55% de carbón y derivados.

Figura 7. Importancia relativa del consumo de energía secundaria por sector



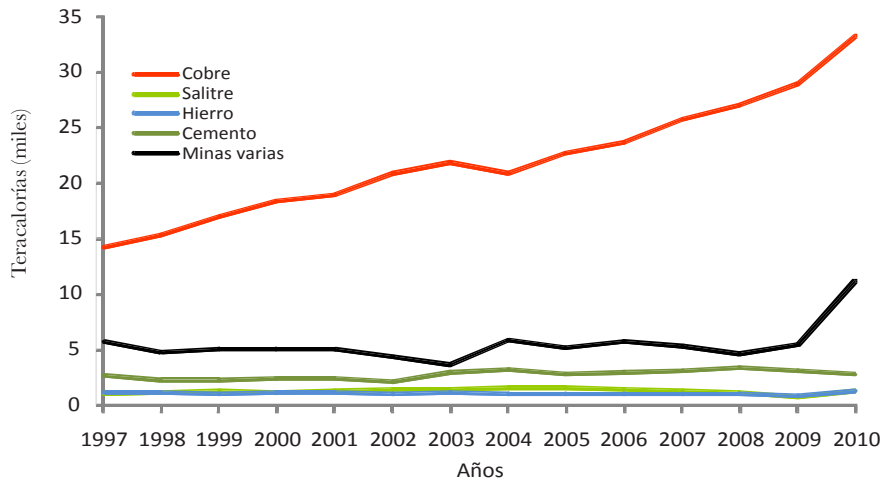
Fuente: elaboración propia en base a MINERGIA 2012.



El aumento en la importancia relativa del sector minero se debe a que la minería del cobre ha más que duplicado su consumo de energía secundaria en los últimos 15 años, llegando a casi 35.000 teracalorías el 2010. También se observa un salto brusco en el

consumo del subsector “minas varias”. El consumo de las demás actividades mineras se ha mantenido estable durante el periodo (Figura 8).

**Figura 8. Consumo de energía secundaria en el sector minero**

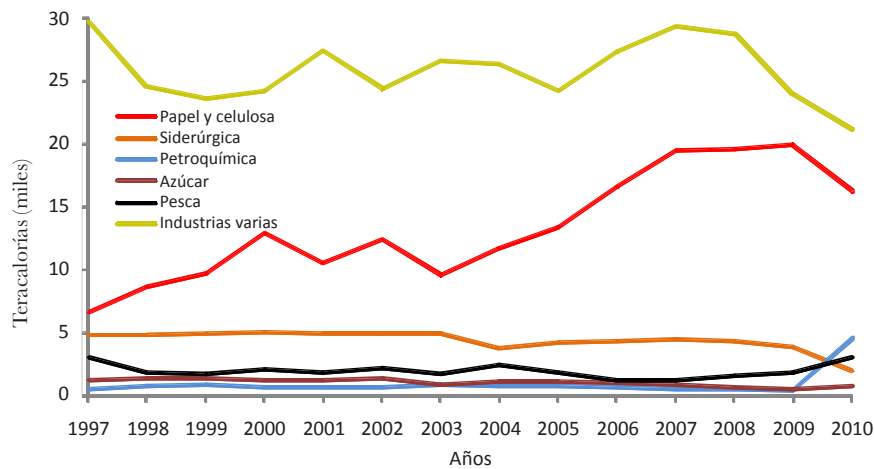


Fuente: elaboración propia en base a MINERGIA 2012.

Por el contrario, el consumo de energía del sector industrial se ha mantenido relativamente estable, a pesar de la caída registrada después del terremoto del 2008. El subsector “papel y celulosa”

es una excepción a esta tendencia, ya que ha más que triplicado su consumo de energía secundaria desde 1997, llegando en torno a las 20.000 teracalorías anuales (Figura 9).

**Figura 9. Consumo de energía secundaria en el sector industrial**



Fuente: elaboración propia en base a MINERGIA 2012.

Históricamente, la actividad industrial ha estado por sobre la minera en cuanto al consumo de energía secundaria, lo cual cambió el 2010. Si bien, se podría esgrimir que esto es consecuencia del terremoto, las tendencias que se observan en las figuras 8 y

9 reflejan más bien un cambio estructural. Dado que el consumo de energía tiene una alta correlación con la actividad económica, se puede concluir que la economía chilena se ha ido concentrando en torno a la producción de cobre, y actividades industriales muy

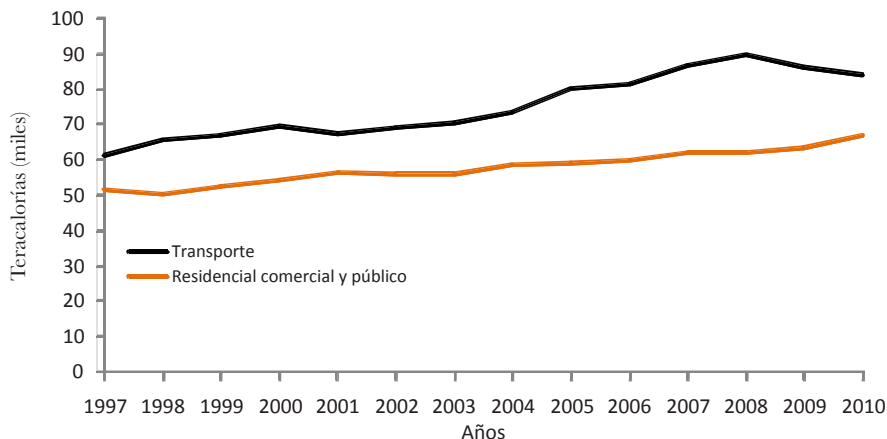


**Productor trasladando leña desde el bosque hasta lugar de acopio, dentro o en la periferia del predio, para su comercialización.**

específicas como la producción de papel y celulosa. Por otra parte, el consumo de energía secundaria del sector residencial, comercial y público apenas aumentó en el periodo,

pasando de 52.000 a 67.000 teracalorías/año, mientras el sector transporte aumentó de 61.000 a 84.000 teracalorías/año (Figura 10).

**Figura 10. Consumo de energía secundaria en los sectores residencial, comercial y público y transporte**



Fuente: elaboración propia en base a MINERGIA 2012.

## 2. Antecedentes relevantes para proyectar el abastecimiento de energía

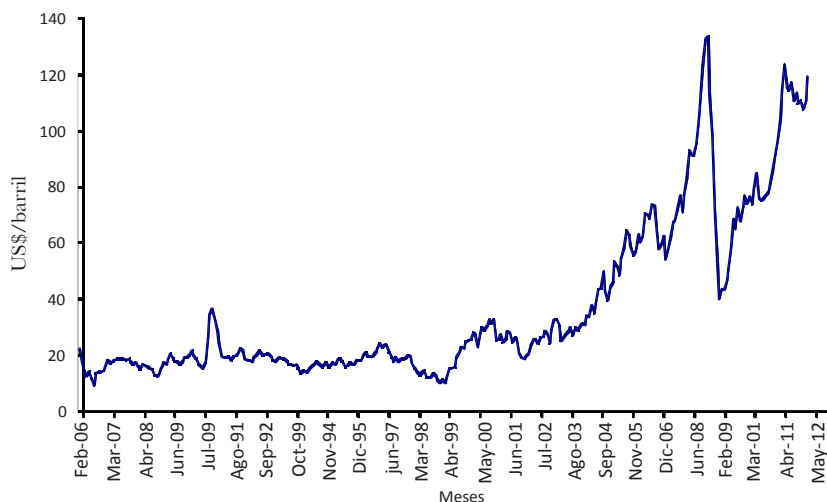
### 2.1. Petróleo

Durante los últimos años el precio del petróleo se ha incrementado ostensiblemente debido a varias razones. Sin embargo, las más importantes son el aumento en la demanda, la creciente escasez y la inestabilidad política en las regiones productoras. Al respecto, la Agencia Internacional de Energía<sup>2</sup> (IEA 2008) ha declarado que la era del petróleo barato<sup>3</sup> llegó a su fin, señalando que a partir del 2006 comenzó un descenso gradual en la producción

de petróleo convencional a nivel mundial, la cual se suplirá a partir de reservas no convencionales.

Ésta es la situación actual, sobre todo tras el explosivo crecimiento de países como China e India que albergan más de un tercio de la población mundial. Por lo tanto, se espera que el precio se mantenga alto, superando incluso los niveles registrados durante el año 2008 (casi US\$140 por barril). Los cambios observados en la matriz de energía primaria de Chile son coherentes con esta situación. Es por esto que el petróleo crudo ha perdido fuerza en la matriz siendo reemplazado crecientemente por gas natural y carbón mineral.

**Figura 11. Precio internacional del petróleo Brent<sup>4</sup> (1986-2012)**



Fuente: elaboración propia en base a CNE 2011.

<sup>2</sup> IEA es una organización compuesta por 28 países industrializados con el fin de compartir información, coordinar políticas, responder a emergencias, promover alternativas energéticas, etc. Es el organismo internacional más importante en materia energética a nivel mundial.

<sup>3</sup> El concepto de "Petróleo barato" se refiere a aquel petróleo que es producido desde pozos convencionales, utilizando las mismas técnicas y equipos que se han venido utilizando por décadas, con niveles de inversión y costos conocidos por la industria.

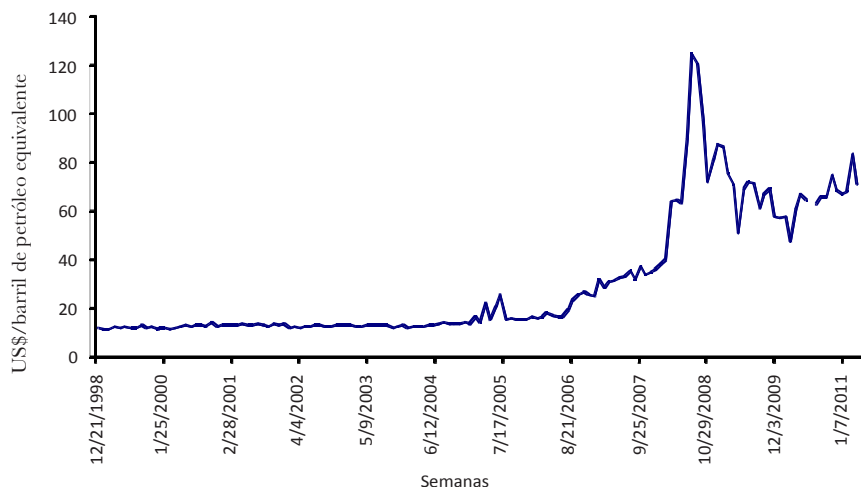
<sup>4</sup> Precio de referencia en Chile.

2.2. Gas natural

El gas natural argentino fue la gran apuesta chilena durante la segunda mitad de los '90, llegando a representar el 30% de nuestra matriz de energía primaria el año 2004 (MINERGI 2012). En aquellos años gran parte de las inversiones fueron proyectadas en base a esta fuente de energía, cuyo precio fluctuaba

en torno a los US\$20 por barril de petróleo equivalente<sup>5</sup> (periodo 1999-2006). Sin embargo, Argentina comenzó a mermar los envíos debido a problemas de abastecimiento interno, lo cual hizo subir los precios por sobre los US\$100 por barril de petróleo equivalente durante el año 2008. Posteriormente, y hasta que se terminaron los envíos, los precios fluctuaron entre US\$60 y US\$80 por barril de petróleo equivalente (CNE 2011).

Figura 12. Precio de las importaciones de gas natural argentino (1999-2011)

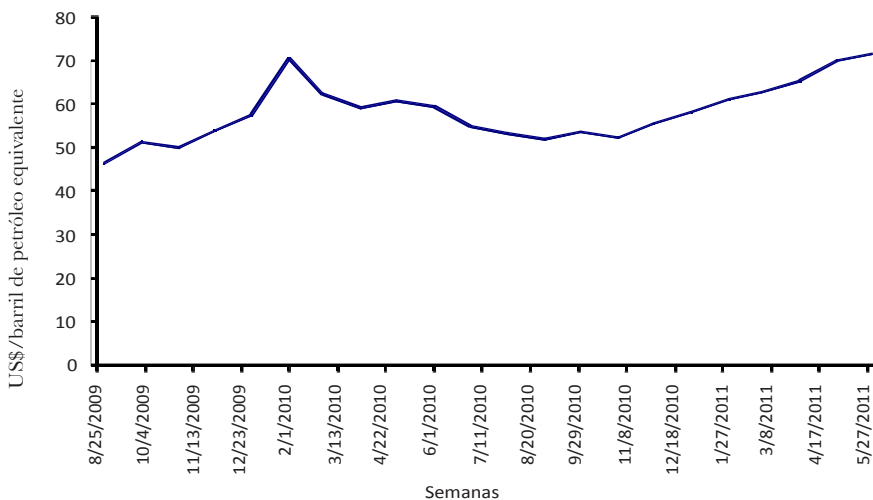


Fuente: elaboración propia en base a CNE 2011.

Tras el desastre del gas natural argentino, el gobierno junto con el sector privado iniciaron la construcción de una planta de regasificación en el Puerto de Quinteros (V Región) para importar gas natural licuado desde distintas partes del mundo. Hoy, el gas natural que se utiliza en Chile proviene de países como Trinidad y Tobago, Egipto, Argelia, Guinea Ecuatorial, etc., bajo un

esquema mucho más diversificado, pero también mucho más caro (en el periodo 2009-2011 el precio fluctuó entre US\$50 y US\$70 por barril de petróleo equivalente<sup>6</sup>) (Figura 13). El precio internacional del gas natural ha seguido una tendencia similar al precio del petróleo, debido a que ambos combustibles se encuentran estrechamente relacionados.

Figura 13. Precio de las importaciones de gas natural licuado (2009-2011)



Fuente: elaboración propia en base a CNE 2011.

<sup>5</sup> Un millón de metros cúbicos de gas natural (medida utilizada para las importaciones de gas natural argentino) equivale a 6.29 barriles de petróleo equivalente.  
<sup>6</sup> Una tonelada de gas natural licuado (medida utilizada para las importaciones de gas natural desde el resto del mundo) equivale a 8.68 barriles de petróleo equivalente.

### 2.3. Carbón

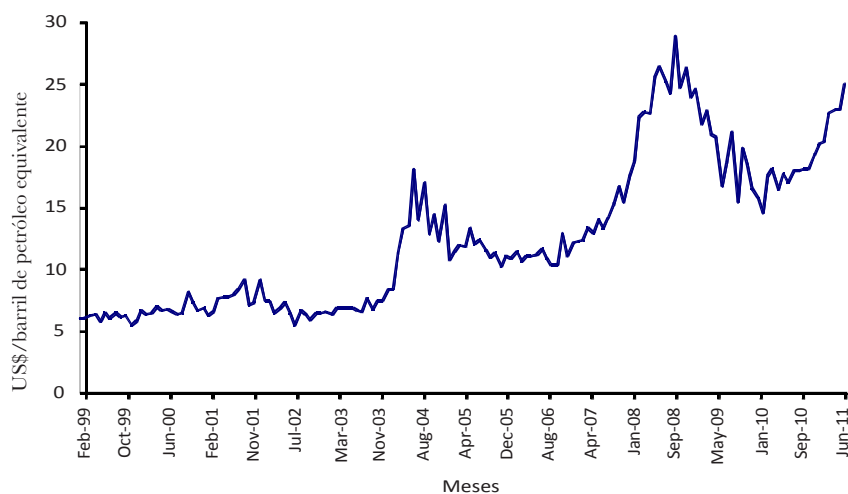
A fines de la década de los '90, el carbón mineral utilizado en Chile fue dando paso al gas natural dadas sus ventajas económicas y ambientales. Sin embargo, tras la “caída” del gas argentino el carbón mineral ha vuelto a recuperar importancia, proyectándose la construcción de decenas de plantas termoeléctricas en base a esta fuente de energía. Al respecto, la Comisión Nacional de Energía (CNE) proyecta que el consumo de carbón mineral en Chile podría duplicarse de aquí al 2015 (CNE, 2009b).

Durante los últimos 10 años, la demanda global de carbón mineral ha experimentado un crecimiento mayor que el de otras fuentes de energía (IEA 2008), lo cual está aumentando su precio (Figura 14). Muchos países en el mundo consideran que el carbón mineral podría ir reemplazando al petróleo en la medida que éste escasee y se haga más caro. De hecho, países como India y China han basado su matriz energética en esta fuente de energía. En 2008, China inauguró la primera planta industrial para

producir combustibles líquidos en base a carbón mineral, y en 2010 inauguró una segunda planta con una capacidad de producción anual de 3 millones de toneladas, lo cual equivale a un tercio del consumo de petróleo en Chile (Liu et al. 2010). En total, existen planes para construir otras 6 plantas más de aquí al 2016, con una capacidad de producción de 28 millones de toneladas anuales. Proyectos para transformar carbón mineral en combustibles líquidos se observan también en Sudáfrica, Estados Unidos y otros países (Mantripragada y Rubin *in press*). Este aumento en la demanda, junto con un incremento en los costos de producción, ha elevado el precio internacional del carbón mineral siguiendo una tendencia muy similar a la del petróleo y el gas natural (IEA, 2008).

Entre 1999 y 2003 el precio del carbón mineral importado por Chile fluctuaba entre US\$5 y US\$10 por barril de petróleo equivalente<sup>7</sup>. Sin embargo, a partir del año 2004 el precio se ha más que quintuplicado. ¿Es inteligente en el largo plazo apostar por el carbón mineral?

Figura 14. Precio de las importaciones de carbón térmico (1999-2011)



Fuente: elaboración propia en base a CNE 2011.

### 2.4. Hidroelectricidad

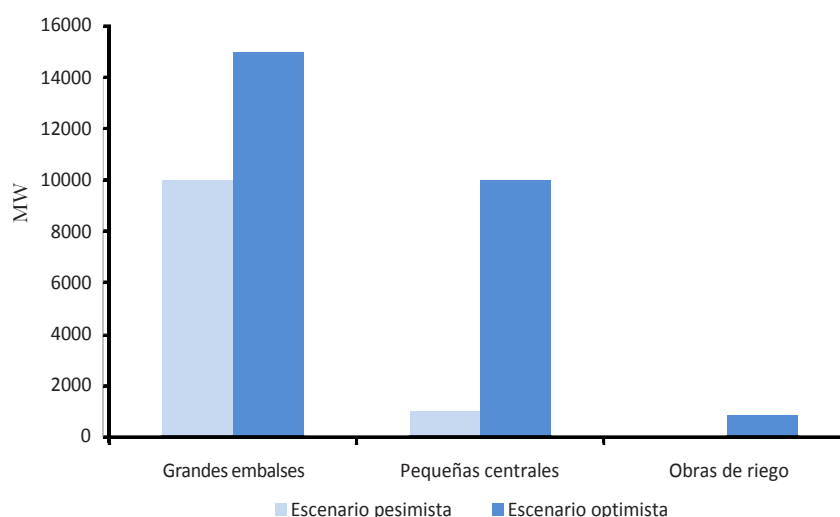
La hidroelectricidad es una alternativa energética con gran proyección en Chile. La potencia instalada actualmente asciende a 5 mil MW, con un potencial de crecimiento estimado que fluctúa entre 12 y 26 mil MW (MINERGIA 2012). El mayor aporte provendría de centrales de paso o embalses de gran envergadura, que aportarían entre 10 y 15 mil MW, los cuales se encuentran en la zona sur del país. Entre 1 – 10 mil MW serían generables a partir de pequeñas centrales y 860 MW a partir de obras de riego existentes o en proyecto (Benavente 1985; CNE y CNR 2007; Bravo 2006; Maturana 2008). Uno de los aspectos más complejos de la hidroelectricidad es que depende estrechamente de las precipitaciones, las cuales han ido disminuyendo durante el último siglo en el centro y sur de Chile,

registrándose a la vez cambios importantes en la frecuencia e intensidad de los eventos “niña” (sequías). Es decir, ahora llueve menos, hay más episodios “niña” y además existe una mayor probabilidad de que sean más intensos que en el pasado (Little et al. 2009).

Por este motivo, en un escenario de cambio climático como el que observamos en la actualidad, la hidroelectricidad tiene un fuerte componente de incertidumbre. Dicha incertidumbre disminuye hacia el sur, donde el volumen y periodicidad de las precipitaciones aseguran un suministro más estable de agua. Sin embargo, las grandes centrales hidroeléctricas están generando una fuerte controversia, especialmente en torno a temas sociales y ambientales, lo cual hace aún más complejo el panorama en relación con esta fuente de energía (CDP 2011).

<sup>7</sup> Una tonelada de carbón térmico equivale a 4.79 barriles de petróleo equivalente (valor aproximado que considera una mezcla de carbón bituminoso y sub-bituminoso).

Figura 15. Potencial hidroeléctrico chileno



Fuente: elaboración propia en base a Benavente (1985), CNE y CNR (2007), Bravo (2006) y Maturana (2008).

## 2.5. Combustibles derivados de la madera

Cada año se cosechan en Chile alrededor de 55 mil hectáreas de plantaciones forestales, y se intervienen con distintos tipos de cortas intermedias otras 30 mil hectáreas adicionales, para producir un total de 36 millones de metros cúbicos de madera que abastecen a la industria forestal. A partir del bosque nativo, en tanto, se extraen más de 600 mil metros cúbicos anuales para abastecer pequeños y medianos aserraderos, y plantas de tableros, y al menos 9 millones de metros cúbicos para leña (INFOR 2010, Gómez-Lobo et al. 2006). La superficie de bosque nativo intervenida con estos fines no está claramente determinada, debido a los altos niveles de informalidad que existen en este subsector.

Este enorme patrimonio forestal alberga un potencial importante de producción de energía, más allá de la madera que actualmente se emplea con este fin. Bertrán y Morales (2008) señalan que sólo a partir de los desechos del manejo de plantaciones se podrían generar entre 310 y 470 megawatts (MW). Pontt (2008) evaluó el potencial de generación eléctrica existente a partir de la utilización de desechos de manejo de plantaciones, residuos de la industria forestal y el manejo de bosques nativos. Estas fuentes generarían entre 3.000 y 6.000 MW, siendo el manejo de bosque nativo la fuente de biomasa más relevante (77% del total). Esto equivaldría entre el 21% y 42% de la capacidad de generación eléctrica instalada al año 2008.

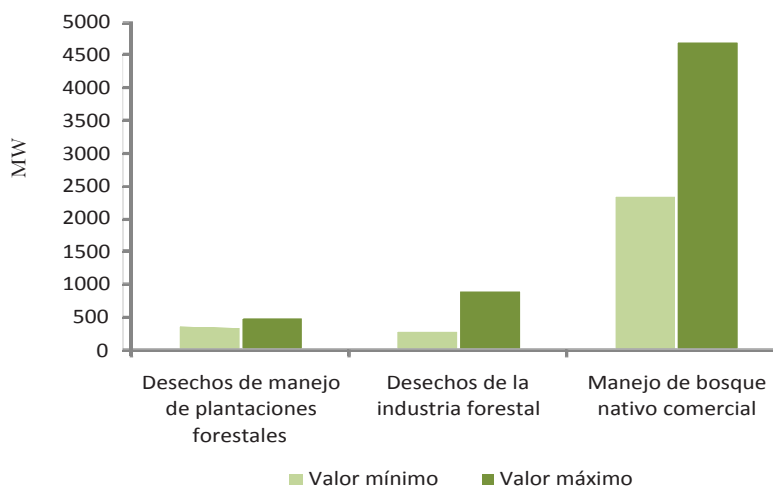
Sin embargo, la producción de energía a partir de biomasa forestal podría aumentar sin necesidad de cortar más árboles, mejorando tres aspectos que determinan la baja eficiencia con la que se emplea actualmente: a) uso de tecnologías de combustión obsoletas,

b) alto contenido de humedad de la madera que se emplea, y c) deficiencias en el aislamiento de viviendas y edificios (Reyes y Venegas 2009).

La eficiencia de los equipos de combustión que se emplean actualmente en el sector residencial fluctúa entre un 15% y 65%. Un 53% de la biomasa forestal que se utiliza en áreas urbanas desde la VI Región al sur se quema en cocinas a leña o salamandras (32% eficiencia), un 19% en estufas de combustión simple con una entrada de aire (50% eficiencia), un 23% en estufas de combustión lenta con dos entradas de aire (65% eficiencia) y un 4% en chimeneas, braseros o fogones (15% eficiencia) (Gómez-Lobo et al. 2006). Así, la eficiencia media en la utilización de combustibles derivados de la madera por parte del sector residencial urbano, a nivel nacional, es de un 42%. En el sector rural la participación de los equipos menos eficientes es mayor, por tanto el margen de mejora aumenta. El alto contenido de humedad de la madera utilizada disminuye el poder calorífico aprovechable, haciendo menos eficiente la combustión y generando contaminación. Observaciones realizadas en la ciudad de Valdivia entre consumidores de leña certificada (residencial e industrial), indican que al usar leña seca (contenido de humedad < 25%) se disminuye alrededor de un 20% el consumo anual.

Por otra parte, las malas condiciones de aislamiento de las viviendas, sobre todo en sectores rurales y estratos socioeconómicos medio y bajo, generan fuertes pérdidas de calor que redundan en un mayor consumo de leña. Se estima que mejorando el aislamiento de las viviendas se podría reducir el uso de leña hasta en un 50% (Corporación Chile Ambiente 2008).

Figura 16. Potencial de la biomasa forestal para la producción de energía



Fuente: elaboración propia en base a Pontt (2008).

### 3. Consumo de combustibles derivados de la madera en Chile

#### 3.1. Calidad de la información disponible para medir el consumo

En Chile no existe un sistema de registro permanente y actualizado sobre el consumo de combustibles derivados de la madera, como ocurre con otras fuentes de energía. Las estadísticas oficiales, publicadas por la Comisión Nacional de Energía (CNE), corresponden a proyecciones realizadas a partir de un modelo elaborado a comienzos de los '90 por el Instituto Forestal (INFOR), el cual ha sido utilizado desde entonces (Gómez-Lobo et al. 2006). El estudio realizado por INFOR (1994) levantó información de terreno sólo en las regiones V, IX y X, utilizándose estudios previos para estimar el consumo en las regiones IV, Metropolitana, VI, VII, VIII, XI y XII. Además, se asumió que entre las regiones I y III (zona desértica) no había consumo de combustibles derivados de la madera.

Dado que, en general, los estudios efectuados en Chile sobre el consumo de combustibles derivados de la madera se han enfocado en leña, y que INFOR (1994) tuvo que mezclar varias fuentes de información, los resultados de su estudio fueron más precisos en la estimación del consumo de leña, siéndolo menos en la estimación del consumo de desechos forestales, desechos industriales, carbón y otros. A nivel sectorial ocurrió algo similar, puesto que existía más información sobre el sector residencial urbano que en relación con los sectores residencial rural, industrial, comercial y público (INFOR 1994; Gómez-Lobo et al. 2006).

Posteriormente, el Departamento de Economía de la Universidad de Chile, por encargo de CNE, elaboró un segundo estudio sobre el consumo de combustibles derivados de la madera, usando datos del año 2003 (Gómez-Lobo et al. 2006). Sin embargo, sólo se levantó información de terreno en algunas ciudades de la X Región, específicamente Osorno, Valdivia, Río Negro y La Unión (sector residencial urbano), utilizándose otros estudios, dispersos temporal y metodológicamente, para realizar estimaciones de

alcance nacional.

En el estudio realizado por Gómez-lobo et al. (2006) se observan fortalezas en la estimación del consumo residencial urbano de leña, sector en el cual se ha acumulado bastante información, pero una vez más debilidades en la estimación de los sectores residencial rural, industrial, comercial y público. También se observan debilidades en la estimación del consumo de otros tipos de combustibles derivados de la madera como desechos forestales, desechos industriales, carbón vegetal, briquetas y pellets. Uno de los ejemplos que permiten ilustrar esta situación se observa en el sector industrial. Si bien, la Encuesta Nacional Industrial Anual (ENIA), realizada por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), entrega información bastante precisa sobre el consumo de leña en establecimientos sobre 50 trabajadores, no sirve para cuantificar autoconsumo o para evaluar el consumo de otro tipo de combustibles derivados de la madera. Tampoco entrega información extrapolable para establecimientos bajo 50 trabajadores. Es decir, mientras no se perfeccione esta herramienta o se realice una encuesta específica en este sector, se tenderá a subestimar el consumo del sector industrial.

En resumen, las estadísticas existentes sobre el consumo de combustibles derivados de la madera en Chile tienen un alto componente de imprecisión, el cual está asociado a las deficiencias de la información utilizada en la elaboración y corrección de los modelos de proyección. Así queda en evidencia al comparar los resultados del estudio efectuado por Gómez-lobo et al. (2006) y las estadísticas oficiales de CNE para el año 2003, los cuales difieren en 4 millones de metros cúbicos.

Llama la atención el poco interés que ha demostrado históricamente CNE en torno a la cuantificación del consumo de combustibles derivados de la madera, lo cual refleja la indiferencia de los distintos gobiernos con respecto a esta fuente de energía. Los combustibles derivados de la madera siempre han parecido “demasiado primitivos” como para ser considerados en serio en las políticas sectoriales, algo que poco a poco comienza a cambiar.



Productores acopiando leña en un lugar donde pueden acceder camiones, para su posterior transporte y comercialización.



**3.2. Modelos utilizados para la estimación del consumo de combustibles derivados de la madera**

Tal como se mencionó anteriormente, los datos sobre consumo de combustibles derivados de la madera publicados por CNE en sus “balances energéticos”, han sido estimados utilizando modelos creados por INFOR en 1994.

Para elaborar estos modelos se analizaron distintas variables, seleccionándose aquellas que resultaron mejores predictoras de la demanda de combustibles derivados de la madera. Además, se seleccionaron modelos logarítmicos para la construcción de las funciones, debido a que presentaron los mejores indicadores de ajuste.

Los modelos elaborados fueron los siguientes:

a) Sector residencial, comercial y público

$$\ln C_t = A_1 - \ln IPM_t + A_2 - \ln W_t + A_3 - \ln C_{t-1}$$

- Donde,
- $C_t$ : consumo de combustibles derivados de la madera en el año t, expresado en miles de toneladas.
- $IPM_t$ : nivel de precios por mayor de la economía en el año t.
- $W_t$ : nivel de remuneraciones reales en el año t.
- $C_{t-1}$ : consumo de combustibles derivados de la madera rezagado en un periodo.

Según INFOR (1994) los combustibles derivados de la madera “constituyen un bien superior para hogares de ingresos altos e inferior para aquellos de ingresos bajos, por lo cual la demanda del sector residencial, comercial y público está constituida principalmente por el autoconsumo realizado por el sector rural, que en general tiene ingresos más bajos, utilizando este combustible como fuente básica de energía”.

El nivel de precios al por mayor refleja incrementos en el costo de la vida, lo cual tiene un efecto regresivo en la economía, incrementando el consumo de combustibles derivados de la madera, especialmente en los estratos socioeconómicos bajos (INFOR 1994).

Por otra parte, los resultados muestran que el consumo de combustibles derivados de la madera en este sector está condicionado por el consumo del periodo anterior, ya que existe infraestructura (bodegas, equipos de combustión, etc.) y hábitos que difícilmente cambian entre un periodo y otro (INFOR 1994).

b) Sector industrial y minero

$$C_t = \ln A_0 + A_1 * \ln K_t + A_2 * \ln P_t + A_3 * \ln W_t + A_4 * \ln C_{t-1}$$

- Donde,
- $K_t$ : formación bruta de capital fijo en el año t.
- $P_t$ : precios promedios ponderados de otros productos energéticos en el año t.
- $W_t$ : nivel de remuneraciones reales en el año t.
- $C_{t-1}$ : consumo de combustibles derivados de la madera rezagado en un periodo.

La formación bruta de capital fijo influye negativamente en la demanda de combustibles derivados de la madera, debido a que esto implica la compra de maquinarias y equipos que “en general

involucran tecnologías más modernas de producción y con ello la utilización de otras formas de energía que los sustituyen” (INFOR 1994). Esta aseveración refleja la percepción existente a principios de los '90, con respecto a que los combustibles derivados de la madera, en especial leña y desechos forestales e industriales, corresponderían a fuentes de energía “no modernas”. Algo que a la luz del siglo XXI resulta, al menos, discutible.

Por otra parte, el precio de otras fuentes de energía influyó positivamente en la demanda de combustibles derivados de la madera, dado que constituirán sustitutos. Es decir, un aumento en el precio promedio de otras fuentes de energía aumentaría la demanda de biomasa forestal. Las remuneraciones de los trabajadores, en tanto, tienen un efecto inverso en el consumo de este combustible, dejando en evidencia la complementariedad entre fuerza de trabajo y los demás insumos del proceso productivo. Por tanto un aumento en las remuneraciones implica una reducción en la adquisición de otros insumos.

Al igual que en el sector residencial, comercial y público, en el sector industrial y minero la demanda de combustibles derivados de la madera también se ve fuertemente influenciada por la demanda del año anterior. Es decir, en ambos sectores existiría un fuerte componente de “inercia” en el consumo de combustibles derivados de la madera, la cual puede ser rota en la medida que se producen cambios significativos en otras variables (precios de energías sustitutas, crecimiento, remuneraciones, etc.). Dada la alta fragmentación del consumo de combustibles derivados de la madera en el sector residencial, comercial y público, esta “inercia” implica cambios lentos en las tendencias de consumo, mientras que en el sector industrial y minero, los cambios son más rápidos, dado que existen menos “unidades de decisión” con un mayor volumen de consumo cada una. Ante un cambio, por ejemplo, en el precio de los combustibles fósiles, con proyecciones de mediano y largo plazo, este sector podría reemplazar con mayor velocidad los combustibles derivados de la madera, y vice versa.

La “inercia” del sector residencial, comercial y público depende de criterios económicos, pero también culturales (costumbres), mientras que la “inercia” del sector industrial y minero está asociada básicamente a criterios económicos. En las secciones que siguen se analizará la importancia de las “costumbres” en la demanda de combustibles derivados de la madera en el sector residencial

c) Sector transformación en electricidad

$$\ln C_t = A_0 + A_1 * \ln Pgb_t + A_2 * \ln TC_t + A_3 * \ln W_t$$

- Donde,
- $Pgb_t$ : producto geográfico bruto del sector en el año t.
- $TC_t$ : tipo de cambio en el año t.
- $W_t$ : nivel de remuneraciones reales en el año t.

Al devaluarse la moneda aumenta el costo de las importaciones (entre ellas las energéticas), lo cual incrementa el consumo de combustibles derivados de la madera. Un efecto menor tiene el producto geográfico bruto del sector. Un aumento en la producción eléctrica, implica también un aumento en la demanda de insumos, entre los cuales están los combustibles derivados de la madera. Algo similar, pero con un efecto aún menor en la estimación,

tuvieron las remuneraciones (INFOR 1994).

**3.3. Factores que inciden en el consumo de combustibles derivados de la madera**

INFOR (1994) identifica cuatro factores que inciden en el consumo de combustibles derivados de la madera: clima, ruralidad de la población, disponibilidad de vegetación leñosa y condición socioeconómica. Kausel y Vergara (2003) agregan como una variable adicional el costo de las fuentes de energía sustitutas.

**a) clima**

El clima en Chile, especialmente a partir de los 33° de latitud sur, es frío durante el periodo invernal. En Santiago (33° 27' latitud sur) la temperatura media mínima fluctúa entre 4 y 5°C, aunque suele bajar de los 0°C en la madrugada. Cuatrocientos kilómetros al sur, en la ciudad de Chillán (36° 34' latitud sur), las temperaturas medias mínimas durante el mismo periodo bordean los 4°C. En la ciudad de Osorno (40° 36' latitud sur), en tanto, se reducen a 3°C, mientras que en Coyhaique (45° 35' latitud sur) fluctúan entre -1 y 1°C (DGF 2011).

En la medida que se reducen las temperaturas hacia el sur, aumenta la duración del periodo frío. En la zona central, el periodo de bajas temperaturas se extiende entre mayo y septiembre, mientras que desde la IX región al sur se produce entre abril y octubre, aunque muchas veces puede prolongarse, especialmente en la Patagonia (XI y XII regiones).

Las precipitaciones y la alta humedad relativa durante el invierno, especialmente desde la VIII región al sur, acentúan el frío y la necesidad de calefacción. En Santiago, donde predomina un clima mediterráneo, las lluvias acumulan 312 mm anuales, mientras en Talca (VII región), Chillán, Concepción (VIII región) y Temuco (IX región) caen 750, 1107, 1110 y 1157 mm, respectivamente, con varios meses secos (DMC 2011). A partir de 39° latitud sur, el aumento de las precipitaciones determina un clima lluvioso. En Valdivia, Puerto Montt y Castro (X región) las lluvias acumulan entre 1800 y 1900 mm anuales. Más al sur, en Puerto Aysén y Coyhaique (XI región) las precipitaciones llegan a 2940 y 1206 mm. En el caso de Coyhaique, con un clima mucho más continental, gran parte del agua cae en forma de nieve (DMC 2011). La continentalidad de esta zona se manifiesta en una disminución general de las temperaturas y un aumento de la amplitud térmica, lo cual implica un incremento significativo en las necesidades de calefacción (Figura 17)

**b) Disponibilidad de vegetación leñosa**

En las regiones del centro y sur de Chile existe una extensa superficie de bosque nativo y plantaciones forestales, las cuales cubren una parte significativa del territorio, especialmente desde la VII región al sur. A nivel nacional, Chile posee 13,6 millones de hectáreas de bosque nativo, concentradas entre las regiones

IX y XII, y 2,3 millones de hectáreas de plantaciones forestales, especialmente de *Pinus radiata* y *Eucaliptus* sp. Gran parte de de las plantaciones fueron establecidas entre la VII y IX regiones (INFOR 2010). El Cuadro 2 muestra la superficie regional de bosque nativo y plantaciones.

Figura 17. Regiones de Chile



Fuente: elaboración propia en base a Wikipedia 2011. En la imagen satelital es posible observar el desierto de Atacama en el norte (entre la I y III regiones), un área de transición entre las regiones IV y Metropolitana (donde se encuentra Santiago), el área agrícola y forestal entre la VI y XI regiones, y gradualmente nieve y glaciales desde la XI región al sur. En 2007 la X región fue dividida, creándose en la porción norte la XIV región, más conocida como región de Los Ríos. Las imágenes están disponibles en [http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:South\\_America\\_satellite\\_plane.jpg](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:South_America_satellite_plane.jpg) y [http://es.wikipedia.org/wiki/Regiones\\_de\\_Chile](http://es.wikipedia.org/wiki/Regiones_de_Chile)

**Cuadro 2. Superficie de bosques nativos y plantaciones forestales entre la V y XII regiones**

Regiones	Bosque nativo (ha)	Plantaciones (ha)	Superficie total bosques (ha)	Superficie total regional (ha)	Cobertura bosques (%)
V	106.590	51.575	158.165	1.602.856	10
RM	105.754	13.945	119.699	1.550.965	8
VI	186.311	101.591	287.902	1.633.463	18
VII	404.233	439.084	843.317	3.035.271	28
VIII	825.195	861.248	1.686.443	3.706.003	46
IX	966.263	434.185	1.400.448	3.170.943	44
XIV*	860.609	182.076	1.042.685	1.782.514	58
X	2.741.698	60.531	2.802.229	4.827.346	58
XI	4.816.446	42.827	4.859.273	10.698.183	45
XII	2.671.592	282	2.671.874	13.187.946	20
Total	13.684.691	2.187.344	15.872.035	45.195.490	35

\* En 2007 la X región fue dividida, creándose en la porción norte la XIV región, más conocida como región de Los Ríos, cuya capital es Valdivia. Fuente: elaboración propia en base a INFOR 2010.

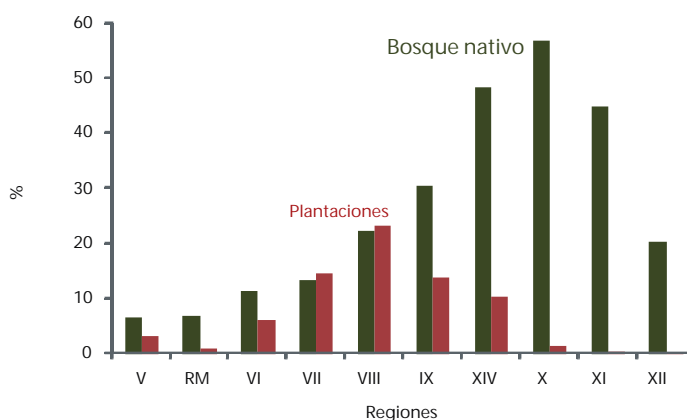
El 74% de la población chilena (11 millones de personas) vive entre las regiones V y VIII (INE 2002), concentrándose especialmente en Santiago (5,5 millones), Valparaíso (800 mil personas) y Concepción (900 mil habitantes). Esta alta concentración ha sido una característica permanente en el proceso de “ocupación” del territorio chileno. El valle del Río Maipo, donde se fundó Santiago (año 1541), fue el enclave principal utilizado por el militar y expedicionario español, Pedro de Valdivia, para iniciar el proceso de exploración y conquista de los territorios indígenas que se extendían al sur del Imperio Inca. Después de Santiago siguió la fundación de Valparaíso (1544) y posteriormente Concepción (1550).

Gran parte de la historia de Chile ocurrió en esa zona del país, ya que la ocupación masiva de los territorios al sur de Concepción (VIII región) comenzó recién en la segunda mitad del siglo XIX, con la penetración violenta del Ejército Chileno en territorio mapuche (IX región y parte de la X). De hecho, la ciudad de Temuco (capital de la IX región) fue fundada recién en 1881,

mientras que Puerto Montt lo fue en 1853 y Coyhaique en 1929. Distinta es la historia de Chiloé, último bastión del Imperio Español en Sudamérica, cuyas ciudades datan del siglo XVI. Por esta razón, las regiones de la zona central de Chile han sido mucho más intervenidas por el ser humano que las regiones australes.

Entre las regiones IV y VIII, la minería y la agricultura provocaron un fuerte proceso de deforestación, reduciendo la superficie cubierta por bosque nativo a menos de un 20% de la superficie regional. A partir de la segunda mitad del siglo XX, gran parte de esa área comenzó a ser cubierta por plantaciones forestales, estableciéndose sólo en la VIII región una superficie cercana a las 900 mil hectáreas. Una historia muy distinta se observa desde la IX región al sur. Si bien, la deforestación también causó estragos, especialmente en el área costera, no ha sido un proceso tan intenso, pudiendo conservarse buena parte de los bosques nativos. De hecho, entre las regiones XIV y XI los bosques cubren más de un 40% del territorio (Figura 18).

**Figura 18. Superficie regional cubierta por bosque nativo y plantaciones (%)**



Fuente: elaboración propia en base a INFOR 2010.

En la Figura 18 se observa que desde la VII región al sur existe una gran disponibilidad de biomasa forestal, siguiendo una tendencia muy similar al consumo de combustibles derivados de la madera. Las plantaciones forestales son más importantes desde la VIII región al norte, mientras el bosque nativo lo es hacia el sur. Especialmente interesante es el caso de la VIII región, “centro neurálgico de la industria forestal chilena”, dada la disponibilidad, en proporciones similares, de bosque nativo y plantaciones.

**c) Ruralidad de la población**

Otro de los factores que inciden en el consumo de combustibles derivados de la madera es el nivel de ruralidad de la población. Las observaciones indican que a mayor nivel de ruralidad mayor es el consumo de biomasa forestal. El ser humano viene haciendo uso de la madera para producir energía desde tiempos inmemoriales, por tanto es una costumbre fuertemente arraigada en las personas. Es así como desde la IV a la XI regiones el consumo promedio de combustibles derivados de la madera por hogar es mayor en áreas rurales que urbanas. Una tendencia similar se observa en ciudades pequeñas con respecto a medianas y grandes, aunque con algunas limitaciones.

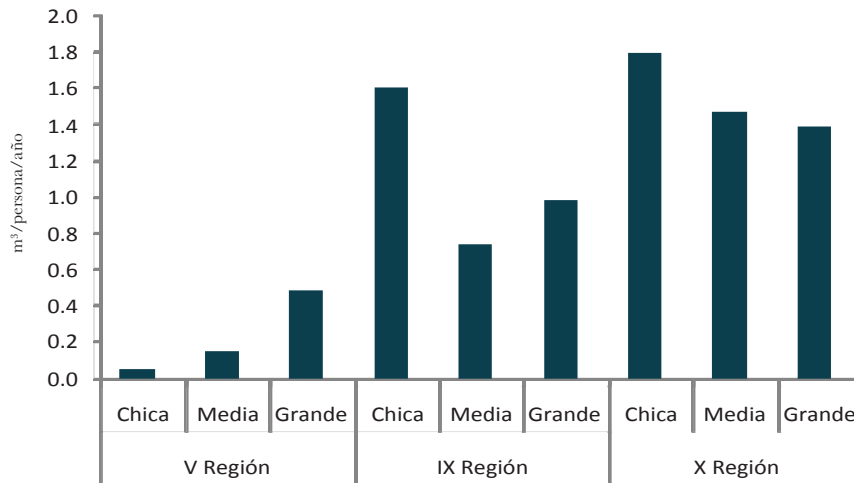
La Universidad de Chile (2005) analiza dos casos muy interesantes. El primero de ellos ocurre en la Región de Los Ríos. Valdivia y La Unión (X Región) son ciudades vecinas. La primera tiene 130 mil habitantes y la segunda 25 mil. Ambas tienen un clima similar y abundante disponibilidad de biomasa. En Valdivia un 81% de los hogares consume combustibles derivados de la madera a un

promedio de 7,9 m<sup>3</sup>/año , mientras que en La Unión un 96% de los hogares consume a un promedio de 9,1 m<sup>3</sup>/año<sup>8</sup>. Más al sur, en la X región, ocurre el segundo caso. Osorno (135 mil habitantes) y Río Negro (10 mil habitantes), a menos de 30 kilómetros de distancia, presentan diferencias similares. En Osorno un 89% de los hogares consume biomasa forestal a un promedio de 7,8 m<sup>3</sup>/año, mientras que en Río Negro un 99% de los hogares consume a un promedio de 9,9 m<sup>3</sup>/año.

La Universidad de Chile (2005) señala que la gente que vive en ciudades pequeñas mantiene hábitos y costumbres campesinas asociadas al uso de combustibles derivados de la madera. De hecho, se observa que en estas ciudades un mayor porcentaje de las familias acceden a biomasa forestal a través de recolección, autoabastecimiento (campos propios, de familiares o amigos) y compra directa al productor, debido a una mayor interconexión rural - urbano. En la medida que las ciudades crecen estos vínculos se debilitan.

Sin embargo, Ábalos (1997) señala que esta tendencia se produciría sólo en aquellas regiones donde hay abundancia de biomasa forestal, ya que estaría asociada a bajos precios. En la medida que la biomasa escasea y debe ser transportada recorriendo largas distancias, los precios aumentan y se hacen más competitivas fuentes de energía sustitutas. De hecho, en la V región la relación entre los niveles de consumo de ciudades chicas y grandes fue inversa a la observada en el sur, respondiendo más bien a la disponibilidad de biomasa que a factores culturales (Figura 19).

**Figura 19. Consumo de combustibles derivados de la madera según el tamaño de la ciudad**



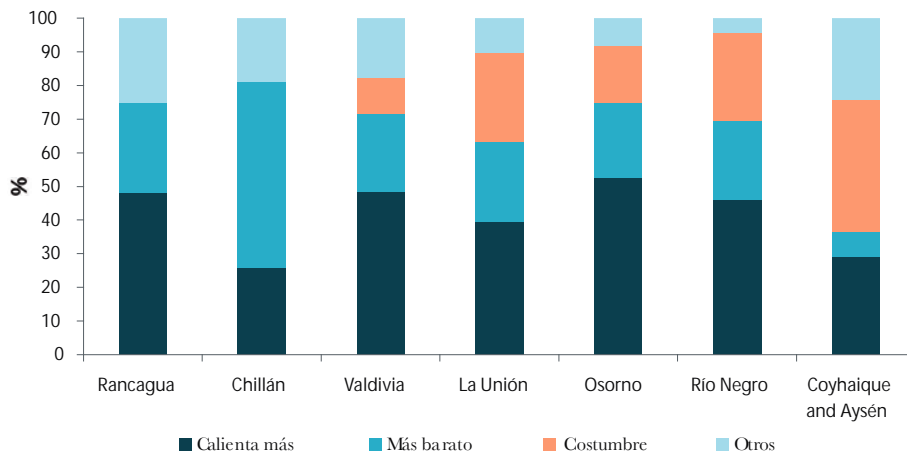
Fuente: elaboración propia en base a Ábalos (1997).

<sup>8</sup> Promedio estimado entre los hogares que consumen combustibles derivados de la madera.

La Figura 20 complementa el análisis anterior, ya que muestra las principales razones esgrimidas por los hogares que consumen combustibles derivados de la madera, para justificar sus preferencias. Al preguntar ¿por qué se utiliza biomasa forestal con fines energéticos?, surgen claramente dos argumentos: a)

bajo precio y b) calidad del calor. Ambas son una constante independientemente de la región donde se pregunte. Sin embargo, desde Valdivia al sur, la “costumbre” comienza a ser una respuesta frecuente, especialmente en ciudades pequeñas.

**Figura 20. Principales causas del consumo de combustibles derivados de la madera**



Fuente: elaboración propia en base a INFOR (2005a), INFOR (2005b), Universidad de Chile (2005) e INFOR (2004).

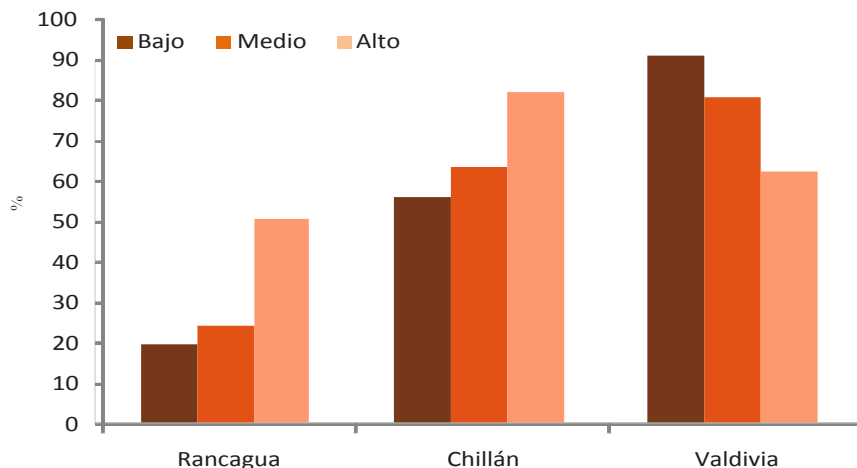
**d) Condición socioeconómica**

INFOR (2005a) señala otro fenómeno muy interesante en relación al consumo de combustibles derivados de la madera. En las ciudades del sur de Chile donde el consumo de esta fuente de energía tiene un fuerte arraigo cultural y el acceso a fuentes de energía sustitutas es escaso, el estrato socioeconómico bajo tiene

un mayor nivel de dependencia de los combustibles derivados de la madera.

En Valdivia por ejemplo, un 90% de los hogares del estrato bajo consumen biomasa forestal, lo cual se reduce a un 80% y 60% en los estratos medio y alto, respectivamente. Sin embargo, desde la VIII región al norte la lógica se invierte (Figura 21).

**Figura 21. Consumo de combustibles derivados de la madera por estrato socioeconómico (% hogares)**



Fuente: elaboración propia en base a INFOR (2005a), INFOR (2005b), Reyes y Frene (2006).



**Partidura de leña. En la foto, Don Humberto Salazar, Mariquina, Región de Los Ríos.**

En la medida que la disponibilidad de recursos forestales disminuye aumenta el precio de la biomasa forestal, lo cual impacta con más fuerza en los estratos socioeconómicos bajos. Éstos tienden a buscar alternativas energéticas más convenientes y eficientes, las cuales encuentran en la parafina y el gas licuado, sacrificando de alguna forma la calidad de la calefacción. En los estratos altos, en cambio, los combustibles derivados de la madera siguen empleándose en forma permanente u ocasional. Con respecto a este tema, un caso interesante se observa en Santiago. Según INTEC (1992), en 1990 un 19% de los hogares urbanos del Gran Santiago utilizaban combustibles derivados de la madera, especialmente familias pobres en comunas periféricas. La contaminación atmosférica generó grandes restricciones al consumo de estos combustibles durante los años '90. Así, braseros y salamandras dieron paso a estufas a parafina o gas licuado. Sin embargo, la comercialización de equipos de combustión de doble cámara o estufas a pellets, le han dado una nueva oportunidad a los combustibles derivados de la madera, especialmente en familias de estrato socioeconómico alto.

Es decir, cuando el precio de la biomasa sube los niveles de consumo se reducen, especialmente en los estratos socioeconómicos bajos (donde se utilizan equipos menos eficientes), hasta que el desarrollo tecnológico reimpulsa el uso de combustibles derivados de la madera. Esto se está observando en Chile, pero ya ocurrió

en países de Europa como Suecia, Finlandia, Alemania y Austria.

**e) Costo de fuentes de energía sustitutas**

Según la Universidad de Chile (2005), un 23% de los hogares que utilizan combustibles derivados de la madera en el sector residencial urbano de las ciudades de Osorno, Río Negro, Valdivia y La Unión, mencionan que la principal razón para hacerlo es el bajo precio de este combustible en relación con otras fuentes de energía. Al respecto, INFOR (2004) señala que en Coyhaique un 22% de los hogares esgrimen la misma razón, mientras que en Rancagua y Chillán lo hacen un 27% y 52%, respectivamente (INFOR 2005a; INFOR 2005b). Proporciones similares se observan en otras ciudades del país (AIFBN 2007). La Universidad de Chile (2002) señala además que para el sector residencial no es económicamente factible reemplazar la leña por gas natural, incluso si se duplicara el precio de la biomasa forestal. La causa de esta situación es descrita por Kausel y Vergara (2003), quienes señalan que el costo de generar una gigacaloría con leña es entre 4 y 5 veces más barato que con cualquiera de sus posibles sustitutos (Cuadro 3). Por esta razón, el uso de combustibles derivados de la madera es relevante en el centro y sur del país, a pesar de una serie de desventajas: calefactores más caros, mayores costos de mantenimiento y limpieza, mayor riesgo de incendios, espacios de almacenamiento, etc.

**Cuadro 3. Costo comparativo entre distintas fuentes de energía**

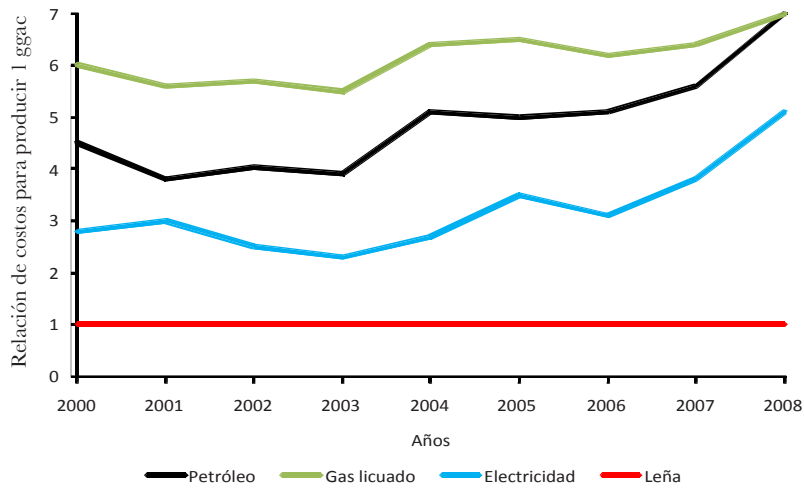
Fuente de energía	Petróleo (litro)	Gas licuado (kilógramo)	Electricidad (kw-hora)	Leña* (m3 estéreo)
Poder calorífico superior (kcal/unidad)	9.156	12.100	860	1.641.920
Rendimiento de transformación (%)	90	92	100	60
Costo/unidad (\$)	500	778	70	15.000
Poder cal. aprovechable (kcal/unidad)	8.240	11.132	860	985.152
Unidades por gigacaloría neta	121	90	1.163	1,015
Costo por gigacaloría neta (\$)	60.677	69.869	81.395	15.225
Costo en relación a la leña	4,0	4,6	5,3	1,0

\* Poder calorífico 3500 kcal/kg. Peso específico ulmo 733 kg/m3. 1 m3 estéreo equivale a 0,64 m3 sólido. Fuente: Kausel y Vergara, 2003, actualizado por Reyes a febrero 2009.

Durante los últimos 10 años se ha observado un incremento en el precio de los combustibles fósiles, incluyendo gas natural, gas licuado y kerosene, lo cual hace más competitivos los combustibles derivados de la madera. Algo similar ha ocurrido con la

electricidad. La Figura 22 muestra la evolución observada en el costo comparativo entre leña y otros combustibles, entre los años 2000 y 2008, momento en el cual el precio del petróleo llegó a un máximo histórico en torno a los 140 dólares por barril.

Figura 22. Evolución del costo comparativo entre distintas fuentes de energía



Fuente: elaboración propia en base a Kausel y Vergara (2003)

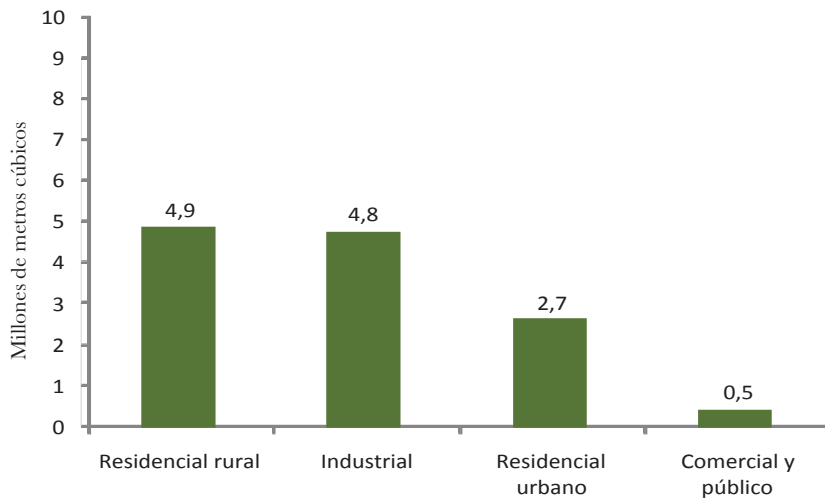
3.4. Estimaciones realizadas por INFOR (1994) y Gómez-Lobo et al. (2006)

a) Consumo a nivel nacional

INFOR (1994) estimó que el consumo nacional de combustibles derivados de la madera en 1992 fue de 12,8 millones de metros cúbicos<sup>9</sup>, un 38% de los cuales fueron utilizados por el sector residencial rural, un 37% por el sector industrial, un 21% por el sector residencial urbano y un 4% por el sector comercial y público. El 63% de la madera utilizada con fines energéticos provino del bosque nativo y el 37% de plantaciones forestales (eucalipto y pino) (Figura 23).

Desde la IX región al sur la mayor parte del volumen comercializado correspondió a especies nativas, mientras que desde la VIII región al norte predominaron las especies exóticas (INFOR 1994). Sin embargo, no existen límites precisos al respecto, siendo la disponibilidad y cercanía de recursos forestales el principal factor que determina el tipo de leña utilizada en una localidad. Así se observa al comparar el consumo de leña en Concepción y Chillán, principales núcleos urbanos de la VIII región. En Concepción el 65% de la leña consumida corresponde a especies exóticas y el 35% a especies nativas, mientras en Chillán las proporciones se invierten (Universidad de Concepción 2005).

Figura 23. Consumo de combustibles derivados de la madera por sector, en 1992



Fuente: elaboración propia en base a INFOR (1994).

<sup>9</sup> En el informe original los datos están expresados en toneladas, los cuales fueron transformados en metros cúbicos utilizando una densidad de la madera de 0,733 gr/cm<sup>3</sup>. La unidad de medida empleada en este informe corresponde a metros cúbicos sólidos.

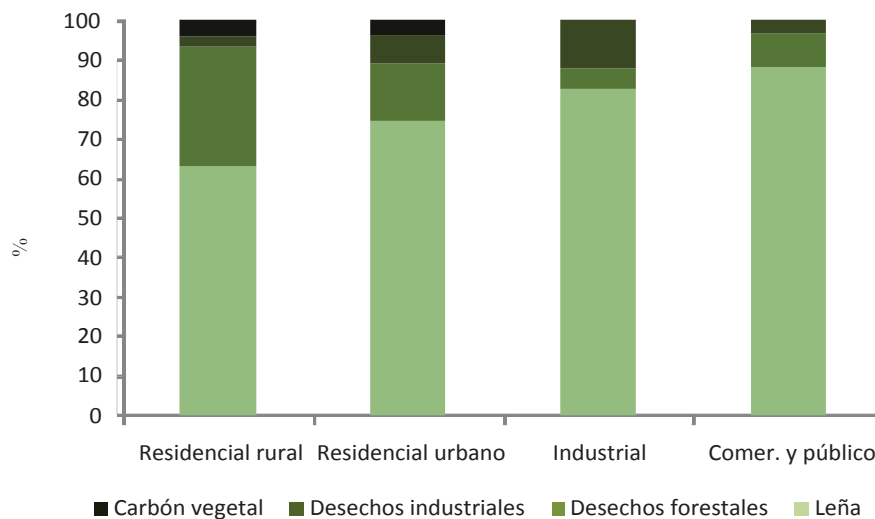


Por otra parte, un 74% del volumen total de combustibles derivados de la madera correspondió a leña, un 17% a desechos forestales, un 7% a desechos industriales y un 2% a carbón vegetal (INFOR 1994).

Desde un punto de vista sectorial, los combustibles derivados de la madera más importantes para el sector residencial rural fueron leña (63%) y desechos forestales (31%). En el sector industrial, en cambio, leña representó un 83% del consumo, seguido por desechos industriales (12%). La composición del sector residencial urbano fue muy similar a la del sector residencial rural, aunque

se observó una mayor participación de leña (75%) y desechos industriales (7%). Finalmente, el sector comercial y público se abasteció casi por completo de leña (Figura 24). La escasa importancia del carbón vegetal fue uno de los resultados más notables del estudio, ya que por lo general tiene un rol relevante en los países en vías de desarrollo que utilizan biomasa forestal como fuente de energía. En Chile, en cambio, su uso está acotado a los estratos socioeconómicos más bajos, quienes lo emplean en equipos de combustión de baja eficiencia como el “braseo”<sup>10</sup>.

Figura 24. Consumo sectorial de combustibles derivados de la madera en 1992



Fuente: elaboración propia en base a INFOR (1994).

Doce años después de la publicación de INFOR (1994), Gómez-Lobo et al. (2006)<sup>11</sup> estimaron un consumo de combustibles derivados de la madera de 20,2 millones de metros cúbicos, un 75% de los cuales correspondió a leña propiamente tal y un 25% a desechos industriales. Es decir, proporciones muy similares a las registradas por INFOR (1994), a pesar de que no se cuantificó el consumo de carbón vegetal, desechos forestales, briquetas y otros (Figura 25).

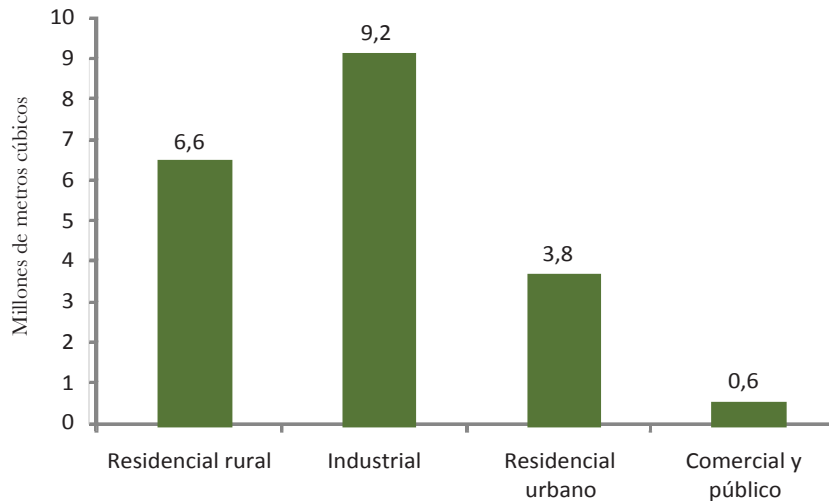
Durante la última década se ha iniciado la producción de pellets a partir de aserrín. La capacidad instalada en Chile supera las 100 mil toneladas anuales en varias plantas ubicadas entre las regiones Metropolitana y VIII. Sin embargo, no existe claridad sobre la producción real, dado los serios problemas que ha enfrentado el sector. Si bien, se había proyectado exportar gran

parte de la producción, el aumento en el costo del flete y otros aspectos lo han impedido. Por esta razón, la comercialización se ha restringido al mercado interno, especialmente al sector industrial. El consumo del sector residencial es aún muy bajo, llegando el 2007 a sólo 150 toneladas (Del Pino 2008). El consumo sectorial de combustibles derivados de la madera estimado por Gómez-Lobo et al (2006) para 2003, muestra un enorme crecimiento del sector industrial, el cual se convierte en el principal consumidor de combustibles derivados de la madera, desplazando al sector residencial rural. En términos porcentuales, el sector industrial utilizó el 46% del volumen, seguido por el sector residencial rural (33%), residencial urbano (19%), comercial y público (3%).

<sup>10</sup> Recipiente de metal en el que se quema carbón vegetal para calentar el interior de las viviendas.

<sup>11</sup> Con datos obtenidos el año 2003.

Figura 25. Consumo de combustibles derivados de la madera por sector, en 2003



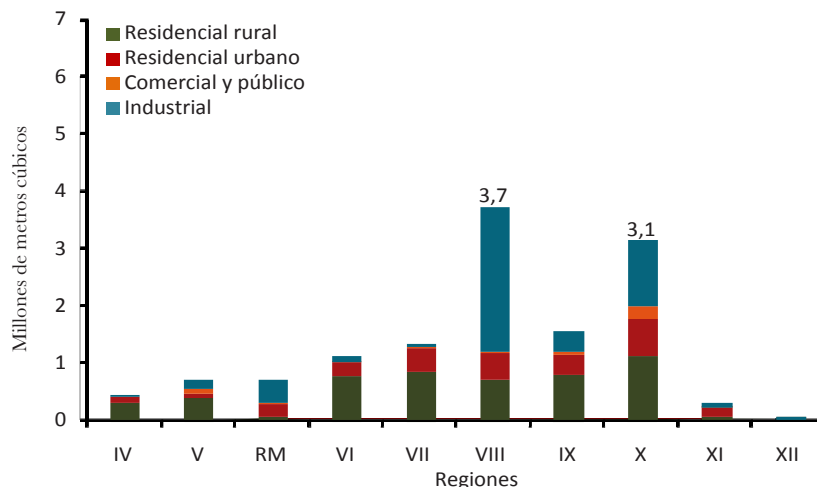
Fuente: elaboración propia en base a Gómez-Lobo et al. (2006).

Al comparar las estimaciones hechas por INFOR (1994) para el año 1992, y Gómez-Lobo et al. (2006) para el año 2003, se observa un incremento en el consumo de combustibles derivados de la madera de 7,4 millones de metros cúbicos. El consumo del sector residencial rural aumentó en un 34% (1,7 millones de metros cúbicos), mientras el sector residencial urbano lo hizo en un 42% (1,1 millones de metros cúbicos) y el sector comercial y público en un 39% (0,2 millones de metros cúbicos). El sector industrial, en tanto, aumentó en casi un 100% (4,4 millones de metros cúbicos).

**b) Consumo a nivel regional**

Según INFOR (1994), en 1992 un 23% del consumo de combustibles derivados de la madera se produjo entre la IV y VI regiones, un 75% entre la VII y X regiones y un 2% en las regiones australes. Las principales regiones consumidoras fueron la VII, VIII, IX y X, con un 10%, 29%, 12% y 24%, respectivamente. En la VIII región el mayor consumo correspondió al sector industrial, con un 68%, mientras que en la VII, IX y X regiones lo fue el sector residencial (urbano y rural). Sólo en las regiones VIII y Metropolitana el consumo del sector industrial fue mayor al consumo del sector residencial (Figura 26).

Figura 26. Consumo regional de combustibles derivados de la madera por sector en 1992

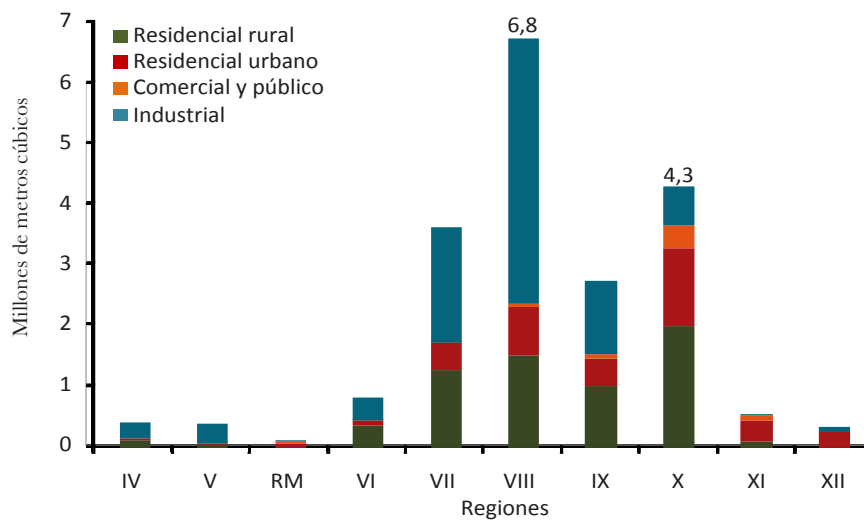


Fuente: elaboración propia en base a INFOR (1994).

Según Gómez-Lobo et al. (2006), en 2003 un 9% del consumo de combustibles derivados de la madera se produjo entre la IV y VI regiones, un 86% entre la VII y X regiones y un 5% en las

regiones australes. Las principales regiones consumidoras fueron nuevamente la VII, VIII, IX y X, con un 18%, 34%, 14% y 21%, respectivamente (Figura 27).

**Figura 27. Consumo regional de combustibles derivados de la madera por sector en 2003**



Fuente: elaboración propia en base a Gómez-Lobo et al. (2006), Walberg et al. (2005) e INFOR (2007).

En las regiones VII y VIII el mayor consumo correspondió al sector industrial, mientras que en la IX y X regiones sigue siendo el sector residencial (urbano y rural).

Entre 1992 y 2003 se observan cambios importantes en los patrones de consumo de combustibles derivados de la madera. En primer lugar, hay una mayor concentración del consumo entre la VII y X regiones, un aumento significativo en las regiones australes y una fuerte reducción en la zona central (IV – VI regiones). Las regiones VII y VIII muestran los mayores incrementos en el periodo, los cuales se deben básicamente al sector industrial. Es importante mencionar que son justamente estas regiones las que concentran gran parte de la industria forestal chilena.

Por otra parte, las regiones IX y X muestran también un fuerte aumento en el consumo de combustibles derivados de la madera durante el periodo, aunque las tendencias observadas en ambas son distintas. En la IX región se observa una importancia creciente del sector industrial, lo cual es un reflejo del “avance” que ha experimentado la industria forestal desde la VIII región al sur durante las últimas décadas, mientras que en la X región el incremento se debe principalmente al sector residencial. En segundo lugar, se redujeron los volúmenes de consumo al norte de la VI región, destacando el caso de la región

Metropolitana con una reducción de un 81%. Este fenómeno puede estar asociado a la implementación de planes para reducir los índices de contaminación atmosférica en la ciudad de Santiago, los cuales tuvieron su punto álgido durante los años 90. A nivel sectorial, el aumento más fuerte se produjo en el consumo del sector industrial de la VII región, el cual aumentó 27 veces. En la IV región, en tanto, el consumo del sector industrial aumentó 18 veces, a pesar de la fuerte reducción que se observa en el consumo total. Por el contrario, en la X región el consumo del sector industrial se redujo casi a la mitad. En la XI región, en tanto, se observa un aumento de 9 veces en el consumo del sector comercial y público, y una reducción de un 70% del consumo industrial.

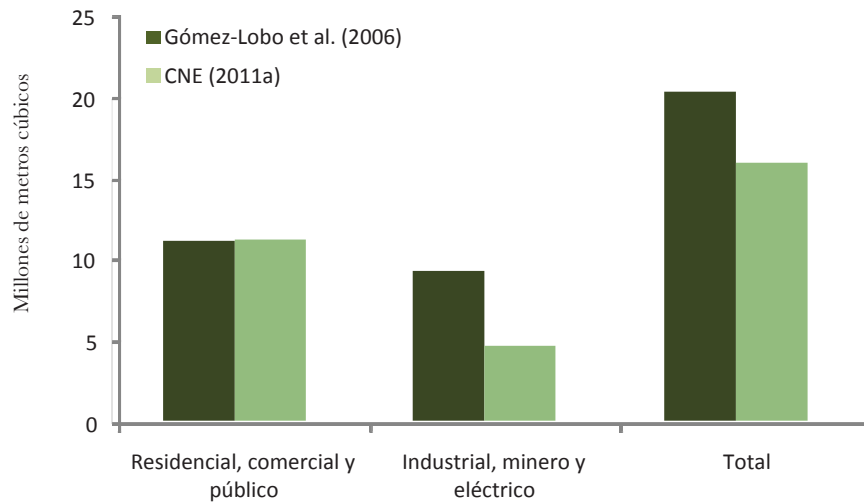
### 3.5. Estimaciones de la Comisión Nacional de Energía (CNE) (cifras oficiales)

Las estimaciones de Gómez-lobo et al. (2006) no concuerdan con las estadísticas oficiales de la Comisión Nacional de Energía, quien estimó un consumo de combustibles derivados de la madera de 15,9 millones de metros cúbicos para el año 2003 (Figura 28). Ambas estimaciones difieren en 4 millones de metros cúbicos, los cuales se concentran en el sector industrial.



**Carguío de leña.** En la foto, transportistas valdivianos comprando leña en los campos, la cual venden posteriormente en la ciudad.

Figura 28. Comparación entre las cifras oficiales y el estudio de Gómez-lobo et al. (2006), para el año 2003



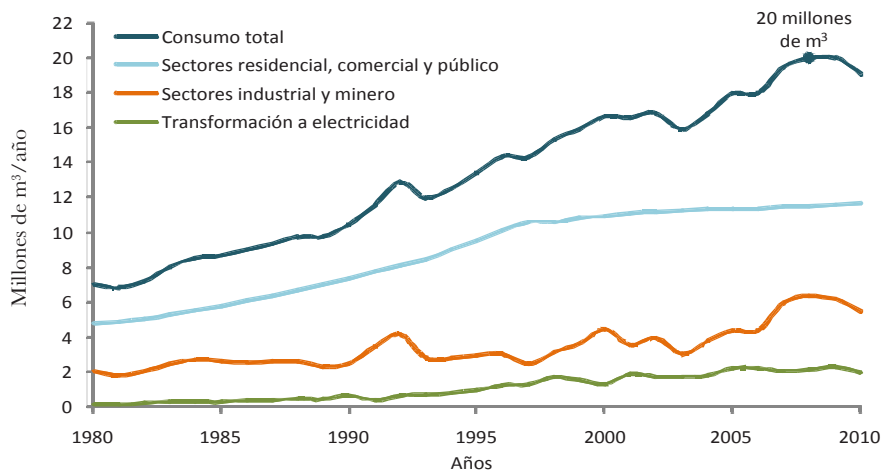
Fuente: elaboración propia en base a Gómez-Lobo et al. (2006) y CNE (2011a).

Hay que recordar que tanto Gómez-Lobo et al. (2006) como CNE utilizan como referencia el estudio realizado por INFOR (1994), especialmente para estimar el consumo del sector residencial, comercial y público. Sin embargo, no ocurre lo mismo con el sector industrial, donde Gómez-Lobo et al. (2006) analizaron información fresca obtenida de la Encuesta Nacional Industrial Anual, mientras CNE generó estimaciones en función del modelo elaborado por INFOR. Esto indica que las estadísticas oficiales

estarían subestimando el consumo industrial de combustibles derivados de la madera.

Los balances energéticos elaborados por la Comisión Nacional de Energía para el periodo 1980 - 2009 indican que el consumo de combustibles derivados de la madera se triplicó, pasando de 7 a 20 millones de metros cúbicos anuales, con un crecimiento promedio de un 3,9% anual (MINERGI 2012) (Figura 29).

Figura 29. Evolución del consumo de combustibles derivados de la madera en Chile



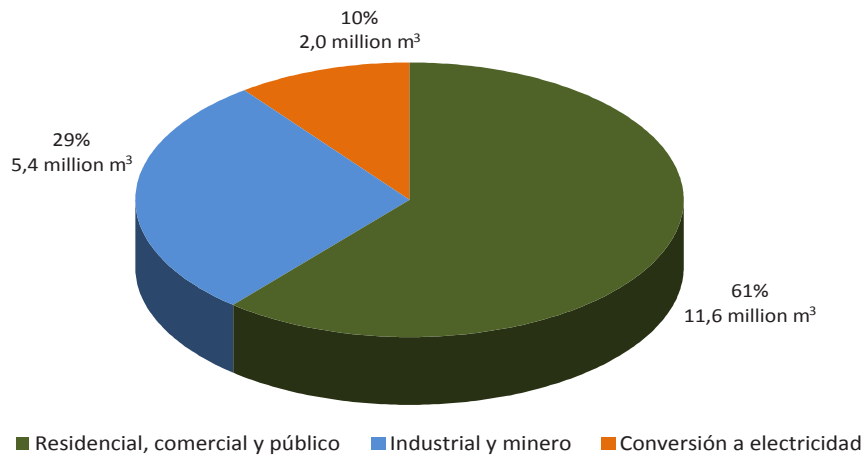
Nota: se consideró un poder calorífico de 3500 kcal/kg y una densidad promedio de la madera de 0,733 gr/cm3.

Fuente: elaboración propia en base a CNE (2011a) y Abalos (1997).

Según CNE, el consumo de combustibles derivados de la madera el año 2010 fue de 19 millones de metros cúbicos, un 61% de los cuales correspondieron al sector residencial, comercial y público, un 29% al sector industrial y un 10% fue transformado en electricidad (MINERGIA 2012) (Figura 30). Si se considera que

las cifras de la Comisión Nacional de Energía subestiman el consumo del sector industrial en varios millones de metros cúbicos, la participación de los combustibles derivados de la madera en la matriz energética chilena se incrementaría significativamente.

**Figura 30. Consumo de combustibles derivados de la madera en Chile, año 2010**



Fuente: elaboración propia en base a CNE (2011a).

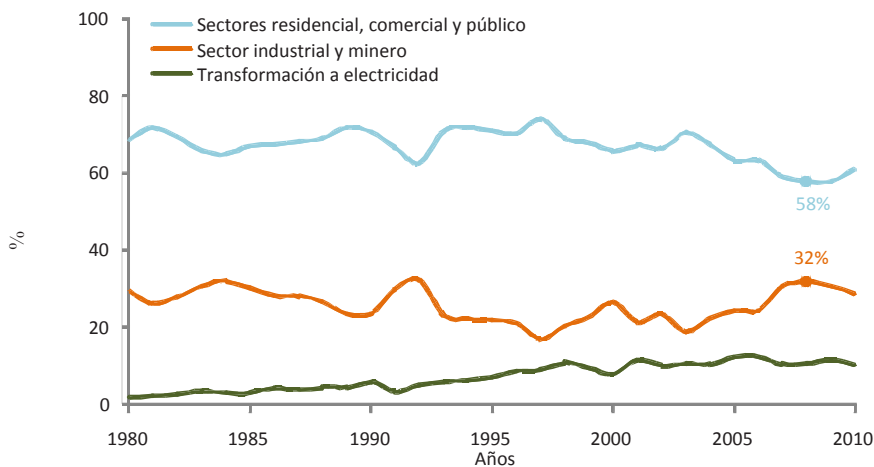
En la Figura 29 se observa un crecimiento sostenido en el consumo de combustibles derivados de la madera durante las últimas tres décadas. El combustible utilizado por los sectores residencial, comercial y público es básicamente leña, aunque también se utilizan desechos forestales, desechos industriales, carbón vegetal y otros.

El consumo del sector industrial y minero se concentra en la industria del papel y la celulosa, e industrias varias (MINERGIA 2012). Por su parte, la transformación de combustibles derivados de la madera en electricidad se realiza en centrales asociadas a

plantas de celulosa (especialmente del grupo Arauco) y en plantas termoeléctricas de la empresa Energía Verde.

El consumo de combustibles derivados de la madera por parte del sector residencial fue bastante parejo hasta 1997, a partir del cual se observa un cambio en la tendencia (Figura 29). Fluctuaciones igualmente interesantes se observan en el consumo del sector industrial, con valores máximos durante los años 1992, 2000 y 2008. El consumo del sector eléctrico también muestra un incremento durante los últimos años.

**Figura 31. Participación sectorial en el consumo de combustibles derivados de la madera**



Fuente: elaboración propia en base a CNE (2011a) y Ábalos (1997).

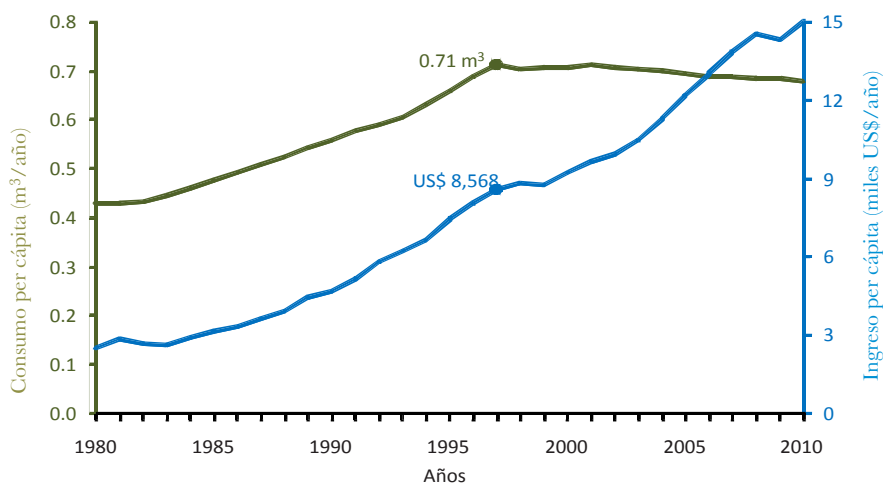
Desde 1980, la importancia relativa del sector residencial, comercial y público en el consumo total de combustibles derivados de la madera fluctuó entre un 60% y 80%. Sin embargo, en 2008 alcanzó el valor más bajo de los últimos 30 años llegando a un 58%, mientras el sector industrial subió al 32% (Figura 31). La importancia relativa del sector eléctrico también se incrementó, manteniéndose en torno a un 10%. Es decir, durante la última década el consumo de los sectores industrial y eléctrico ha crecido más rápido que el consumo del sector residencial, comercial y público, lo cual es coherente con el crecimiento del país en el mismo periodo. Si se considera además que las estimaciones de CNE subestiman el consumo industrial, esta relación entre ambos sectores se vuelve aún más estrecha.

#### 4. Consumo sectorial de combustibles derivados de la madera en Chile

##### 4.1. Sector residencial, comercial y público

En la Figura 32 se observa que el consumo nacional per cápita<sup>12</sup> de combustibles derivados de la madera por parte de los sectores residencial, comercial y público alcanzó un máximo en 1997, a partir del cual comienza a reducirse. Efectivamente, en 1980 el consumo fue de 0,43 m<sup>3</sup> persona/año, incrementándose casi linealmente hasta 1997, año en que alcanza un máximo de 0,71 m<sup>3</sup> persona/año. A partir de ese momento el consumo se estabiliza llegando a 0,68 m<sup>3</sup> persona/año el 2010.

**Figura 32. Consumo nacional per cápita de combustibles derivados de la madera en el sector residencial, comercial y público**



Fuente: elaboración propia en base a CNE (2011a), Ábalos (1997) y FMI (2011).

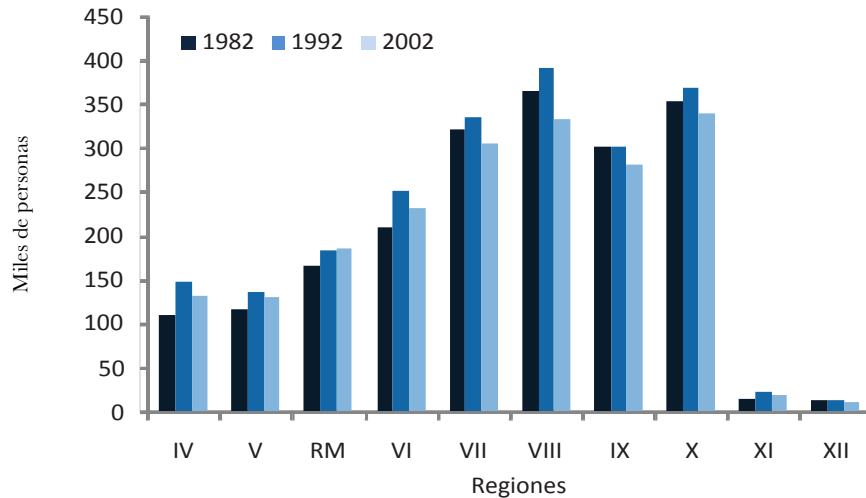
Las cifras entregadas por CNE (2011) fueron estimadas en función del modelo elaborado por INFOR (1994), el cual se basa en tres variables: a) nivel de precios al por mayor de la economía, b) nivel de remuneraciones reales, y c) consumo de combustibles derivados de la madera rezagado del año anterior. INFOR (1994) señala además que: “la demanda del sector residencial, comercial y público está constituida principalmente por el autoconsumo realizado por el sector rural, que en general vive en condiciones de mayor pobreza y utiliza leña como fuente básica de energía”.

Es decir, un elemento central en el consumo de combustibles derivados de la madera en el sector residencial, comercial y

público sería el consumo del sector residencial rural, el cual depende de la cantidad de población y el consumo per cápita. En 1982 la población rural entre la IV y XII regiones era de 1,98 millones de personas, la cual aumentó a 2,15 millones en 1992, y se redujo a 1,97 millones en 2002 (INE 1982, INE 1992, INE 2002). Es decir, en algún momento entre 1992 y 2002 se produjo un máximo histórico de población rural en Chile, a partir del cual comenzó a reducirse (Figura 33). Es posible que la estabilización en el consumo per cápita de combustibles derivados de la madera a partir de 1997, tenga alguna relación con ese punto de inflexión.

<sup>12</sup> Consumo de combustibles derivados de la madera por parte de los sectores residencial, comercial y público dividido por la población total del país, para cada año.

Figura 33. Población rural en Chile en los censos de 1982, 1992 y 2002

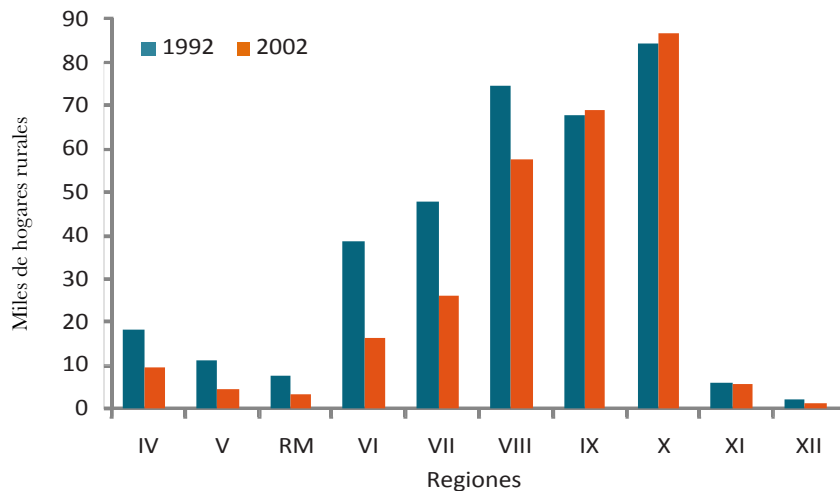


Fuente: elaboración propia en base a INE (1982), INE (1992) e INE (2002).

En 1992 un 69% de los hogares rurales entre la IV y XII regiones utilizaron combustibles derivados de la madera para cocinar. En las regiones VIII, IX, X y XI más del 80% de los hogares eran consumidores, mientras en las regiones IV, VI, VII y XII lo eran entre un 50% y 60%. Entre los censos de 1992 y 2002 se produjo una disminución de un 22% en los hogares rurales que utilizan combustibles derivados de la madera para cocinar (78.500 hogares) (Figura 34). Esta reducción fue muy fuerte entre las regiones IV y VII, y fuerte en la VIII. Más al sur las diferencias fueron leves. De esta forma, en 2002 un 51% de los hogares rurales seguían

cocinando con este tipo de combustibles, proporción que aumentaba por sobre un 80% entre las regiones IX y XI, y entre un 50% y 60% en las regiones VIII y XII. En el resto del país el porcentaje se redujo por debajo de un 30%. En general, se observan dos tendencias. Por un lado, un proceso de reemplazo de combustibles derivados de la madera para cocinar bastante rápido, en las áreas rurales entre la IV y VIII regiones, y por otro, la consolidación de un núcleo duro de consumo entre las regiones IX y XII, donde la tasa de reemplazo no supera el 0,5% anual

Figura 34. Consumo de combustibles derivados de la madera para cocinar y calentar agua en los censos de 1992 y 2002, en el sector residencial rural



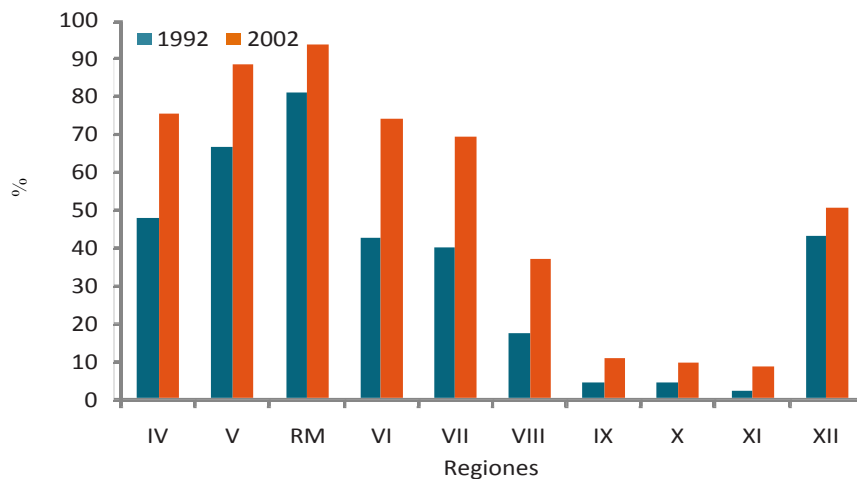
Fuente: elaboración propia en base a INE (1992) e INE (2002).



Gradualmente, los combustibles derivados de la madera están siendo reemplazados por gas licuado para cocinar. En 1992, sólo en dos regiones (V y Metropolitana) más del 50% de los hogares rurales cocinaban con gas licuado. En 2002, en cambio, ese

porcentaje se daba en seis regiones. Sin embargo, en las regiones IX, X y XI la leña sigue siendo la principal fuente de energía para cocinar, ya que más del 90% de los hogares rurales la prefieren (Figura 35) (INE 1992, INE 2002).

**Figura 35. Consumo de gas licuado para cocinar y calentar agua en los censos de 1992 y 2002, en el sector residencial rural**

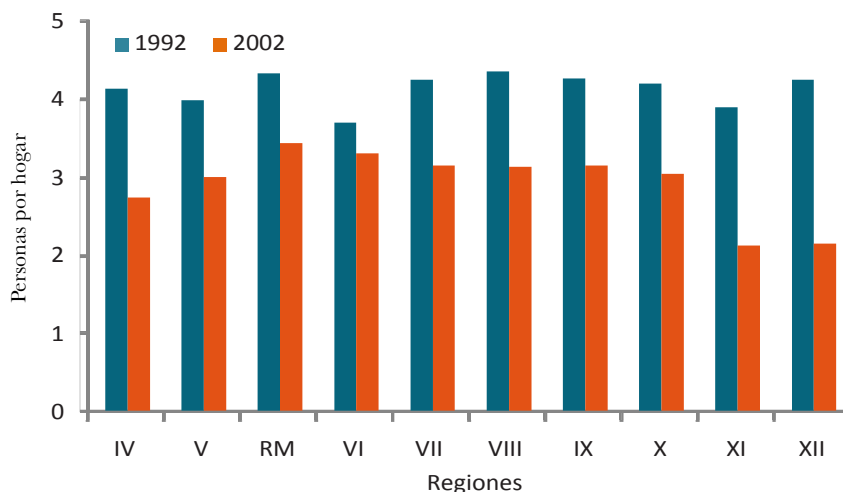


Fuente: elaboración propia en base a INE (1992) e INE (2002).

En un país frío y húmedo como Chile la importancia del consumo de combustibles derivados de la madera para cocinar, versus el volumen utilizado para calefaccionar, es menor y se reduce aún más en la medida que avanzamos hacia el sur. Por tanto, una disminución en la cantidad de hogares que utilizan estos combustibles para cocinar, tiene un mayor impacto en la zona central que en el sur del país, donde es común ver funcionando la cocina a leña independientemente de la cocina a gas, debido a las necesidades de calefacción, secado de ropa, entre otras. Otro elemento relevante que debe ser considerado en el análisis del consumo per cápita, ya sea en áreas rurales como urbanas,

es el aumento en la superficie construida por persona. En Chile el tamaño de las familias se ha reducido durante las últimas décadas, aumentando a la vez la superficie de las viviendas debido al mayor ingreso per cápita. En 1992 había 4,1 personas por hogar rural, mientras en 2002 había 2,9 personas, observándose reducciones más fuertes en las regiones XI y XII (Figura 36). Dado que la energía requerida para mantener cierta temperatura al interior del hogar es constante (o aumenta, en la medida que las viviendas se agrandan), el consumo de combustibles derivados de la madera por persona también aumenta.

**Figura 36. Cantidad de personas por hogar rural en los censos de 1992 y 2002**



Fuente: elaboración propia en base a INE (1992) e INE (2002).

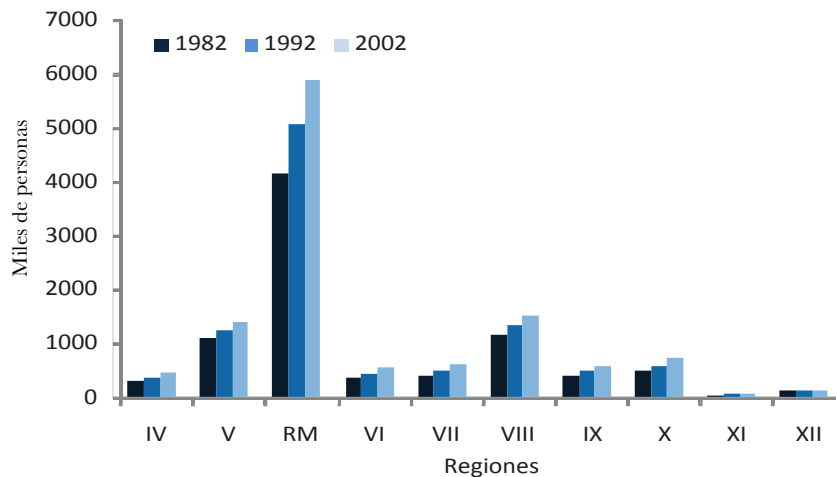


**Ruma de leña larga entregada para consumo residencial.**

El sector residencial urbano también es un componente importante del consumo de combustibles derivados de la madera del sector residencial, comercial y público, el cual se ha incrementado como respuesta a un aumento en la población urbana y un incremento

en el consumo per cápita. En 1982 la población urbana entre la IV y XII regiones era de 8,5 millones, lo cual aumentó a 10,2 millones en 1992, y posteriormente a 12,0 millones en 2002 (INE 1982, INE 1992, INE 2002) (Figura 37).

**Figura 37. Población urbana en Chile en los censos de 1982, 1992 y 2002**



Fuente: elaboración propia en base a INE (1982), INE (1992) e INE (2002).

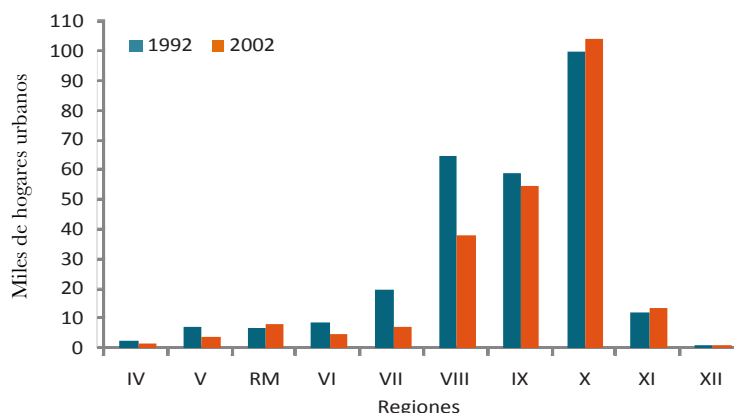
En 1992 un 11% de los hogares urbanos entre la IV y XII regiones utilizaron combustibles derivados de la madera para cocinar. Entre las regiones IX y XI la proporción estaba sobre un 50% (66% en la XI Región), mientras que en las regiones VII y VIII fluctuaba en torno a un 20%. En el resto del país la proporción era poco significativa.

Entre los censos de 1992 y 2002 los hogares urbanos que utilizaban combustibles derivados de la madera para cocinar disminuyó en un 16% (44.400 hogares) (Figura 38). Esta reducción fue muy fuerte en las regiones VI, VII y VIII. Hacia el norte y el sur las diferencias fueron leves, incluyendo aumentos del 4% y 12% en la cantidad de hogares urbanos que utilizan estos combustibles, en las regiones X y XI (INE 1992, INE 2002).

De esta forma, en 2002 sólo un 7% de los hogares urbanos seguían cocinando con este tipo de combustibles, proporción que aumentaba por sobre un 50% en las regiones X y XI, y en torno a un 30% en la IX región. En el resto del país la proporción fue poco significativa.

En general, se observa una tendencia muy clara de reemplazo de combustibles derivados de la madera para cocinar en áreas urbanas. Entre las regiones IV y VIII, y en la XII, el proceso está casi terminado, mientras que entre la IX y XI regiones avanza a una tasa del 2% anual. Nuevamente, las regiones X y XI aparecen como las zonas más “persistentes” en términos del uso de combustibles derivados de la madera.

**Figura 38. Consumo de combustibles derivados de la madera para cocinar y calentar agua en los censos de 1992 y 2002, en el sector residencial urbano**



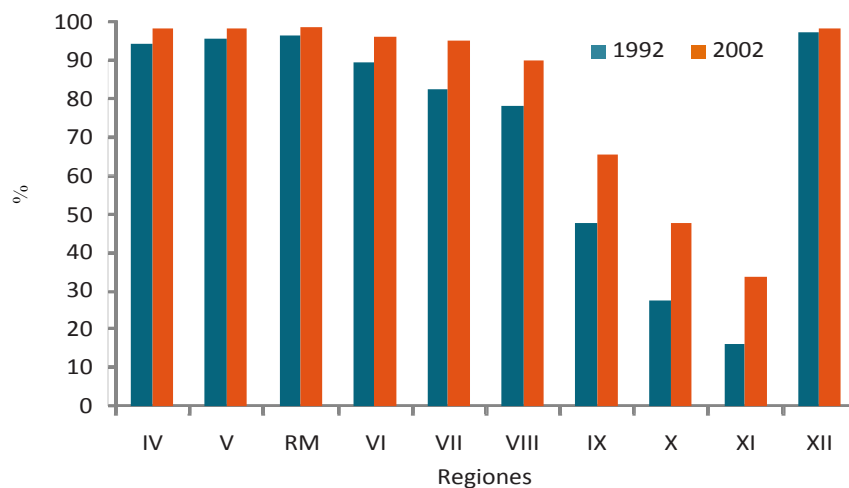
Fuente: elaboración propia en base a INE (1992) e INE (2002).

En áreas urbanas es mucho más claro el reemplazo de combustibles derivados de la madera por gas licuado. Ya en 1992, siete regiones tenían porcentajes altísimos de consumo de gas licuado (más del 70% de los hogares), lo cual se incrementó a ocho regiones en 2002 (INE 1992, INE 2002). Se espera que al 2012 sólo una región del país mantenga proporciones relativamente altas de consumo de combustibles derivados de la madera para cocinar (XI región).

En áreas urbanas, el abandono de los combustibles derivados de

la madera para cocinar no ha significado una reducción en los niveles de consumo, ya que las necesidades de calefacción siguen siendo muy importantes, en especial en las regiones del sur. Sin embargo, esta focalización de la demanda hacia la generación de calor ha implicado un cambio en los equipos de combustión utilizados por el sector residencial urbano. Atrás quedaron las cocinas a leña, los fogones y las salamandras. Poco a poco se han ido consolidando los equipos de combustión lenta, especialmente en los hogares de estratos socioeconómicos medio y alto.

**Figura 39. Consumo de gas licuado para cocinar y calentar agua en los censos de 1992 y 2002, en el sector residencial urbano**

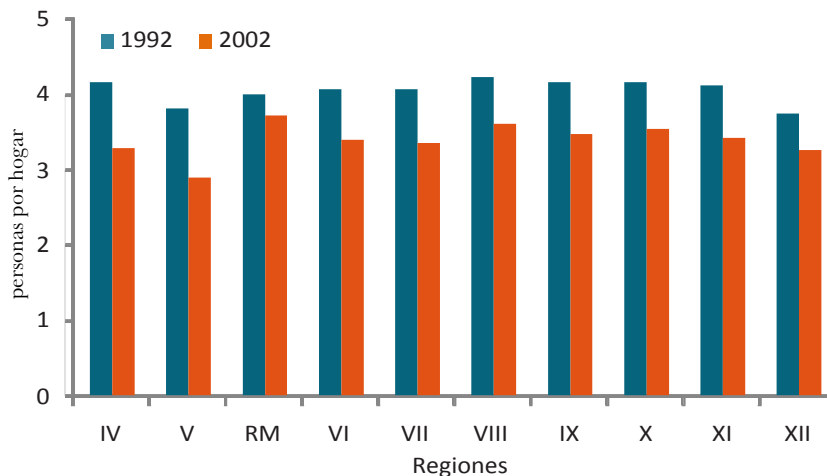


Fuente: elaboración propia en base a INE (1992) e INE (2002).

En áreas urbanas el tamaño de las familias también se ha reducido durante las últimas décadas. Si en 1992 una familia promedio tenía 4 integrantes, en 2002 se redujo a 3,4. Los cambios más fuertes se observan en las regiones IV y V, donde el consumo de biomasa forestal es poco importante. En el sur del país la reducción

fluctuó entre 0,6 y 0,7 personas por familia. Es importante destacar que la reducción en el tamaño de las familias fue mucho más suave en el sector urbano que en el rural, lo cual refleja de alguna forma el proceso de migración rural-urbano que se produjo durante el periodo (Figura 40).

**Figura 40. Cantidad de personas por hogar urbano en los censos de 1992 y 2002**



Fuente: elaboración propia en base a INE (1992) e INE (2002).

### a) Sector residencial rural

Existe poca información sobre el consumo de combustibles derivados de la madera en el sector residencial rural. INFOR (1994) menciona que un 94% de los hogares rurales de la V región utilizaban biomasa forestal, porcentaje que llegó al 100% entre las regiones IX y XI. Éstas son las únicas estimaciones regionales disponibles, ya que el resto de los estudios están acotados a comunidades específicas. Desafortunadamente, en los últimos 20 años no se han realizado estudios de alcance regional o nacional para caracterizar el consumo de combustibles derivados de la madera en el sector residencial rural.

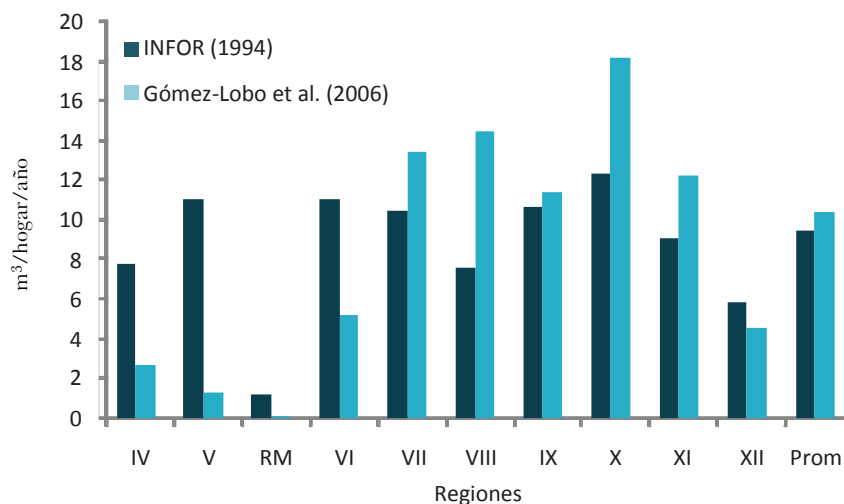
Al mismo tiempo, INFOR (1994) señala que sólo un 24% de los hogares urbanos de la V región utilizaban combustibles derivados de la madera, porcentaje que llegó al 93% y 99% en las regiones IX y X. Es decir, si se comparan los porcentajes rurales y urbanos se establece una relación de casi 1:4 entre la proporción de hogares urbanos y rurales que utilizan esta fuente de energía en la V región. Cosa que no ocurre en las regiones del sur. Esto muestra que el proceso de reemplazo de los combustibles derivados de la madera comienza en las ciudades, para luego expandirse por las áreas rurales. Sin embargo, no es un proceso parejo, ya que no

avanza a la misma velocidad en todas las regiones, ni tampoco es definitivo, ya que pasado cierto umbral esta fuente de energía vuelve a ser utilizada por los hogares urbanos.

Esta dinámica urbano - rural en el consumo de combustibles derivados de la madera es una de las principales causas de las enormes diferencias en el consumo per cápita que se observan desde la VIII región al norte. Al respecto, Gómez-Lobo et al. (2006) muestran que en general, el consumo per cápita del sector residencial rural es mayor que el urbano, pudiendo ser 10 o 20 veces superior, como ocurre en las regiones IV, V y Metropolitana. Entre las regiones VI y VIII es entre 6 y 9 veces mayor, mientras que en las regiones IX y X lo es entre 3 y 5 veces. En la zona austral (XI y XII regiones) prácticamente no hay diferencias entre ambos sectores.

Por otra parte, la Figura 41 muestra la evolución que ha tenido el consumo de combustibles derivados de la madera en el sector residencial rural. En 1992, el consumo promedio fue de 9,3 m<sup>3</sup>/hogar/año, mientras en 2003 fue de 10,4 m<sup>3</sup>/hogar/año. En general, se observa un aumento en los niveles de consumo desde la VII región al sur, a excepción de la XII región, donde existe disponibilidad de gas natural a bajo costo (abastecimiento subsidiado por el Estado).

Figura 41. Consumo de combustibles derivados de la madera en el sector residencial rural



Fuente: elaboración propia en base a INFOR (1994), Gómez-Lobo et al. (2006), INE (1992) e INE (2002).

En la Figura 41 se observa que los máximos niveles de consumo no se producen en la XI región, como se podría esperar, sino que en la X región. Esto podría deberse al carácter más lluvioso de esta, y/o a la menor calidad de la madera utilizada como combustible. En la X región los bosques están más alterados que en la XI región, existiendo una menor disponibilidad de maderas densas. Por esta razón, la población requeriría un mayor volumen para satisfacer sus necesidades.

En 1992 el consumo rural en la IV región fue de 7,8 m<sup>3</sup>/hogar/año, mientras en la X región fue 12,4 m<sup>3</sup>/hogar/año (INFOR 1994, INE 1992). En 2003, en cambio, el consumo rural en la IV región se redujo a 2,8 m<sup>3</sup>/hogar/año, mientras en la

X región aumentó a 18,2 m<sup>3</sup>/hogar/año (Gómez-Lobo et al. 2006, INE 2002). Es decir, la diferencia entre los valores extremos de ambos periodos se más que se triplicó entre 1992 y 2003. Al analizar las cifras de ambos estudios, se observa que entre la IV y VI regiones se produjo una reducción en el consumo, mientras desde la VII región al sur hubo un incremento. Llama la atención la magnitud de las reducciones, así como algunos incrementos. Sin embargo, y dado la mala calidad de la información disponible para estimar el consumo de combustibles derivados de la madera en el sector residencial rural, es importante considerar estas cifras sólo como referencias.

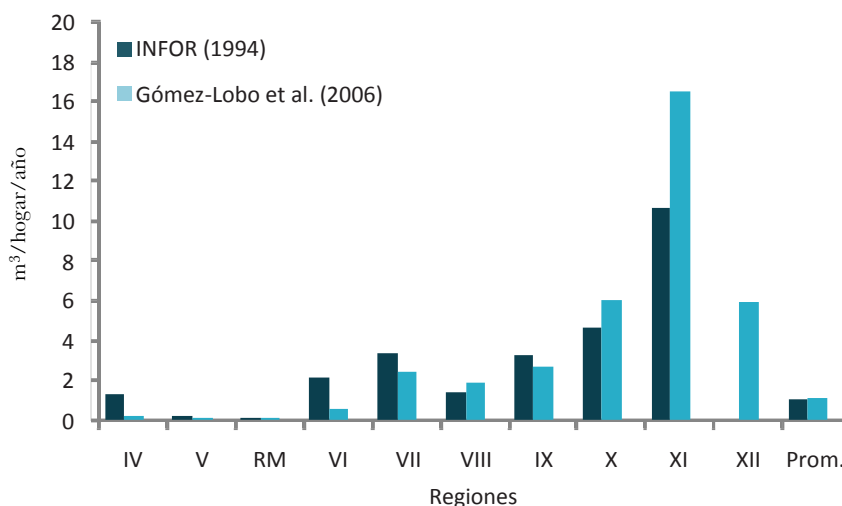
**b) Sector residencial urbano**

Los estudios realizados sobre el consumo de combustibles derivados de la madera en Chile se han orientado preferentemente a medir el consumo urbano, razón por la cual hay una mayor cantidad de información, especialmente desde la IX región al sur. De hecho, en ciudades como Temuco, Valdivia y Puerto Montt es posible encontrar 2 o 3 estudios distintos durante las últimas dos décadas.

La Figura 42 muestra la evolución que ha tenido el consumo de combustibles derivados de la madera en el sector residencial

urbano. En 1992, el consumo nacional promedio fue 1.1 m<sup>3</sup>/hogar/año<sup>13</sup>, observándose un aumento gradual desde la VI región al sur. INFOR (1994) omite el consumo residencial urbano en la XII región, debido a que supuso que la disponibilidad de gas natural, a bajo costo, anulaba la demanda de biomasa forestal. También se observa un menor volumen de consumo en la VIII región, el cual se debe a que gran parte de la población urbana está concentrada en el borde costero, donde las temperaturas son más moderadas. Además, en varias ciudades costeras de esa región se utiliza carbón mineral para calefacción, lo cual reduciría el consumo de biomasa.

**Figura 42. Consumo de combustibles derivados de la madera en el sector residencial urbano**



Fuente: elaboración propia en base a INFOR (1994), Gómez-Lobo et al. (2006), INE (1992) e INE (2002).

INFOR (1994) estima que el consumo de combustibles derivados de la madera en 1992 fluctuó entre 1,3 m<sup>3</sup>/hogar/año en la IV región, y 10,7 m<sup>3</sup>/hogar/año en la XI región (INFOR 1994, INE 1992). Las regiones V y Metropolitana presentaron un volumen de consumo menor que la IV región, debido a que en las primeras existen grandes centros urbanos con bajos niveles de consumo.

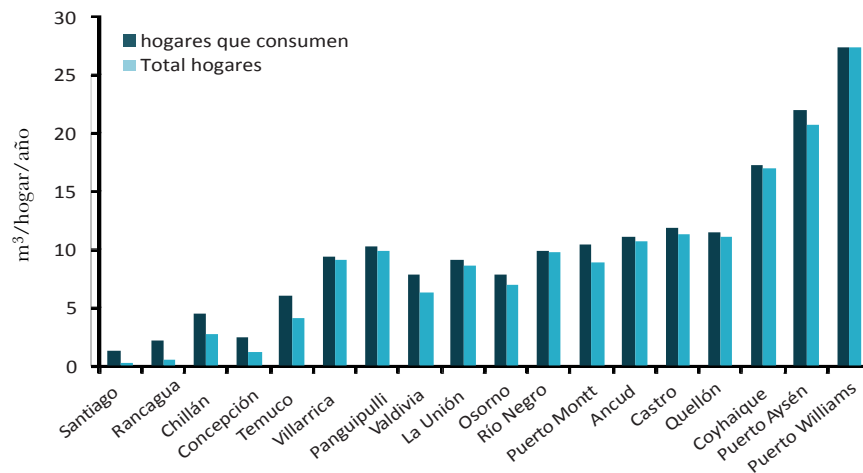
En 2003, el consumo nacional promedio fue similar a 1992, con 1,1 m<sup>3</sup>/hogar/año. Sin embargo, se produjeron fuertes reducciones en los volúmenes de consumo entre la IV y VII regiones, e incrementos significativos desde la VIII región al sur. En la IV región el consumo fue 0,2 m<sup>3</sup>/hogar/año, mientras en

la XI región fue 16,5 m<sup>3</sup>/hogar/año (Gómez-Lobo et al. 2006, INE 2002).

La Figura 43 muestra el consumo de combustibles derivados de la madera por hogar, desde Santiago a Puerto Williams. Las barras oscuras muestran el consumo medio, considerando sólo los hogares que utilizan biomasa forestal, mientras que las barras claras reflejan el consumo medio considerando el total de hogares de cada ciudad. Los hogares santiaguinos que consumen esta fuente de energía utilizan 1 m<sup>3</sup>/hogar/año, mientras que en Puerto Williams se emplean 27 m<sup>3</sup>/hogar/año, reflejando los casi 3 mil kilómetros que existen entre ambas ciudades.

<sup>13</sup> Valor estimado a partir del consumo total de combustibles derivados de la madera del sector residencial urbano, y el número total de hogares urbanos entre la IV y XII regiones al año 1992.

**Figura 43. Consumo de combustibles derivados de la madera en las principales ciudades del centro y sur de Chile**

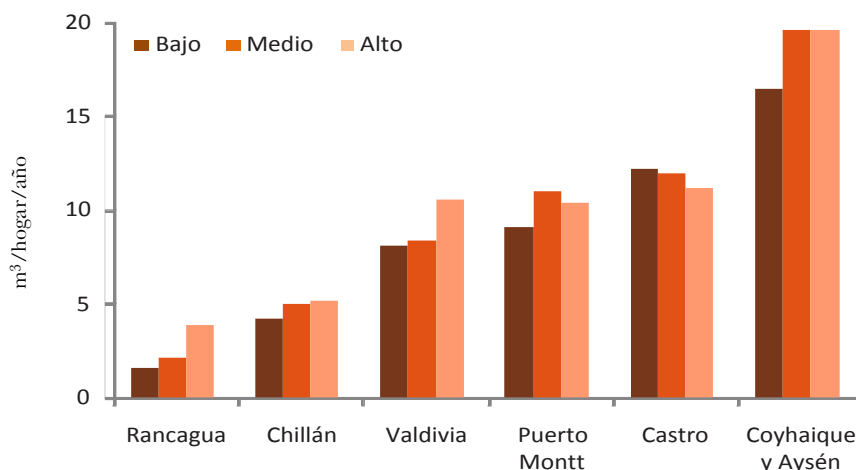


Fuente: elaboración propia en base a Gómez-Lobo et al. (2006), INFOR (2005a), CONAF (2001), INFOR (2005b), Universidad de Concepción (2002), Universidad de Concepción (2005), Jaramillo (no registra año), Vergara y Badilla (2009), Universidad de Chile (2005), Neira e Iturriaga (2009), Siemund (2004), INFOR (2004) y Romero y Cruz (2009).

En aquellos hogares que consumen combustibles derivados de la madera, los volúmenes de consumo son mayores en los estratos socioeconómicos altos. Esto se debe a su poder adquisitivo y a

sus mayores necesidades energéticas (tamaño de las viviendas, cantidad de equipos de combustión, presencia permanente en la casa, etc.) (Figura 44).

**Figura 44. Consumo de combustibles derivados de la madera por estrato socioeconómico**



Fuente: elaboración propia en base a INFOR (2005a), INFOR (2005b), Reyes y Frenc (2006), Neira e Iturriaga (2009), Siemund (2004) e INFOR (2004).

Por otra parte, el porcentaje de hogares urbanos que consumen combustibles derivados de la madera se incrementa de norte a sur. En Rancagua (VI región) un 25% de los hogares consume esta fuente de energía (INFOR 2005a), mientras que en Chillán y Concepción (VIII región) un 61% y 48%, respectivamente (INFOR 2005b, Universidad de Concepción 2005). En Temuco (IX región) un 69% de los hogares consumen biomasa forestal

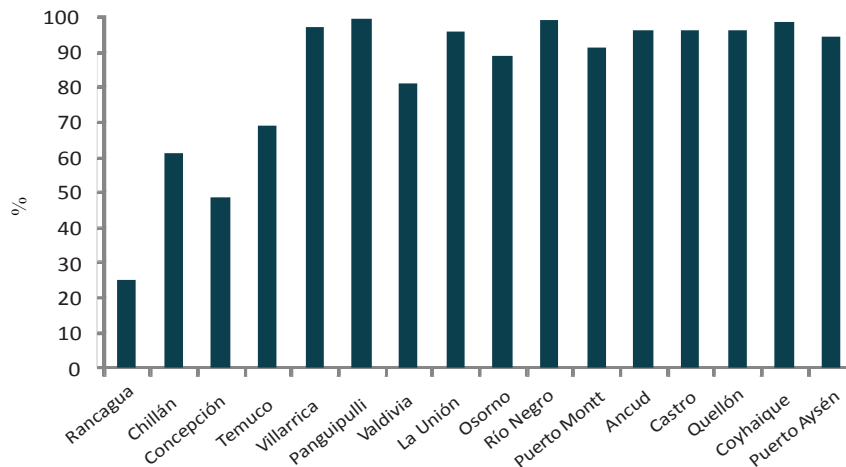
(Universidad de Concepción 2002), en Valdivia un 81%, en Osorno un 89% y en Puerto Montt un 91% (X región) (Universidad de Chile 2005, Neira e Iturriaga 2009). En Ancud, Castro y Quellón se llega al 96% (Siemund 2004), mientras que en Coyhaique y Aysén (XI región) a un 98% y 94%, respectivamente (INFOR 2004) (Figura 45).



Estufa a leña de combustión lenta. Estos equipos se instalan regularmente en el living de la casa.



**Figura 45. Consumo de combustibles derivados de la madera en las principales ciudades del centro y sur de Chile**

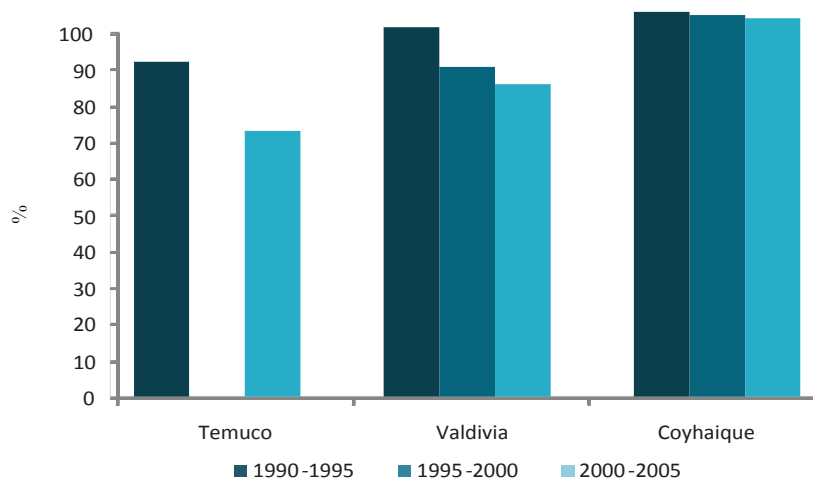


Fuente: elaboración propia en base a INFOR (2005a), INFOR (2005b), Universidad de Concepción (2005), Universidad de Concepción (2002), Jaramillo (no registra año), Vergara y Badilla (2008), Universidad de Chile (2005), Neira e Iturriaga (2009), Siemund (2004), INFOR (2004).

El clima es uno de los principales factores que inciden en el consumo de combustibles derivados de la madera. Tanto el volumen por hogar como la cantidad de hogares que utilizan esta fuente de energía se incrementan hacia las regiones frías. Sin embargo, los gradientes de temperatura no se producen solamente en el sentido latitudinal, sino también longitudinal y altitudinal. En el caso de la VIII región, por ejemplo, se observa un consumo mucho más expandido en Chillán (61%) que en Concepción (48%), ciudad que tiene un clima más templado debido a su cercanía al mar. En Temuco, un 69% de los hogares urbanos consumen biomasa forestal, mientras que en Lonquimay, ubicada en la misma región pero en medio de la Cordillera de Los Andes, se llega a un 100% (PRODEFOR Lonquimay 2007).

Ábalos (1997) confirma esta regla al señalar que en la IX región el consumo per cápita de combustibles derivados de la madera, en el sector residencial urbano, es de 0,91 m<sup>3</sup>/año en el litoral, 1,2 m<sup>3</sup>/año en el valle central y 2,4 m<sup>3</sup>/año en la cordillera. Por otra parte, la cantidad de hogares que consumen esta fuente de energía se reduce a través del tiempo. En la Figura 46 se observa que en el periodo 1990-1995, más de un 85% de los hogares de la ciudad de Temuco utilizaban combustibles derivados de la madera, lo cual se había reducido a menos de un 70% en el periodo 2000-2005. En Valdivia se ve algo similar. La cantidad de hogares que usan biomasa forestal cayó de casi un 100% a un 80%. En Coyhaique las variaciones fueron mucho más suaves, pero siguen la misma tendencia.

**Figura 46. Consumo de combustibles derivados de la madera a través del tiempo, en el sector residencial urbano**



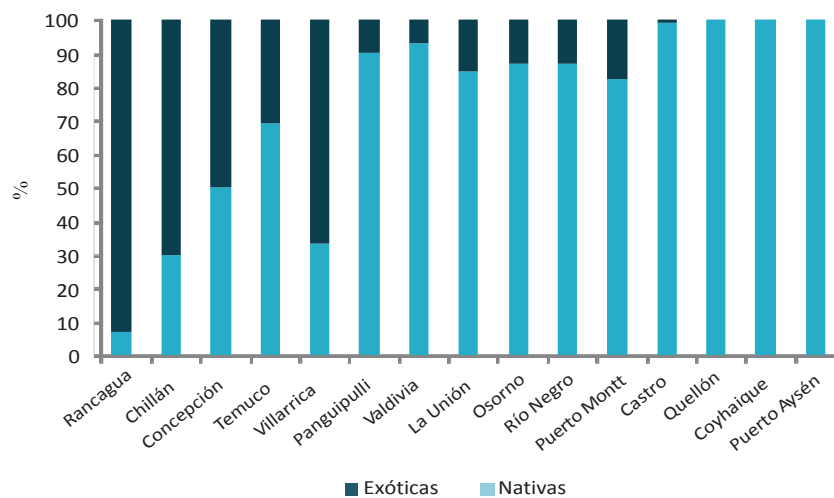
Fuente: elaboración propia en base a Ábalos (1997), Universidad de Concepción (2002), Sáez y Scholz (1998), Universidad de Chile (2005), INFOR (2004) y Sáez (1995).

Un 100% de la madera utilizada con fines energéticos en Coyhaique (XI región) proviene del bosque nativo, mientras que en Rancagua (VI región) proviene casi en su totalidad de plantaciones (pino, aromo, eucalipto y frutales) (Figura 47). El consumo del sector residencial urbano es mucho más “exigente” o especializado que el sector rural. En el campo se utiliza de todo, mientras que en la ciudad hay preferencias marcadas por ciertas especies.

En Coyhaique, capital de la Patagonia Chilena, reina la lenga (*Nothofagus pumilio*) y el ñirre (*Nothofagus antarctica*). En Chiloé todo es tepú (*Tepualia stipularis*) y luma (*Amomyrtus luma*), tendencia que se mantiene hasta Puerto Montt. Tras las tierras

del tepú comienza el reino del ulmo (*Eucryphia cordifolia*), que engeuce a puertomontinos, valdivianos y especialmente a osorninos. En Purranque aparece el roble (*Nothofagus obliqua*), compañero silencioso de agricultores y ganaderos, formando bosques de segundo crecimiento que se extienden a través de valles y colinas. Un 79% de la madera que se utiliza con fines energéticos en la ciudad de Temuco proviene de esta especie. Sin embargo, el roble no tiene límites en su solidaridad con el ser humano. Se extiende por la Cordillera de Los Andes hacia el norte, abasteciendo un 64% de las necesidades de Chillán (VIII región), y un volumen relevante en Talca (VII región).

Figura 47. Consumo de especies nativas y exóticas en el sector residencial urbano



Fuente: INFOR (2005a), CONAF (2001), INFOR (2005b), Universidad de Concepción (2002), Universidad de Concepción (2005), Vergara y Badilla (2009), Universidad de Chile (2005), Neira e Iturriaga (2009), Neira y Bertín (2009) e INFOR (2004).

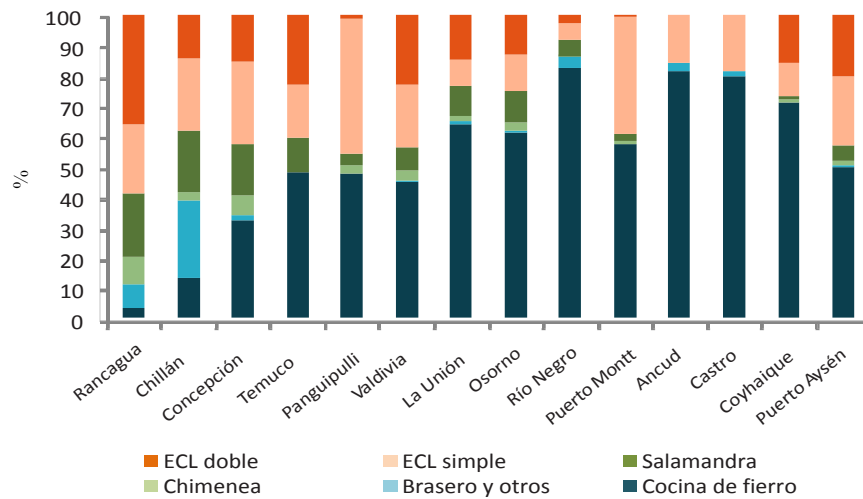
Las familias tienen distintos tipos de equipos de combustión para satisfacer sus necesidades de calefacción y cocina. Históricamente, las familias de estratos socioeconómicos más bajos empleaban fogones, salamandras y equipos “hechizos” para calefacción, y en el mejor de los casos cocinas a leña, mientras las familias más acomodadas usaban chimeneas y cocinas a leña. Todos estos equipos con una eficiencia menor a un 35%.

En la medida que los combustibles derivados de la madera han sido reemplazados por gas para cocinar, las cocinas a leña han comenzado a ser reemplazadas por estufas de combustión lenta (cámara simple o doble). Éstas tienen una eficiencia mayor a un 60%, aumentando en cantidad durante las últimas dos décadas. Por otra parte, fogones, salamandras y chimeneas también están

siendo reemplazadas por equipos más modernos, en la medida que los ingresos de las familias lo permiten y se toma conciencia del despilfarro energético y la contaminación ambiental asociada a los viejos equipos de combustión.

A pesar del proceso de modernización de los equipos de combustión a leña, las cocinas siguen siendo el principal artefacto existente en las ciudades chilenas, seguidas por las estufas de combustión lenta (cámara simple o doble) (Figura 48). Sin embargo, en la zona central del país las cocinas han perdido importancia, representando menos del 30% del total de equipos desde la VIII región al norte. En esa zona del país las estufas de combustión lenta (cámara simple o doble) son los equipos más abundantes.

Figura 48. Equipos de combustión utilizados en el sector residencial urbano



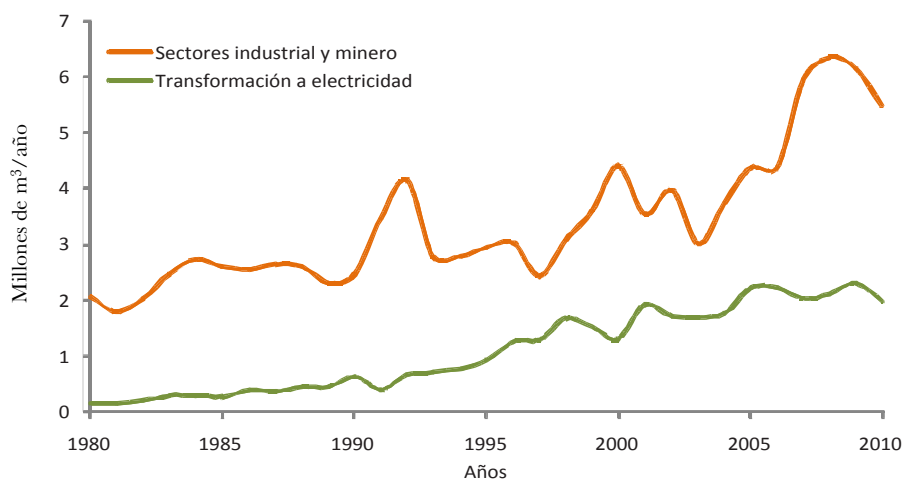
Fuente: INFOR (2005a), CONAF (2001), INFOR (2005b), Universidad de Concepción (2002), Universidad de Concepción (2005), Vergara y Badilla (2009), Universidad de Chile (2005), Neira e Iturriaga (2009), Neira y Bertín (2009) e INFOR (2004).

#### 4.2. Sectores industrial, minero y eléctrico

Los sectores industrial, minero y eléctrico se han convertido en grandes consumidores de combustibles derivados de la madera, con casi la mitad del consumo nacional, alcanzando 8,4 millones de metros cúbicos anuales en 2008 (6,3 millones los sectores industrial y minero y 2,1 el sector eléctrico).

A diferencia de lo observado en los sectores residencial, comercial y público, el consumo de biomasa forestal por parte de los sectores industrial y minero es mucho más inestable, con grandes saltos entre un año y otro (Figura 49). En el sector eléctrico, en cambio, el consumo es más estable debido a las características propias del sector.

Figura 49. Consumo de combustibles derivados de la madera en el sector industrial, minero y eléctrico

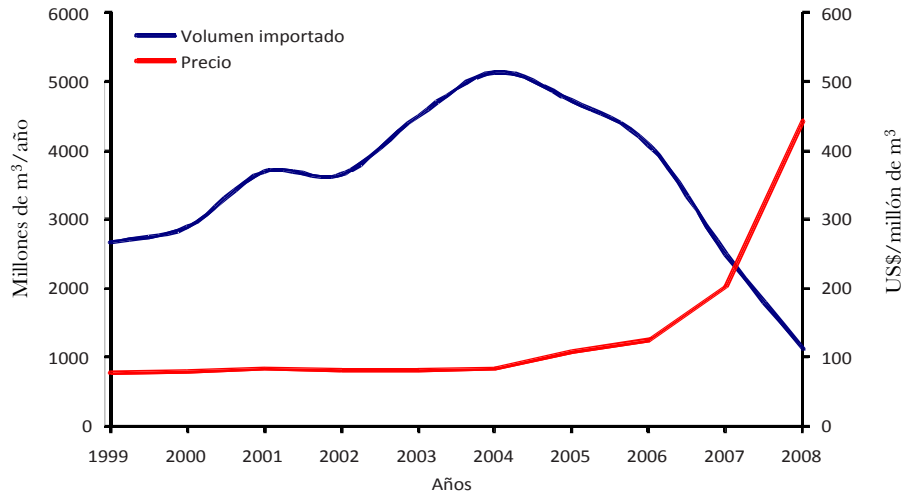


Fuente: elaboración propia en base a CNE (2011a).

No hay total claridad sobre las causas que generan estas enormes variaciones interanuales. Sin embargo, al menos desde el 2004 en adelante, éstas podrían estar relacionadas al incremento en

el precio del gas natural argentino asociado a la disminución gradual de los envíos. La Figura 50 muestra esa situación.

Figura 50. Relación entre el volumen importado y el precio del gas natural argentino

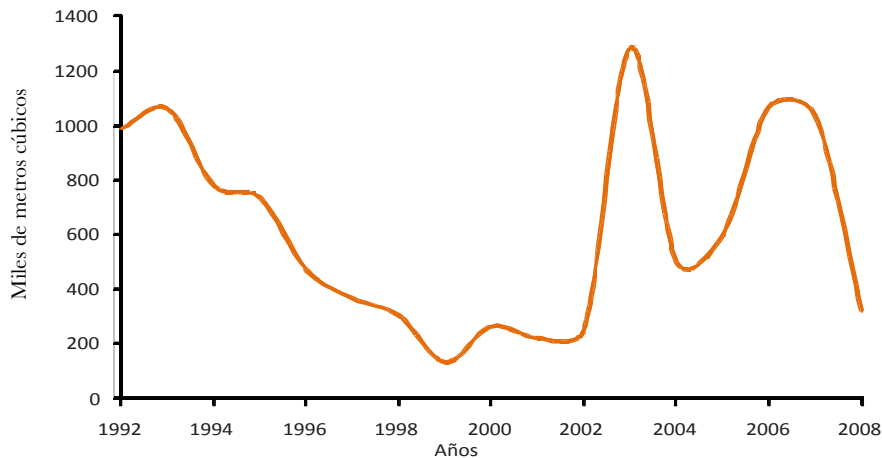


Fuente: elaboración propia en base a CNE (2011b).

La Encuesta Nacional Industrial Anual (ENIA) aplicada por el Instituto Nacional de Estadísticas, muestra que en las industrias con más de 50 trabajadores, el consumo de combustibles derivados de la madera después del 2002 aumentó fuertemente (Figura 51).

El alto precio de los combustibles fósiles parece estar influyendo en esta situación. De hecho, es frecuente observar en el centro y sur de Chile proyectos de recambio de calderas con el fin de utilizar biomasa forestal como fuente de energía.

Figura 51. Consumo industrial de leña en establecimientos con más de 50 trabajadores

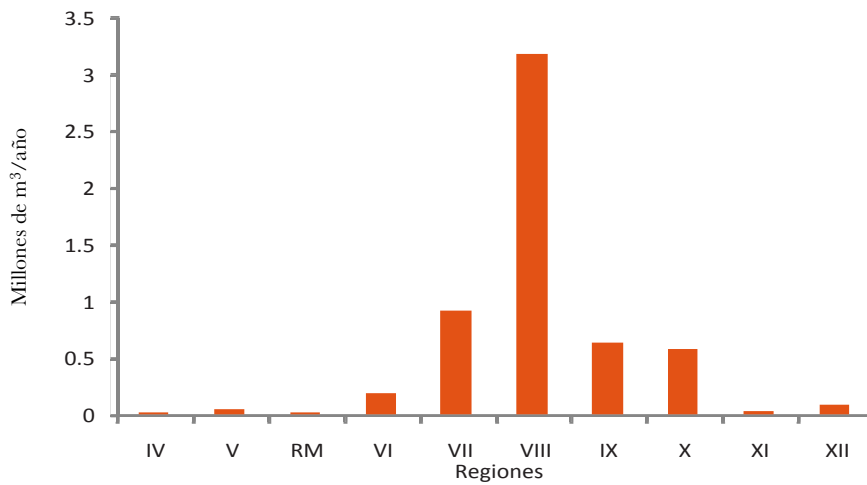


Fuente: elaboración propia en base a INE (2011).

Los principales sectores de la industria que consumen combustibles derivados de la madera son los siguientes: a) fabricación de papel y productos de papel (32%), b) fabricación de productos de madera, corcho, paja y materiales trenzables (24%), c) producción, procesamiento y conservación de carne, pescados, frutas y legumbres (22%), d) elaboración de productos alimenticios (8%), e) productos de molinería, almidones y derivados, y de alimentos para animales (5%) y f) elaboración de productos lácteos (4%).

El sector industrial, minero y eléctrico utiliza leña, pero también desechos de la industria forestal. La VIII región genera el 57% de los desechos industriales, mientras que la VII, IX y X sólo el 16%, 11% y 10%, respectivamente (Figura 52). El 57% de los desechos se comercializan, el 34% se auto-consumen, el 6% se regala y el 4% restante se acumula en aserraderos, plantas de celulosa u otros establecimientos que procesan madera.

Figura 52. Producción regional de desechos industriales madereros



Fuente: elaboración propia en base a INFOR (2007).

### 5. Conclusiones

El aumento en el precio internacional del petróleo es un hecho innegable. Todas las proyecciones indican además que se va a acentuar durante los próximos años. En tanto, el gas natural y el carbón mineral aparecen como los mejores sustitutos para Chile, a pesar de que no somos productores. Sin embargo, todos los países del mundo han pensado más o menos lo mismo, por tanto la demanda adicional ha incrementado también los precios de esas fuentes de energía.

Es así como las fuentes de energía renovable aparecen como una buena alternativa para suplir los déficit, que poco a poco van a comenzar a ser más evidentes en nuestra matriz. El uso masivo de energías renovables es un tema de tiempo. El tiempo que le tome al precio del carbón mineral subir por las nubes. Pero, ¿por qué esperar? ¿Por qué no anticiparse para liderar un proceso que parece inevitable? Cuando la oferta se vio restringida, el precio del petróleo aumentó en pocos meses (incluso semanas). Una regla de oro en los negocios, y en muchos otros ámbitos, dice que “el que llega primero establece ventajas que a la larga son claves para consolidarse”. Pues bien, tenemos el mercado de las energías renovables delante de nuestros ojos y no estamos haciendo nada. Hoy, menos del 0.2% de nuestra matriz de energía primaria proviene de energías renovables no convencionales. Sin embargo, el hermano pobre de las energías, el abuelo, el que ha estado acompañando a la humanidad por milenios, sigue ahí. La madera satisface hoy un 19% de nuestras necesidades energéticas. A diferencia del gas natural, el carbón mineral y la electricidad, cuyo consumo está altamente concentrado en el sector industrial y minero, la madera es la fuente de energía más importante del sector residencial junto con la parafina y el gas licuado (los dos últimos derivados del petróleo). Por eso llama la atención la indiferencia del gobierno con respecto a estos temas, lo cual

contrasta con la activa política pro-termoeléctricas que ha existido en estos años (Ej. Campiche). ¿Será que están gobernando para las mineras?

Los combustibles derivados de la madera siguen siendo muy importantes en Chile. Sin embargo, no existen estadísticas apropiadas ni una institución con las atribuciones, presupuestos, etc., para monitorear aspectos claves de su producción, distribución y consumo. Este capítulo se elaboró con mucha dificultad, dada la imprecisión de la información disponible (incluyendo las cifras oficiales) y la dispersión de los estudios. Ni siquiera las instituciones del sector forestal han desarrollado líneas de trabajo permanentes en torno a este tema, a pesar del enorme potencial que tiene para el futuro del sector.

Los combustibles derivados de la madera son una fuente de energía de futuro, tal y como se observa en países como Finlandia, Suecia, Alemania y Austria. De hecho, en Chile ya es posible observar esa transición entre el uso precario e ineficiente de la biomasa y un uso mucho más moderno. Sin embargo, dicho proceso se está dando sin políticas. Nadie guía hoy el desarrollo de la dendroenergía. Hay muchos aspectos pendientes, como la degradación de los bosques nativos o la contaminación del aire asociado al uso precario e ineficiente de la leña, que requieren políticas.

En un país montañoso como Chile, con poco suelo arable, los bosques y las plantaciones forestales son (y pueden serlo aún más) un recurso natural abundante. Dado además que los bosques nativos cumplen una serie de otros servicios ambientales, como el resguardo de la biodiversidad, la protección de las aguas, la fijación de dióxido de carbono, etc., el desarrollo de los combustibles derivados de la madera bajo un esquema de manejo forestal sustentable, tiene ventajas evidentes. El desarrollo armónico de la dendroenergía permite cumplir con varios objetivos, que han sido difíciles de cumplir, al mismo tiempo.

Además, el reemplazo gradual de combustibles fósiles por madera tiene ventajas macro y microeconómicas. La primera de ellas es la balanza comercial. Dejamos de comprar afuera para producir dentro. La segunda tiene que ver con el empleo, especialmente en zonas económicamente deprimidas como la VIII, IX, XIV y X regiones. El efecto sobre el empleo es notable, tanto en áreas rurales como urbanas. El desarrollo tecnológico que hay en torno a la utilización de combustibles derivados de la madera es también un aspecto a considerar.

El consumo de combustibles derivados de la madera por parte del sector industrial también es un tema importante. El impacto de sustituir combustibles fósiles por biomasa forestal sobre los bosques podría ser muy negativo sobre éstos, no existe el marco regulatorio y los incentivos adecuados. Cada industria requiere

miles de metros cúbicos cada año, generando una presión adicional sobre bosques, suelos y plantaciones circundantes. Si ese proceso se realiza de manera inorgánica, podríamos observar en las próximas décadas suelos agrícolas o ganaderos altamente productivos, cubierto por plantaciones de eucaliptus u otros cultivos forestales, con un efecto nocivo sobre el precio de los alimentos. También podríamos ver reemplazo de bosques nativos por plantaciones, o un efecto negativo en el mercado de la madera (aserraderos, plantas de tableros, etc.).

Considerando este escenario, el mercado de los combustibles derivados de la madera requiere una mayor atención por parte de nuestras autoridades. No puede ser que la tercera fuente de energía más importante de nuestro país se encuentre en este nivel de abandono.

## 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. 115 p.
- AIFBN (Agrupación de Ingenieros Forestales por el Bosque Nativo). 2007. Bases de datos proyecto "Leña, energía renovable para la conservación de los bosques nativos del sur de Chile".
- Ajanovic, A. Biofuels versus food production: Does biofuels production increase food prices?. *Energy* (2010), doi:10.1016/j.energy.2010.05.019 (in press)
- Banco Central de Chile. 2009. Series de indicadores (disponible en <http://www.bcentral.cl/estadisticas-economicas/series-indicadores/index.htm>).
- Bello, A. 2003. Aspectos sociales y culturales involucrados en la producción, consumo y uso de la leña. In: Burschel, H., A. Hernández y M. Lobos (eds.). *Leña: una fuente energética renovable para Chile*. Editorial Universitaria, Santiago, pp 27-40.
- Bertrán, J. y E. Morales. 2008. Potencial de biomasa forestal. Potencial de generación de energía por residuos del manejo forestal en Chile. Proyecto Energías Renovables No Convencionales en Chile. Comisión Nacional de Energía - Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit. 56 p (disponible en <http://www.gtz.de/de/dokumente/sp-chile-potencial-biomasa-forestal.pdf>).
- CNE (Comisión Nacional de Energía). 2011. Hidrocarburos. Precios (disponible en [http://www.cne.cl/cnewww/opencms/06\\_Estadisticas/energia/Hidrocarburos.html](http://www.cne.cl/cnewww/opencms/06_Estadisticas/energia/Hidrocarburos.html)).
- CDP (Consejo de Defensa de la Patagonia). 2011. Patagonia chilena ¡sin represas! (disponible en <http://www.patagoniasinrepresas.cl/final/quienes-somos.php>).
- CONAF (Corporación Nacional Forestal). 2001. El mercado actual de productos del "bosque nativo maulino". Recopilación de antecedentes relativos a la comercialización de los productos provenientes del bosque nativo regional. 58p.
- Del Pino, R. 2008. Experiencia empresarial pellets de madera. Presentación en Expo CORMA 2008 (disponible en <http://www.cormabiobio.cl/expo2008/www/presentaciones/Expositores%20Silvotecna%20pdf/Ramon%20del%20Pino.pdf>).
- DGF (Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile). 2011. *Atmósfera, meteorología interactiva*. Información climatológica de estaciones chilenas (disponible en <http://www.atmosfera.cl/HTML/climatologia/DATOS/DATOS.OS.HTM>).
- DMC (Dirección Meteorológica de Chile). 2011. *Climas de Chile* (disponible en <http://www.meteochile.cl/climas/climas.html>).
- DICTUC (Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Pontificia Universidad Católica de Chile). 2008. Actualización del inventario de emisiones atmosféricas en las comunas de Temuco y Padre Las Casas. Informe final elaborado para la Comisión Nacional del Medio Ambiente. 221 p.
- FMI (Fondo Monetario Internacional). 2011. Datos de libre acceso por país o economía (disponible en <http://datos.bancomundial.org/pais/chile>).
- Gómez-Lobo, A., J.L. Lima, C. Hill y M. Meneses. 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. 190p.
- INE (Instituto Nacional de Estadísticas). 2011. Estadísticas económicas. Encuesta nacional industrial anual (disponible en [http://www.ine.cl/canales/chile\\_estadistico/estadisticas\\_economicas/industria/series\\_estadisticas/series\\_estadisticas\\_enia.php](http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/estadisticas_economicas/industria/series_estadisticas/series_estadisticas_enia.php)).
- INFOR (Instituto Forestal). 2010. Anuario forestal 2010. Boletín estadístico N° 128. 134 p.
- INFOR (Instituto Forestal). 2007. Disponibilidad de residuos madereros. Residuos de la industria primaria de la madera. Disponibilidad para uso energético. Informe final elaborado para la Comisión Nacional del Medio Ambiente y Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). 122 p.
- INFOR (Instituto Forestal). 2005a. Estudio del mercado de leña en la ciudad de Rancagua. Informe final elaborado para la Comisión Nacional del Medio Ambiente. 114 p.
- INFOR (Instituto Forestal). 2005b. Estudio del mercado de leña en la ciudad de Chillán. Informe final elaborado para la Comisión Nacional del Medio Ambiente. 130 p.
- INFOR (Instituto Forestal). 2004. Propuestas de una metodología para el estudio de la demanda de leña en Coyhaique y Puerto Aysén. Informe final elaborado para la Comisión Nacional de Energía. 142 p.
- INFOR (Instituto Forestal). 1994. Evaluación del consumo de leña en Chile - 1992. Informe técnico N° 130. 50 p.
- Jaramillo, W. (no registra año). Estimación del consumo de

- combustibles de madera en el sector residencial de la ciudad de Villarrica. Proyecto leña. Ilustre Municipalidad de Villarrica.
- Kausel, T. y C. Vergara. 2003. El uso de la leña como combustible en la IX Región: aspectos económicos. Capítulo 2. In: Burschel, H., A. Hernández y M. Lobos (eds.). Leña: una fuente energética renovable para Chile. Editorial Universitaria, Santiago, pp 41-54.
- Little, C., A. Lara, J. McPhee y R. Urrutia. 2009. Revealing the impact of forest exotic plantations on water yield in large scale watersheds in South-Central Chile. *Journal of hydrology* 374 (1-2): 162-170.
- Lobos, M. 2001. Estudio preliminar sobre producción, comercialización y consumo de leña en la ciudad de Temuco. Documento N° 3. Serie de publicaciones WWF Chile, Programa Ecoregión Valdiviana. 46 p.
- Mantripragada, H.C. y E.S. Rubin. Techno-economic evaluation of coal-to-liquids (CTL) plants with carbón capture and sequestration. *Energy Policy* (2011), doi:10.1016/j.enpol.2011.02.053 (in press)
- Medel, I. 2008. Determinación de radios de abastecimiento de leña para la ciudad de Valdivia sobre la base de los costos involucrados en la producción y comercialización del producto. Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal, Universidad Católica del Maule. 100 p.
- MINERGI (Ministerio de Energía). 2012. Balances energéticos. Disponible en: [http://antiguo.minenergia.cl/minwww/opencms/14\\_portal\\_informacion/06\\_Estadísticas/Balances\\_Energ.html](http://antiguo.minenergia.cl/minwww/opencms/14_portal_informacion/06_Estadísticas/Balances_Energ.html)
- Murua, R., J. Miranda y C. Ramírez. 1993. Necesidad de una política de bosques para leña. *Ambiente y Desarrollo* 9 (9): 75-80.
- Neira, E. y C. Iturriaga. 2009. Utilización residencial de leña como combustible en la ciudad de Puerto Montt. *Bosque Nativo* 43: 3-8.
- Neira, E. y R. Bertín. 2009. Hábitos del uso de leña en Castro, Isla de Chiloé. *Bosque Nativo* 45: 3-8.
- Pontt, C. 2008. Potencial de Biomasa en Chile. Estudio de contribución de las ERNC al SIC al 2025. Informe Sectorial Final. Universidad Técnica Federico Santa María. 74 p (disponible en <http://www.neim.utfsm.cl/arch/20080808-02-Biomasa.pdf>).
- PRODEFOR Lonquimay (Programa de Desarrollo Forestal de la Municipalidad de Lonquimay). 2007. Informe Técnico: ciclo integral de la leña, zona urbana Comuna de Lonquimay. 22 p.
- Reyes, R. 2000. Caracterización de los sistemas de producción y comercialización de leña para la ciudad de Puerto Montt, X Región. Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal, Universidad de Chile. 150 p.
- Reyes, R. y A. Venegas. 2009. Lineamientos para una política dendroenergética. Estado del arte, objetivos y propuestas. V Cumbre de la Leña. Corporación de Certificación de Leña. 35 p (disponible en [http://www.lena.cl/documentos/Documentos\\_oficiales/Politica\\_Dendroenergetica\\_Version\\_Final.pdf](http://www.lena.cl/documentos/Documentos_oficiales/Politica_Dendroenergetica_Version_Final.pdf)).
- Reyes, R. y C. Frene. 2006. Utilización de leña como combustible en la ciudad de Valdivia. *Bosque Nativo* 39: 10-17.
- Romero, J. y G. Cruz. 2009. Cuantificación, caracterización y análisis de la comercialización de leña en Puerto Williams, Isla Navarino, XII Región. *Bosque Nativo* 43: 9-13.
- Saez, N. 1994. Madera del bosque templado utilizado como dendroenergía en hogares de la ciudad de Osorno. Actas III Congreso Internacional de Ciencias de la Tierra, IGM.
- Saez, N. 1995. Location of firewood supply sector in temperate forests of Southern Chile, South America. Documento no publicado. 7 p.
- Saez, N. y E. Scholz. 1998. Sectores de abastecimiento dendroenergético para la ciudad de Valdivia, Décima Región de Los Lagos. *Lider*: 53-63.
- Sanhueza, P., L. Díaz y M. Torreblanca. 2007. Análisis del Efecto a Corto Plazo de la Contaminación Atmosférica por Material Particulado Respirable sobre la Mortalidad y Morbilidad por Enfermedades Respiratorias y Cardiovasculares en Temuco. Informe final elaborado para la Comisión Nacional del Medio Ambiente. 106 p.
- Siemund, K. 2004. Encuesta leña Chiloé 2003/2004. El Consumo, las costumbres y el abastecimiento de leña en hogares y consumidores grandes en la Isla Grande de Chiloé. Proyecto "Conservación y manejo sustentable del bosque nativo". Corporación Nacional Forestal – Cooperación Alemana en Chile. 26 p.
- Universidad de Chile. 2002. Análisis de subsidio al gas natural de red en el sector residencial de ciudades con problemas ambientales. Informe Final. Estudio encargado por la Comisión Nacional de Energía. Centro Micro Datos. Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Universidad de Chile.
- Universidad de Chile. 2005. Mercado de la leña en zonas urbanas de la X Región. Informe Final. Estudio encargado por la Comisión Nacional de Energía. Centro Micro Datos. Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Universidad de Chile.
- Universidad de Concepción. 2002. Priorización de medidas de reducción de emisiones por uso residencial de leña para la gestión de la calidad del aire en Temuco y Padre Las Casas. Estudio encargado por la Comisión Nacional de Medio Ambiente. 389 p.
- Universidad de Concepción. 2005. Análisis del mercado de la leña y carbón en el Gran Concepción, I etapa. Estudio encargado por la Comisión Nacional del Medio Ambiente. Unidad de Desarrollo Tecnológico. Informe final. 100 p.
- Vergara, C. y M. Badilla. 2008. Estimación del consumo residencial urbano de leña en la ciudad de Panguipulli. Proyecto "Oportunidades de negocios en predios de campesinos en el territorio Siete Lagos, Región de Los Ríos". Corporación Nacional Forestal – Chile Emprende. 12 p.
- Zhenyu, L., S. Shidong y L. Yongwang. 2010. Coal liquefaction technologies –Development in China and challenges in chemical reaction engineering. *Chemical Engineering Science* 65 (1): 12-17.
- Walberg, F., F. Radon, J. Neugebauer y A. Berg. 2005. Disponibilidad de subproductos forestales y madereros en Chile. Unidad de Desarrollo Tecnológico (UDT), Universidad de Concepción. Informe borrador elaborado para la Comisión Nacional del Medio Ambiente y Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). 50 p.