BES

BOSQUES | ENERGÍA | SOCIEDAD

BES | Nº 4 | AÑO 2
ABRIL 2016

ISSN: 0719-7136



MEJORAR LA EFICIENCIA TÉRMICA Y EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN CIUDADES CON ALTO CONSUMO DE LEÑA:

Estudio de caso en Valdivia

BES

BOSQUES | ENERGÍA | SOCIEDAD

Informes BES | Número 04 | Año 02 | ABR. 2016
Producción y diagrámación: Verónica Ortega, Arquitecta, Investigadora Instituto Forestal **Editor general:** René Reyes, Ingeniero Forestal (M.Cs.), Investigador Instituto Forestal **Comité editor:** En forma parcial este artículo se publicó en Energy Policy, vol. 79 (2015) pp. 48-57 **Colaboradores:** Sergio Rojo, Arquitecto; Inmobiliaria Teja Sur, Proyecto Parque Los Tineos.

UNA PUBLICACIÓN:

OCDM OBSERVATORIO DE LOS COMBUSTIBLES DERIVADOS DE LA MADERA

INFOR

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

www.infor.cl

ISSN: 0719-7136

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

Schueftan, A. y González, A. 2016. Mejorar la eficiencia térmica y el control de la contaminación atmosférica en ciudades con alto consumo de leña: estudio de caso en Valdivia. En: Boletín BES, Bosques - Energía - Sociedad, Año 2. N° 4. Abril 2016. Observatorio de los Combustibles Derivados de la Madera OCDM. Instituto Forestal, Chile. p. 24

índice

03 RESUMEN

04 1. INTRODUCCIÓN

05 2. MARCO CONCEPTUAL

08 3. METODOLOGÍA

09 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

17 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

19 6. REFERENCIAS

MEJORAR LA EFICIENCIA TÉRMICA Y EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN CIUDADES CON ALTO CONSUMO DE LEÑA: estudio de caso en Valdivia

Alejandra Schueftan[a,b], Alejandro D. Gonzalez[c]
[a] Instituto Forestal, Fundo Teja Norte s/n, Valdivia, Chile, Tel: 63-2335200, alejandraschueftan@gmail.com
[b] Escuela de Graduados, Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
[c] Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medio Ambiente (INBIOMA, CONICET y Universidad Nacional del Comahue), Bariloche, Argentina, gonzalezad@comahue-conicet.gob.ar

RESUMEN

Este informe tiene por objetivo comparar estrategias para reducir la contaminación del aire por material particulado $MP_{2,5}$ en ciudades chilenas con alto consumo de leña. Las regulaciones y subsidios destinados a mejorar la combustión, por medio del suministro de leña seca y la utilización de equipos de combustión más eficientes, han estado vigentes a partir del año 2007. Sin embargo, la contaminación persiste y sigue en aumento. A partir del análisis de una encuesta realizada a 2.025 hogares, se concluyó que el 62% compra y guarda su leña con anticipación; el 55% ya posee estufas más eficientes; y que el ingreso de las familias influye fuertemente en la calidad de la leña que compran, en el recambio de estufas y en la conciencia sobre los programas de sensibilización y educación. Estas conclusiones indican que estas regulaciones tienen un potencial limitado para generar cambios, lo que explicaría en forma parcial por qué no se ha logrado reducir la contaminación. Se ha demostrado que el mejoramiento de la aislación térmica de las viviendas tiene un mayor potencial para mitigar el problema; sin embargo, esto se ha implementado sólo en una pequeña cantidad de hogares de bajos ingresos. Aquí proponemos mejoras y medidas adicionales para los programas existentes, con el fin de aumentar su eficiencia, llegar a un espectro más grande de la población, contribuir a la credibilidad pública y hacer partícipe a toda la sociedad en su conjunto.

Palabras clave | leña, material particulado, eficiencia energética, viviendas, Región de Los Ríos

1. INTRODUCCIÓN

A partir de mediciones y análisis químicos, se ha constatado que la combustión de leña es la mayor fuente de material particulado fino en las principales ciudades del centro y sur de Chile. Los análisis han sido tan categóricos que la ciudad de Temuco fue considerada como un caso particular de contaminación, en el cual el problema es producido prácticamente por una sola fuente (*Cereceda-Balic et al., 2012*). Además, cerca del 93% del material particulado originado a partir de la combustión de leña corresponde a $MP_{2,5}$ (Material Particulado cuyo diámetro es menor a 2,5 micrones), partículas que presentan efectos especialmente nocivos sobre la salud humana. De esta manera, los problemas de la contaminación del aire en ciudades del centro-sur y en la Región Metropolitana son bien distintos. A la fecha, existen tres programas activos para combatir la contaminación: 1) certificación de leña para garantizar bajo contenido de humedad y origen del producto; 2) subsidios para el recambio de equipos de combustión existentes por modelos más eficientes; y 3) subsidios para el mejoramiento térmico de viviendas de familias con bajos ingresos. El primer programa no discrimina en cuanto a niveles de ingreso y estaría orientado a mejorar la combustión. Los dos restantes están dirigidos principalmente a sectores de nivel socioeconómico bajo e influyen indirectamente en el problema de la contaminación del aire, al reducir la demanda de energía para calefacción. En 1), la certificación propone regular el manejo forestal y la comercialización de productos forestales, además de proveer leña con una humedad máxima del 25% (en base seca). Hasta ahora, sólo el 3% de la leña vendida en Valdivia proviene de fuentes certificadas. En 2), el programa de recambio de estufas obsoletas y cocinas a leña usadas para calefacción, tiene por objetivo incorporar nuevos modelos con cámaras adicionales y suministro de aire secundario para mejorar el proceso de combustión. En 3) el mejoramiento térmico de las viviendas para el sector de ingresos más bajos tiene la intención de mejorar la aislación de las viviendas para lograr una eficiencia mínima según lo establecido en la Normativa Térmica Chilena del año 2007. En un trabajo anterior se destacó que a través del mejoramiento de la eficiencia térmica de las viviendas se podría reducir considerablemente el uso de leña (*Ortega et al., 2015; Schueftan y González, 2013*). El objetivo del presente informe es discutir las políticas existentes y explicar las posibles causas de su fracaso. Considerando los hábitos de la población y la actual ineficiencia térmica de las viviendas, sostenemos que los programas implementados presentan muy bajo

potencial para reducir la contaminación del aire. Por ello se proponen nuevas estrategias, las cuales permitirán concentrar los esfuerzos en aquellas medidas que exhiban mayor potencial para reducir la contaminación.

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1. CONTAMINACIÓN DEL AIRE

Según los datos obtenidos en estudios recientes realizados en Temuco, el 94% del $MP_{2.5}$ proviene de la combustión residencial de leña (*MMA, 2013*). En otras regiones del centro y sur de Chile, un número creciente de ciudades fueron declaradas como zonas saturadas por MP_{10}, $MP_{2.5}$ o ambos. Para que una ciudad sea declarada zona saturada, debe superarse por lo menos una de las normas de calidad del aire durante un periodo mínimo de tres años, a partir de lo cual se elabora un Plan de Descontaminación Atmosférica (PDA) (*Chile, 1994)*. En el caso de Temuco, el PDA entró en vigencia el año 2010, después que la ciudad fue declarada zona saturada por MP_{10}. Recién en 2013, Temuco fue declarada también zona saturada por $MP_{2.5}$, motivo por el cual se desarrolló un nuevo plan que aún no se ha implementado. Durante los últimos dos años, la ciudad de Osorno ha sufrido el mayor aumento de material particulado a nivel nacional. Esta ciudad fue declarada zona saturada en 2012 y su PDA todavía está en elaboración. Más recientemente, en 2014, Valdivia también fue declarada zona saturada.

En primer lugar, se debería tratar de responder una pregunta: ¿Qué ocurrió durante la última década que ha incrementado tanto el uso de leña?

El motivo parece ser la combinación del rápido crecimiento económico y la disponibilidad de combustible a un precio considerablemente más bajo que las otras fuentes de energía. Además, aún no se ve reflejado el aumento de ingresos de la población en el mejoramiento de la calidad térmica de las viviendas. El aumento brusco y constante del Producto Interno Bruto (PIB) desde 1990 ha ido a la par con un aumento en el consumo de energía. Entre 1990 y 2007 el consumo de energía por parte de los hogares chilenos aumentó un 320%. Al respecto, Mundaca (*2013*) demostró que el aumento de las emisiones de CO_2 se explica por el aumento del PIB per cápita. A mayor prosperidad se requiere un nivel de comodidad más alto, pero considerando la eficiencia térmica actual de las construcciones, esto se traduce en un mayor consumo de energía. La presencia del componente cultural también influye en la preferencia por leña, combustible abundante en el sur de Chile. Gómez-Lobo, et al. (*2006*), demostraron que el consumo de leña por hogar es más alto en ciudades más pequeñas y aún más alto en zonas rurales; lo cual fue corroborado por encuestas recientes que comparan Valdivia, La Unión y Panguipulli (*Ortega et al., 2016*).

La calidad de los calefactores y cocinas a leña en Chile ha sido tradicionalmente buena. A pesar que la eficiencia de la combustión puede variar enormemente, todas comparten una característica: el evitar la fuga de humo en espacios interiores. En Chile, tener un fogón o una estufa que emita humo dentro de la casa es muy poco común. Por consiguiente, el problema del uso de leña en Chile es distinto a lo observado en otros países en vías de desarrollo (*Adrianzén, 2013*). Los humos provenientes de la quema de leña se expulsan hacia el exterior de la vivienda a través de ductos o chimeneas. A pesar de ello, la alta concentración de humo en el aire exterior puede llegar al interior de las casas a través de filtraciones en puertas, ventanas e incluso producidas por defectos de construcción. Es muy frecuente encontrar este tipo de fallas de hermeticidad en las viviendas, especialmente en los barrios de menores ingresos. Las casas en estos sectores están situadas en pequeños lotes, por tanto una alta concentración de chimeneas expone a la población a una gran cantidad de material particulado tanto en el exterior como en el interior de las viviendas. Sin embargo, en el contexto de los programas implementados, cabe destacar que la presencia de humo en el interior de los hogares y sus negativas consecuencias para la salud, no se deben a filtraciones en cocinas y estufas, sino a la mala calidad de las construcciones.

El crecimiento de la riqueza en Chile en las últimas dos décadas parece haber contribuido a cumplir con los estándares de calidad de las viviendas en algunos aspectos esenciales como la protección hidrófuga y los servicios sanitarios, pero todavía hace falta invetir para mejorar su eficiencia térmica.

Subsidios para mejorar la calidad de las viviendas, pero no necesariamente la eficiencia térmica, han sido dispuestos para los sectores de menores ingresos a partir de 2006, pero pocos han sido otorgados específicamente para mejoramientos térmicos. Incluso en sectores de ingresos medios y altos, el crecimiento económico no ha tenido mucha influencia sobre la calidad térmica de las construcciones. Los programas orientados a disminuir la contaminación atmosférica no tienen mucha influencia sobre el consumo de leña en los sectores de ingresos medios y altos, debido a que estos grupos adquieren leña varios meses antes del periodo de consumo (leña seca), poseen estufas más eficientes, y no tienen derecho al subsidio para mejoramiento térmico de viviendas.

2.1. PROBLEMAS DE SALUD

Los efectos producidos por la inhalación de aire con grandes concentraciones de material particulado sobre la salud humana, particularmente $MP_{2.5}$, están comprobados (*Cereceda-Balic et al., 2012; Allen et al., 2009*). Estudios basados en atenciones hospitalarias en las regiones de la zona sur de Chile, más



Figura 1: Chimenea en vivienda sin aislación térmica y utilizando leña húmeda

específicamente entre las ciudades de Temuco y Puerto Montt, demostraron una incidencia más alta de bronquitis crónica en la población en general, y una incidencia significativamente más alta de enfermedades cardiovasculares en las personas mayores durante los meses de invierno (*Gómez-Lobo et al., 2006*).
Los hogares de la zona centro y sur del país están expuestos además a bajas temperaturas interiores. Si bien se recomienda mantener la temperatura interior de las viviendas entre 18°C y 21°C, estudios demostraron que la temperatura interior en los hogares ubicados entre las ciudades de Concepción y Puerto Montt en invierno oscilan entre 14,3°C y 16,5°C (*Bustamante et al., 2009*). Esto ocurre a pesar de la alta demanda de leña, debido a que las viviendas tienen muy bajo nivel de eficiencia energética. Por lo tanto, las construcciones que tienen un bajo nivel de aislación térmica afectan la salud de las personas de dos maneras distintas: emitiendo grandes concentraciones de material particulado y manteniendo bajas temperaturas.
Estudios realizados en Nueva Zelanda demostraron que la baja temperatura interior incrementa significativamente la mortalidad invernal, con 1600 personas mayores de 65 años muriendo cada año, lo que representa aproximadamente un 16% del total de muertes registradas durante los meses de invierno. También se constató un aumento de la morbilidad del 8%, registrándose más hospitalizaciones en los sectores de bajos ingresos, donde las viviendas son más precarias y la temperatura interior es menor (*Howden-Chapman y Chapman, 2012*). Mantener la temperatura interior bajo los 16ºC somete al aparato respiratorio a un estado de estrés, y si es inferior a 12ºC, es el sistema cardiovascular el que se ve afectado. Además, las viviendas frías suelen ser húmedas, causa de la proliferación de moho, lo que también afecta al aparato respiratorio. En el caso de Valdivia, el nivel de humedad es muy alto durante la temporada de calefacción. La ciudad está situada en la costa del Pacífico, al nivel del mar y está rodeada por ríos y zonas pantanosas. Lo que normalmente ocurre en las viviendas sin buen aislamiento térmico y sistemas de ventilación controlada es que cuando el flujo de calor no logra compensar la pérdida del mismo, el revestimiento de paredes interiores se enfría hasta alcanzar la temperatura del punto de rocío. Mejorar la calidad de los equipos de combustión podría de alguna forma ayudar, sin embargo, paredes sin aislamiento térmico requieren un flujo constante de calor debido a su baja capacidad para retenerlo dentro de las habitaciones.

2.3. PROGRAMAS EN EJECUCIÓN

Las políticas en Chile se han centrado en cuatro aspectos: mejorar la calidad de los equipos de combustión, mejorar la calidad del combustible, mejorar las viviendas existentes, e implementar programas educativos. Los programas existentes consideran subsidios para reemplazar calefactores y mejorar la aislación térmica de las viviendas, y además, implementar un sistema de certificación para la comercialización de leña.
Los beneficiarios del programa de recambio de calefactores deben asistir a talleres educativos para capacitarse en el uso del calefactor. El subsidio aplica sólo para casas (excluye departamentos) y se puede obtener solo una vez por vivienda (*MMA, 2014*). Paralelamente, se elaboró una norma para regular las emisiones de los calefactores, definiéndose valores máximos entre 2,5 g/h y 4,5 g/h (dependiendo de la potencia del equipo), medidos en condiciones ideales de laboratorio (*Chile, 2011*). Sin embargo, debido a las prácticas habituales de operación en modo de combustión lenta (tiraje del aire ahogado), los equipos disponibles en el mercado muy rara vez logran cumplir con estos límites (*CNE, 2009*).
Con respecto al mercado de la leña, existe una iniciativa de carácter público-privada que promueve su regulación (*Conway, 2012*). El programa de certificación de leña está en funcionamiento desde 2005. Esta iniciativa definió un contenido de humedad máximo del 25% en base seca para la leña comercializada en áreas urbanas, y disposiciones para velar por la sustentabilidad de su origen (planes de manejo de bosque nativo). El uso de leña certificada no es obligatorio y a la fecha hay muy pocos proveedores (*SNCL, 2016*). El monitoreo de los niveles de humedad de la leña es simple, pero es muy difícil para los proveedores realizar el secado en un tiempo corto por el clima húmedo predominante en la región. Para comercializar leña seca, los proveedores deberían almacenarla en un lugar cubierto

y esperar hasta la próxima temporada para venderla, lo que aumenta su precio y por consecuencia reduce su demanda.
Para mejorar la calidad de las viviendas existe un subsidio de acondicionamiento térmico, cuyo propósito es mejorar la aislación térmica de las casas con el fin de generar ahorro en calefacción y reducir la condensación interior.
Este subsidio es parte de la iniciativa denominada "Programa de Protección del Patrimonio Familiar" que incluye 3 tipos de subsidios: i) subsidio para reparación y mejoramiento de viviendas; ii) subsidio para ampliación de la vivienda; y iii) subsidio para acondicionamiento térmico de la vivienda (*Chile, 2006*). El programa está dirigido a familias socialmente vulnerables y se basa en instrumentos de estratificación social considerando solamente viviendas sociales construidas por el gobierno. El precio de la propiedad no debe superar aprox. $20.000.000, el valor máximo del subsidio es cercano a $2.500.000, y las familias deben aportar $74.000. Cada hogar puede recibir el subsidio solo una vez. El subsidio considera sólo las mejoras necesarias para cumplir con la reglamentación térmica del año 2007 (*Chile, 2006*), aunque se ha demostrado que este reglamento no es muy exigente desde la perspectiva de la eficiencia (*Schueftan and González, 2013*). Además, la Norma Térmica del 2007 (NT2007) es mucho menos exigente que normas similares existentes en otros países de la OCDE con clima similar (2000 grados-día/año de calefacción). Por ejemplo, la NT2007 exige que el espesor mínimo de aislación sea de 2 cm en paredes, 14 cm en techos y 5 cm en pisos ventilados, pero no hay ningún requerimiento para pisos de hormigón, que en la práctica son muy comunes.
La Norma Térmica del 2000 era menos exigente, estableciendo aislación térmica sólo en techos. En la ciudad de Valdivia, las construcciones existentes antes del año 2007 representan el 85% del total de viviendas, lo que da cuenta de la magnitud del problema.
A pesar de la aplicación de estas políticas, la contaminación atmosférica en Valdivia siguió aumentando, razón por la cual a partir del 2014 se comenzó a restringir el uso de leña durante días críticos.
La medida fue muy impopular porque aproximadamente un 95% de los hogares usa leña para calefacción, y un número importante de ellos no es capaz de comprar otros combustibles (gas licuado, parafina o electricidad), dado que son 4 a 6 veces más caros. A pesar de la medida , el 2015 la contaminación resultó mayor a

Figura 2.
Leña almacenada bajo el alero de una vivienda en Valdivia



la de años anteriores.

3. METODOLOGÍA

La metodología considera análisis de encuestas y revisión bibliográfica sobre la problemática de las viviendas, los equipos de combustión, los combustibles y la contaminación. El caso de estudio es una muestra de viviendas de la ciudad de Valdivia, tomadas en forma aleatoria y con la condición de un valor máximo de la propiedad.

3.1. ESTADO ACTUAL DEL CONSUMO DE LEÑA

Para estudiar el estado actual de los artefactos de calefacción, el uso y estado de humedad de la leña y la calidad térmica de las viviendas, se analizó una encuesta realizada a 2.025 hogares de Valdivia el año 2011 por parte del CIVA-UACH (Certificación e Investigación de la Vivienda Austral de la Universidad Austral de Chile). Esta encuesta estaba orientada a viviendas unifamiliares construidas antes de la promulgación de la Norma Térmica del 2007, cuyo valor unitario no supera $45.000.000. Esta encuesta es parte de un proyecto más amplio que investiga la calidad de las viviendas y el uso de energía en distintas ciudades del sur y centro de Chile. En la primera fase del proyecto se identificaron las características más comunes de las viviendas (*MMA, 2010*) y en la segunda se aplicó la encuesta en distintas partes de la ciudad (*MMA, 2012*). La encuesta de CIVA consta de 42 preguntas, de las cuales 12 fueron consideradas en el análisis. Estas preguntas estaban relacionadas con: valor de la vivienda, información sobre los combustibles utilizados para calefacción, características y operación de los calefactores, calidad térmica de las viviendas, y manejo de información general por parte de las familias. El ingreso de las familias no fue incluido en la encuesta, por tanto, para efectos de este análisis, se utilizó el valor de la vivienda como "proxy" del nivel de ingresos. Debido al límite de $ 45.000.000 por vivienda, la encuesta fue orientada hacia sectores de ingresos bajos y medios.

3.2. POTENCIAL DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO

Para estudiar el impacto que podrían tener los programas vigentes, se compararon distintos niveles de mejoramiento en la calidad de la leña, equipos de combustión y acondicionamiento térmico.
La información detallada sobre la tipología de viviendas y su valor, junto con los planos y fotos de las casas fue reunida durante visitas personales realizadas por encuestadores especializados (*MMA, 2012*). De este modo, se obtiene la reducción en la demanda de energía y el uso de leña esperada a través del mejoramiento térmico que permita cumplir con la norma del año 2007. Esta estrategia consideró posibles formas de intervención dentro de la diversidad tipológica de las construcciones existentes. El presente trabajo compara este potencial de reducción con las estrategias, incluyendo leña más seca y estufas más eficientes. Para extender la comparación hacia un mejoramiento térmico más eficiente, se obtendrá también el potencial de reducción del consumo de leña para un prototipo de vivienda social para cumplir plenamente con los requisitos de la norma chilena del 2007 y el estándar estadounidense ASHRAE, que es aún más estricto (*Schueftan and González, 2013*). Estos cálculos fueron hechos con el software CCTE CL v2 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (*MINVU, 2007a*), y son relevantes, porque el actual subsidio para el mejoramiento térmico está dirigido solo a personas que residen en viviendas sociales.
Además, fueron considerados dos niveles de eficiencia en artefactos de calefacción: 1) cocina a leña y estufa antigua tipo salamandra; 2) estufas de doble combustión mejoradas, correspondientes a los equipos que forman parte del subsidio y que se usan para reemplazar a los equipos obsoletos. Los factores de emisión para diferentes tipos de equipos fueron obtenidos de un estudio realizado para el Ministerio de Energía (*CNE, 2009*) y de un informe elaborado para el PDA de Temuco (*MMA, 2013*).
Para evaluar la incidencia de la calidad de leña, los resultados de la encuesta sobre el contenido probable de humedad se combinaron con la información publicada en el estudio para el PDA de Temuco (*MMA, 2013*) sobre los niveles de emisiones correspondientes a diferentes contenidos de humedad. Siguiendo las regulaciones actuales, la leña fue considerada seca con un contenido de humedad del 25% (base seca), semi-húmeda oscilando entre 25-35% y leña húmeda con un contenido de humedad superior a 35%.
La reducción de emisiones $MP_{2,5}$ fue calculada para el prototipo de vivienda considerando las siguientes estrategias: i) acondicionamiento térmico ii) reemplazo de equipo de combustión y iii) uso de leña más seca. Con esta información se discutirá el efecto de cada programa y las combinaciones entre ellos.

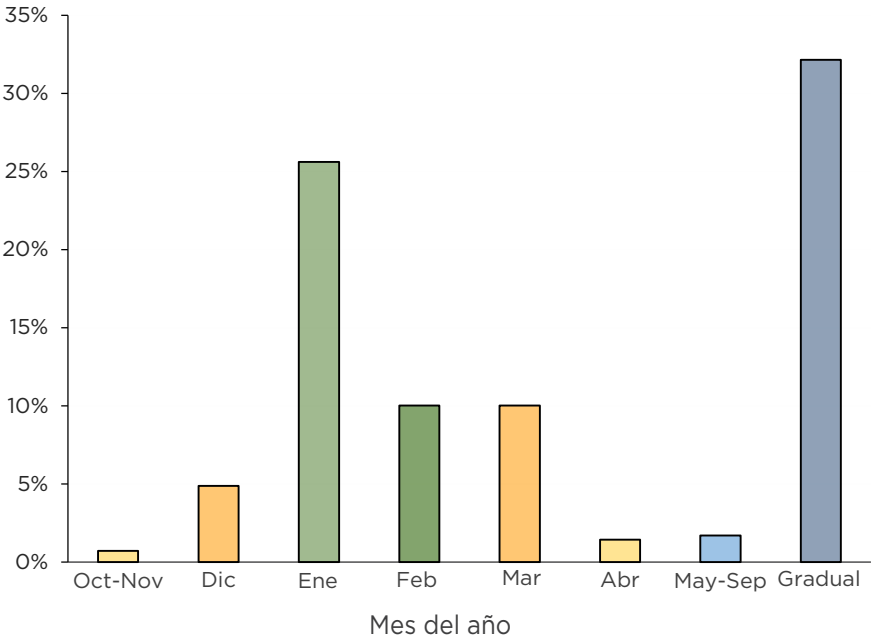
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA LEÑA

La encuesta realizada en el sector estudiado de Valdivia demostró que un 96% usa leña para calefacción, de los cuales el 93% manifestó saber como reconocer la leña seca. Esto coincide con la larga tradición de manejo de leña en el sur y centro de Chile, donde las familias son participantes activos en mejorar las condiciones y la eficiencia de la combustión de leña. Comprarla con anticipación es un ejemplo de esta estrategia.

La Figura 3 representa el mes del año en que se efectúa la compra y la frecuencia con que lo hacen los hogares que participaron en la encuesta. La compra se efectúa entre los meses de octubre y abril (entre primavera y otoño) y la leña es acopiada en bodegas para ser usada durante el invierno.
Esta modalidad de compra de leña en Valdivia comúnmente incluye tres pasos. Primer paso, la leña es ofrecida por medio de distribuidores en camiones directo a domicilio, donde los trozos de aproximadamente 1 m de largo se descargan haciendo rumas (Figura 4). Este paso es muy importante para poder considerar la calidad de leña. El vendedor ofrece su leña, el comprador la revisa y determina su calidad. Después de llegar a un acuerdo, la leña se descarga y se hace un segundo control de cantidad y calidad antes de pagar. El segundo paso consiste en buscar a alguien que corte la leña. Usualmente se trata de un contratista propietario de una sierra motorizada portátil que corta la leña en trozos de aprox. 0,33 m. de largo. Generalmente, el mismo contratista traslada la leña dentro de la propiedad y normalmente se deja apilada en una bodega en el patio trasero. Alrededor del 62% de los hogares prefiere comprar con anticipación entre los meses de octubre y abril, aplicando este método por varias razones: a) se puede conseguir el mejor precio antes de la temporada de calefacción; b) hay oferta variada, distintos niveles de calidad y contenido de humedad de la leña; c) comprar con anticipación significa poder acceder a leña nativa de mayor densidad. Los grandes consumidores de leña (edificios privados y públicos) también prefieren comprar leña con anticipación, pero no fueron incluidos en la encuesta (Figura 4). En trabajos previos (*Neira et al.; Nord-Larsen et al., 2011; SNCL, 2016b*), se mostraron resultados experimentales sobre secado de leña cortada en la primavera. El tiempo de secado depende de la especie, de las condiciones

Figura 3.
Porcentaje de hogares que compran leña en función del periodo de compra.



Fuente: Elaboración propia

climáticas, del modo en que se corta y apila, y de la protección que la cubra de la lluvia. Por ejemplo, en leña trozada, el coigüe, el roble y el pino alcanzan una humedad cercana al 25% (base seca) entre 4 y 6 meses de secado natural, por lo cual alguna parte de la leña comprada con anticipación en el mercado informal es probable que se encuentre seca al momento de la compra. Sin embargo, las condiciones de almacenamiento son importantes, y las ventajas de la compra anticipada podrían perderse si la leña es sometida a las lluvias de otoño, con excepción de la leña almacenada por más de un año, la cual es menos sensible a la reabsorción de agua (*Neira et al.*).
Según nuestro conocimiento, no se realiza ninguna medición sistemática del contenido de humedad de la leña almacenada. Esto se discutirá más adelante en relación con el mejoramiento de las políticas.
En marzo de 2014, los precios pagados por leña nativa de primera calidad, más el servicio de trozado y arrumado en bodega fueron de $30.000, $2.500 y $1.500 por metro cúbico estéreo (m^3st) respectivamente, lo que equivale a un total de $34.000. Como referencia, en junio de 2014, el salario mínimo líquido en Valdivia alcanzó aproximadamente $175.000. En algunos casos, el trabajo de picar la leña al tamaño que acepta el calefactor se realiza en cada casa. Si no, hay que agregar $2.000 adicionales por m^3st. Dependiendo del periodo en el cual se realiza la compra de leña y de la calidad del lugar destinado para su bodegaje, la leña comprada de manera informal podría ser aún más seca que la leña certificada, vendida bajo la regulación gubernamental con el contenido máximo de humedad del 25%.
En la Figura 3 se puede ver que el 2% de los hogares compra leña entre mayo y septiembre y el 36% respondió que compra en forma gradual, según su

necesidad. Estos grupos se arriesgan a comprar leña con un alto nivel de humedad. La logística de una compra realizada en forma gradual generalmente es diferente de la compra anticipada, descrita anteriormente. En primer lugar, como veremos en detalle en la sección siguiente, según informaron los consumidores que compran su leña anticipadamente, en promedio, el valor de sus casas es un 64% más alto que el valor de propiedad de quienes compran gradualmente. Por lo tanto, la decisión de comprar gradualmente puede ser la combinación de bajos ingresos con la falta de instalaciones adecuadas para almacenar leña de forma correcta. En segundo lugar, existen varias opciones para comprar leña con bajo contenido de humedad en cualquier periodo del año, incluso en invierno. Una de las opciones es el programa de certificación de leña que en el sector representativo de la encuesta significó el 2,7% del total de la leña usada.

Otra opción es leña almacenada por los vendedores y vendida a granel o en sacos de 25 kg. En cualquier caso, aunque no se puede concluir de forma categórica a partir de los resultados de la encuesta, está claro que no todos los hogares que compran de manera gradual o en invierno (38%) utilizan leña con un alto contenido de humedad. Basados en el porcentaje de leña comprada con anticipación y dado que los hogares son conscientes de las desventajas de usar leña húmeda, y además saben cómo reconocerla, estimamos que es probable que el porcentaje de consumidores que dispone de leña seca sea significativo, y su estudio sistemático, así como el de la calidad de la leña que entregan los proveedores informales, aún no ha sido realizado.

En la encuesta, el 13,4% de los hogares informaron haber comprado alguna vez leña certificada (indicando cantidades de 1 a 100%) y un 57% admitieron conocerla. En la Figura 6 se grafica el número de viviendas que adquirieron leña certificada en distintos porcentajes para abastecerse durante el año. Aproximadamente solo un 1,4% de las familias en el sector encuestado informó haber comprado exclusivamente (100%) leña certificada. Conociendo el porcentaje de leña que fue adquirida con el certificado de origen y el monto total de leña comprada según la información entregada por los hogares en la encuesta, se puede calcular que el 2,7% del total de la leña fue de origen certificado para la muestra estudiada en Valdivia. Al presente, existen 27 proveedores autorizados de leña certificada en la Región de los Ríos, de los cuales 12 comercializan en

Figura 4.
Leña comprada en verano, apilada en el exterior de una escuela en Valdivia.



Figura 5: Hogar de una estufa moderna de combustión mejorada

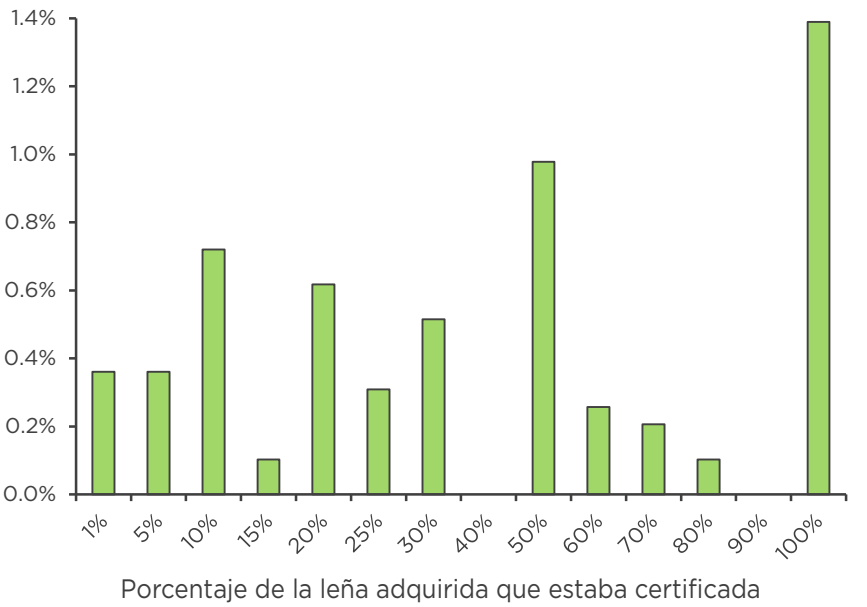


Valdivia (*SNCL, 2016*). Se estima que un 3% de la leña utilizada en los hogares de la Región está certificada, a pesar de que el programa ha estado vigente desde el año 2005. Aunque, como ya fue mencionado anteriormente, esta falta de interés por leña certificada no significa que los hogares no estén interesados en usar leña seca. Por el contrario, la leña de alta calidad se puede obtener a través de diferentes canales de comercialización y la mejor calidad posible al momento de usarla se logra obtener dependiendo de la accesibilidad e instalaciones para almacenamiento con que cuentan las viviendas. Como muestran distintos trabajos (*Neira et al., Nord-Larsen et al., 2011; SNCL, 2016b*), el almacenamiento es muy importante para que la leña seca no recupere humedad en los meses lluviosos de invierno. Un techado abierto puede no ser suficiente si el lugar está expuesto a vientos, y la recomendación general es que el depósito sea cerrado y que la leña esté elevada del piso. En estudios en Temuco (*SNCL, 2016b*) se mostró que el trozado acelera el secado significativamente, lográndose alcanzar en 4 meses 25% de humedad en leña cortada de 33 cm. Esta información debería difundirse para que los hogares dispongan o mejoren el lugar de depósito de leña, aun cuando compren leña con anticipación o leña certificada. En este sentido, podría trabajarse en forma conjunta con el programa de aislamiento térmico, ya que éste implica una intervención en la vivienda, y esa intervención podría incluir la provisión o la mejora del depósito de leña.
De lo anteriormente señalado podemos concluir que la mayor parte de los hogares sabe de la importancia de utilizar leña seca y actúa en forma activa comprando por adelantado y en las mejores condiciones posibles en cuanto a precio y contenido de humedad. Por consiguiente, a pesar de que el programa de certificación puede haber contribuido a crear conciencia sobre las ventajas del uso de leña seca, en el presente y para el futuro, es muy probable que su efecto sobre la contaminación del aire sea limitado. Por el contrario, el programa tiene efectos positivos sobre otros temas, como la comercialización de leña de manera formal y la sustentabilidad en la explotación de los bosques (*Conway, 2012*).

4.2. RELACIÓN ENTRE EL VALOR DE LA VIVIENDA, CALIDAD DE LEÑA Y EQUIPO DE COMBUSTIÓN

La información proporcionada por la encuesta no incluye los niveles de ingresos, sino precios de viviendas y modelos de calefactores utilizados, ambos asociados con el nivel de ingreso. La Tabla 1 muestra los parámetros que describen las preferencias de compra de leña y su consumo, el precio de la vivienda y tipo de calefactor. Los datos de esta Tabla son muy interesantes, porque muestran una relación importante entre las preferencias por calidad, tipo de leña y situación económica.
El grupo que compra leña con anticipación está asociado a viviendas cuyo valor es 64% superior a las viviendas de los que compran en forma gradual; y el 67% de los que tienen estufas modernas en comparación al 32% de los que compran en forma gradual. El consumo promedio de leña en las viviendas que compran con anticipación es 41% más alto que el consumo de los que compran en forma gradual. Este hecho, junto con una mayor incidencia de las estufas modernas en este grupo de ingresos más altos, disminuye la probabilidad de reducir la contaminación del aire a través de ambos programas, el programa de certificación de leña y el de recambio de estufas.
En relación con la certificación, el 57% de las viviendas que usan leña manifestaron

Figura 6.
Porcentaje de viviendas que compraron distintas cantidades de leña certificada



Fuente: Elaboración propia

Tabla 1.
Consumo de combustible, precio de la vivienda y tipo de estufa para distintas opciones de compra de leña

COMPRA DE LEÑA	CANTIDAD DE VIVIENDAS	CONSUMO DE LEÑA PROMEDIO (m^3st/año)	PRECIO PROMEDIO DE LA VIVIENDA (Millones $)	USA COCINA A LEÑA Y/O SALAMANDRA (%)	USA CALEFACTOR MODERNO DE COMBUSTIÓN MEJORADA (%)[1]
COMPRA LEÑA ENTRE OCTUBRE Y ABRIL	1.200	12,3	24,0	33	67
COMPRA LEÑA EN FORMA GRADUAL	743	8,7	14,6	68	32
CONOCEN LEÑA CERTIFICADA	1.142	12,1	23,1	34	66
NO CONOCEN LEÑA CERTIFICADA	849	9,3	16,5	60	40

[1] *Estufa moderna de doble combustión, hermética, de acero.*
Fuente: Elaboración propia

tener conocimiento de la disponibilidad de la leña certificada, mientras que el 43% restante declaró no conocerla. Sorprendentemente, estos dos grupos presentan importantes diferencias en el valor de sus viviendas, consumo de leña y eficiencia de sus equipos de combustión: el grupo que sabía de la certificación consume en promedio un 30% más de leña, el precio de su vivienda es un 40% más alto y un 66% usa estufas modernas. Estos resultados son muy importantes para diseñar las políticas públicas, porque demuestran que el nivel de alcance de los programas educativos es más bajo en los sectores sociales de menores ingresos.
En la Tabla 2 se ha hecho una comparación similar en cuanto a las características de los equipos de combustión. Según lo mencionado en la metodología, la encuesta ha facilitado información sobre el equipo principal que se usa para calefacción por hogar, con la información detallada sobre marca, modelo y antigüedad. Esta información se podría analizar con más detalle aún para evaluar la situación económica, utilizando el valor de vivienda proporcionado por la encuesta.
Los hogares que usan estufas modernas de combustión mejorada (en un 55% el promedio de antigüedad es de 7 años) están asociados con el valor de la vivienda que es un 90% más alto que el valor de las viviendas de los que usan cocinas a leña tradicionales y 123% más alto que el valor de vivienda de los que usan calefactores aún menos avanzados tipo salamandra. Estos dos últimos equipos están hechos de hierro fundido o acero, o de la combinación de ambos. Nótese que también el consumo de leña es considerablemente distinto en los tres grupos, siendo el de las estufas modernas el que consume más leña con un 10% más que el grupo usuario de cocinas a leña tradicionales y un 53% más alto en comparación con los que usan salamandras. Para el análisis de la influencia de la leña y su potencial para reducir la contaminación del aire, es muy importante comprender que en la actualidad el consumo anual de leña de los que usan equipos modernos con sistemas mejorados es más elevado. La diferencia significativa en el precio de las viviendas implica que probablemente el consumo más alto se deba al mayor nivel de ingresos, de acuerdo con el aumento de consumo de energía motivado por el estado de prosperidad (*Mundaca, 2013*).
La Tabla 2 demuestra que para reducir la contaminación del aire, el programa de recambio de estufas podría tener resultados limitados debido al hecho que el 55% ya usa equipos modernos. Como ya se ha mencionado en la sección 2.3, incluso en el caso de subsidios, el recambio de estufas significa un costo para el hogar, y la gran diferencia en los precios de viviendas que aparece en la Tabla 2 implica que el programa de subsidio podría contribuir aún más a la agudización de la desigualdad, de acuerdo con las conclusiones anteriores obtenidas por Chávez et al. (*2011*).
Por otra parte, el menor consumo en los grupos que usan modelos más antiguos de estufas indican bajas temperaturas al interior de los hogares , debido a que tienen restricciones económicas para comprar un mayor volumen de combustible. En un trabajo anterior hemos señalado que existen grandes diferencias en el consumo de combustible y los niveles de confort térmico según el ingreso familiar (*Schueftan y González, 2013*). Se comprobó que el consumo de leña en los grupos que cuentan con modelos más antiguos de calefactores

es más bajo. Eso indica que para mejorar el nivel de confort es probable que al cambiar la estufa se mantenga estable o aumente el consumo de leña, lo que podría anular el impacto potencial del recambio de calefactores sobre la descontaminación.
Además, aún no está claro si la eficiencia general y el nivel de control en las emisiones de las nuevas estufas son significativamente mejores, ya que uno de los problemas es la combustión ahogada (combustión lenta), lo que no se ha resuelto en los nuevos modelos. Actualmente, la mayoría de los modelos que ofrece el mercado son herméticos, lo que significa que los usuarios pueden dejar la entrada de aire completamente cerrada – una práctica común que permite que el fuego sea lento y la leña dure más. El mayor inconveniente de esta práctica es que la combustión ahogada emite más material particulado, como mostramos en detalle en un trabajo previo (*Ortega et al., 2016*). En la encuesta, el 68% respondió que cierran completamente el flujo de entrada de aire, el 32% la deja parcialmente cerrada y un número marginal la deja abierta. No hemos encontrado ninguna diferencia en el consumo de leña entre los grupos que mantienen el tiraje completamente cerrado o parcialmente abierto, lo que implica que esta última puede significar combustión ahogada, ya que es fácil determinar en la práctica cuando el tiraje está cerrado, pero no es tan fácil determinar las posiciones intermedias ya que no están señaladas. La combustión ahogada es un asunto relevante en cuanto a controlar la contaminación del aire. Actualmente se ha propuesto un nuevo reglamento dirigido a los fabricantes de equipos, para que incorporen mecanismos que impidan el cierre del tiraje. Esto ayudará a reducir las emisiones en los nuevos sistemas de calefacción. Los resultados obtenidos en el análisis de la encuesta describen un alto potencial de mejora respecto al modo actual de regular el tiraje para ahogar la combustión. En otros países, por ejemplo Nueva Zelanda, se aplica un reglamento similar y los fabricantes se ven obligados a vender en los centros urbanos estufas sin opción de ahogar la combustión, mientras que los reglamentos en las zonas rurales son menos estrictos (*Bosca NZ, 2014*).
Según otros estudios (*Allen et al., 2009*), al cambiar la tradicional estufa a leña por una de tecnología más eficiente, no se reducen de manera consistente las concentraciones de material particulado dentro del hogar. Esto se debe al alto nivel de filtraciones de las viviendas. Aunque se cambien algunos artefactos de calefacción, las emisiones provenientes de otras viviendas siguen contaminando el aire interior a través de las filtraciones. Esto demuestra que reducir significativamente la exposición al humo proveniente de la combustión es posible si se reemplaza o elimina un número considerable de artefactos. Nótese que hasta ahora, en la ciudad de Valdivia, han sido asignados solo 365 subsidios para recambio de estufas de un total aproximado de 8.200 equipos.

Tabla 2.
Consumo de combustible, precio de la vivienda y tipo de estufa para distintas opciones de compra de leña

TIPO DE ESTUFA	CANTIDAD DE VIVIENDAS	CONSUMO DE LEÑA PROMEDIO (m^3st/año)	PRECIO PROMEDIO DE LA VIVIENDA (Millones $)	ANTIGÜEDAD PROMEDIO DEL EQUIPO (años)
ESTUFA MODERNA DE COMBUSTIÓN MEJORADA	1.072	11,5	25,7	7,0
COCINA A LEÑA TRADICIONAL DE ACERO	814	10,5	13,5	12,2
ESTUFAS ANTIGUAS DE ACERO TIPO SALAMANDRA	51	7,5	11,5	11,2

Fuente: Elaboración propia

4.3. REDUCCIÓN EN EL CONSUMO DE LEÑA COMO CONSECUENCIA DEL MEJORAMIENTO TÉRMICO

Al analizar la encuesta se evidenció el alto consumo de leña para calefacción, con un consumo promedio de 11 m^3st/año por vivienda lo que representa aproximadamente 16.940 kWh/año. Como se menciona en la metodología, se modelaron los requisitos de acondicionamiento térmico de la Norma del año 2007, obteniendo un consumo promedio de energía de 10.740 kWh/año por vivienda después de realizar algún mejoramiento (*MMA, 2012*), lo que es un 37% más bajo que el consumo promedio actual. En un trabajo anterior, se presentó un prototipo de vivienda social donde el consumo resultó similar con 9.596 kWh/año, cumpliendo con los requisitos de mejoramiento térmico según la Norma del 2007 (*Schueftan and González, 2013*). Estas reducciones implicarían

Tabla 3.
Emisiones de $MP_{2,5}$ para viviendas tipo después del mejoramiento térmico, recambio de estufa y usando leña seca

NORMA	DEMANDA DE LEÑA (kg/año)	EMISIONES DE $MP_{2,5}$ (kg/año)			
		SEMI-HÚMEDA (25-35%)		LEÑA SECA (25%)	
		Cocina a leña	Estufa mejorada	Cocina a leña	Estufa mejorada
NT 2000	7.309	217	95	136	59
NT 2007 (CIVA)	3.144	94	41	58	25
NT 2007	2.805	84	36	52	23
ASHRAE 2005	1.707	51	22	32	14

NT2000 es la norma chilena previa que solo incluye aislación en la techumbre; NT2007 es la normativa en vigencia actualmente; NT2007 CIVA es la norma actual que se ha aplicado en las tipologías constructivas de la encuesta; y la ASHRAE es un estándar estadounidense del año 2005.
Fuente: Elaboración propia

un ahorro de 4 a 5 m^3st de leña por vivienda anualmente, con consecuencias importantes desde el punto de vista de la contaminación atmosférica.
Sin embargo, la Norma Térmica del 2007 significa un avance moderado. Estudios anteriores han demostrado que las intervenciones actuales de mejoramiento térmico se concentran en techos con un 74%, paredes con un 34%, ventanas con un 20% y 0% en pisos (*MINVU, 2013*). Por tanto, se realizaron simulaciones para obtener el potencial de reducción del consumo de energía en un escenario de reacondicionamiento, acercándose a los estándares de la OCDE, concretamente a la ASHRAE 2015. Este nivel de mejoramiento reduciría el consumo de energía de la vivienda social a 5.830 kWh/año, lo que significaría un ahorro del 65%. Esto representa una reducción de 7 m^3st/año de leña consumida respecto al promedio actual (*Schueftan and González, 2013*). A nivel nacional, otros estudios han evaluado la implementación del plan nacional de reacondicionamiento térmico, que incluye al 20% de las viviendas construidas antes del 2000 y se han calculado ahorros del 10.4% en el consumo de energía para todo el sector residencial y de 2,5% para el consumo nacional de energía. Actualmente, en Chile hay 4.207.972 viviendas que no cumplen con la Norma Térmica del 2007 (*MINVU, 2007b*).

4.4. TRES ESTRATEGIAS PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES

Se calculó la reducción de emisiones en un prototipo de vivienda para los tres programas implementados actualmente. La Tabla 3 describe las emisiones de $MP_{2,5}$ para distintos niveles de aislamiento térmico: NT2000 es la norma chilena previa que solo incluía aislación en la techumbre, la cual se tomará como línea base; NT2007 es la normativa en vigencia actualmente; NT2007 CIVA es la norma actual que se ha aplicado en las tipologías constructivas de la encuesta como se explicó en las secciones anteriores; y la ASHRAE es un estándar estadounidense del año 2005. Cada nivel de aislamiento determina el consumo de leña necesario para mantener una temperatura interior de 18°C.
La humedad de leña analizada considera un valor máximo del 25% y el contenido de humedad de la segunda opción oscila entre 25-35%. El incremento en las emisiones entre ambos contenidos de humedad se estimó con un factor de 1,6 (*MMA, 2013*). Por otra parte, fueron consideradas dos alternativas de artefactos de calefacción, siguiendo el programa de recambio de calefactores que reemplaza cocinas a leña de acero antiguas y calefactores tipo salamandra por equipos más modernos y eficientes. Los factores de emisión se expresan a través de la cantidad de gramos de material particulado presentes en el humo producido por un kilógramo de leña quemada y para diferentes tipos de equipos, los cuales fueron obtenidos del informe para el PDA de Temuco (*MMA, 2013*). Estos factores de emisión exhiben grandes niveles de incertidumbre, porque las condiciones ideales de un laboratorio donde se realizan los experimentos pueden ser muy diferentes a las condiciones reales de una vivienda en uso. La entrada de

aire, humedad de la leña, la manera en que se carga la estufa con leña, entre otros factores, pueden hacer variar en gran medida los niveles de emisión. Por ejemplo, experimentos en cocinas a leña de acero usadas para calefaccionar, manteniendo un alto nivel de flujo de aire en la combustión, produjeron emisiones de material particulado más bajos que las estufas modernas utilizadas con combustión ahogada (*CNE, 2009*). Esta forma de uso del equipo, como hemos señalado anteriormente, se utiliza en el 68% de las viviendas encuestadas para hacer durar más la leña. En la Tabla 3, los factores de emisión por kilo de leña usada alcanzaron 18,6 g/kg en el caso de las cocinas a leña de acero y 8.1 g/kg en estufas modernas (*MMA, 2013*). Este último es acorde con el valor promedio de una estufa moderna con entrada de aire secundario, bajo condiciones de 12 cargas (*CNE, 2009*). Si bien los resultados muestran que con el recambio de estufas se puede reducir emisiones, la demanda de energía se mantiene muy alta con el problema asociado que ello implica: degradación del bosque nativo, y bajas temperaturas interiores cuando los hogares no pueden acceder al volumen de leña requerido. Cuando se aplican estándares de eficiencia energética más altos, la reducción de emisiones también es más alta si lo comparamos con el uso de calefactores de alta eficiencia y el consumo de leña seca. La opción de no mejorar la aislación de las casas o mantener equipos de combustión antiguos, pero disminuir el nivel de humedad de la leña tiene los resultados más bajos en cuanto a la reducción de emisiones. Si se aplican estas tres estrategias juntas, las emisiones de $MP_{2,5}$ generadas por una vivienda social bajarían aproximadamente a 25 kg/año (bajo NT2007) y 14 kg/año (bajo norma ASHRAE), lo que representa una reducción entre 8-15 veces si se usa leña seca y entre 5-10 veces si se usa leña semi-húmeda.

En la Tabla 4 está representado el potencial de reducción de emisiones por cada segmento muestreado en la encuesta. El porcentaje de los hogares que ya poseen una estufa moderna (7 años de antiguedad promedio en el muestreo) fue del 55%, contra el 45% que cuentan con una cocina a leña de acero o un calefactor tipo salamandra (véase la Tabla 2). También en los resultados de la Tabla 2 se observa que la modalidad de compra de leña y la posesión de equipos más modernos de calefacción dependen de variables socioeconómicas, por lo cual, para obtener los resultados de la Tabla 4 estimamos el porcentaje de las viviendas que estarían usando leña seca en 60% para estufas modernas, y 40% para equipos más antiguos (sección 4.1 y Tabla 1).

La Tabla 4 demuestra que el mejoramiento en la aislación térmica de acuerdo con el nivel de la ASHRAE lleva a la mayor reducción, incluso sin cambiar la estufa o calidad de la leña. El primer nivel de reacondicionamiento, según la norma NT2007 CIVA de exigencia muy moderada, tendría un mayor potencial de reducción de emisiones que el cambio de equipo o de leña sin variar la aislación de la construcción. Sin embargo, si estas tres estrategias trabajan en conjunto, el nivel de las emisiones puede bajar incluso a la mitad de lo que se lograría con la mejor

Tabla 4.
Emisiones de $MP_{2,5}$ en el total de viviendas encuestadas, en función del mejoramiento en la aislación térmica, recambio de calefactores y el uso de leña seca.

NORMA	EMISIONES PROMEDIO DE $MP_{2,5}$ (toneladas/año)					
	GRUPO LEÑA SECA		GRUPO LEÑA SEMI-HÚMEDA		Emisiones totales estimadas en la encuesta	Emisiones totales con estufa mejorada y leña seca
	346 Cocinas a leña	643 Estufas mejoradas	519 Cocinas a leña	429 Estufas mejoradas		
N 2000	47	38	113	40	239	117
N 2007 (CIVA)	20	16	49	17	103	50
N 2007	18	15	43	16	92	45
ASHRAE 2005	11	8.9	16	9.5	56	27

Fuente: Elaboración propia

opción de reacondicionamiento. Cabe destacar que la reducción de la entrada de aire al mínimo en las estufas no fue considerada, lo que podría cambiar los resultados de manera importante. Por ejemplo, las cocinas a leña antiguas de acero normalmente funcionan con gran cantidad de aire lo que es comparable con una estufa moderna funcionando con el flujo de aire al máximo. Las emisiones para cocinas a leña en éste caso podrían ser sobreestimadas. De todas maneras, se ha optado por usar los factores de emisión oficiales (*MMA, 2013*). Además, si la cocina a leña se utiliza simultáneamente para cocinar, producir agua caliente sanitaria y calefacción de ambientes debería considerarse la eficiencia general del equipo. No se han realizado estudios empíricos de este tipo y la necesidad urgente de tener laboratorios para poder estudiar y certificar equipos se va a discutir en la sección siguiente.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos muestran la diversidad de motivos por los cuales hasta ahora no se ha logrado el efecto deseado en la reducción de la contaminación del aire en las ciudades del sur y centro de Chile. El hecho que el mayor potencial está en el acondicionamiento térmico todavía no ha sido reconocido. Las autoridades responsables de medio ambiente, vivienda, energía y salud están enfocadas principalmente en promover el recambio de estufas y el consumo de leña seca. Sin embargo, estas dos estrategias no están basadas en una investigación sistemática sobre los actuales niveles de eficiencia de leña y equipos de combustión, como demuestran algunos trabajos universitarios sobre el tema. Por ejemplo, durante mayo de 2014, poco después de haber sido declarada Valdivia zona saturada por material particulado, hubo una fuerte polémica entre autoridades de los Ministerios de Salud y Medio Ambiente, organizaciones comunitarias y el alcalde de la ciudad sobre cómo prevenir los altos niveles de material particulado. Las autoridades de salud y medio ambiente propusieron prohibir el uso de leña durante episodios de emergencia por altos niveles de material particulado (*Diario La Tercera, 2014*). Esto fue rechazado por la población y el alcalde, pero el hecho más importante es que ninguna de las partes involucradas consideró otro motivo distinto a la alta humedad de la leña como principal causa del alto nivel de material particulado, y nadie mencionó que la contaminación está relacionada con el consumo excesivo de leña en las viviendas con aislación térmica deficiente. Cabe señalar que la propuesta de prohibición de uso de leña se aplicaría en la eventualidad de que la concentración de $MP_{2,5}$ superara 110 ug/m^3, lo que las autoridades de medio ambiente determinaron como niveles de preemergencia (*SINCA, 2016*). Sorprendentemente, este nivel es el doble del nivel más alto permitido según la Norma Chilena de Calidad del Aire y 4 a 5 veces superior al nivel máximo recomendado por la OMS (*OMS, 2005*). Este nivel no se alcanza repentinamente, sino durante todo el día antes de la "preemergencia" que generalmente señala el comienzo de la prohibición. Por lo tanto, la mitigación de los efectos negativos que tiene

Figura 7.
Construcción de viviendas bajo parámetros Passivhaus en Valdivia, detalles de aislación de sobrecimientos y muros.



sobre la salud es limitado, porque cuando ya se están dando los eventos de contaminación sobre los límites establecidos en la norma, todavía no se previenen. Además, con el segundo año de vigencia de esta normativa de restricción, la contaminación de 2015 resultó mayor al 2014 y 2013 (*Ortega et al., 2016; SINCA, 2016*). Un diputado por la región propuso la creación de un subsidio para acceder a leña certificada para aliviar los efectos que esto podría tener en hogares (*Berger, 2014*). Es bien conocido que los subsidios para acceder a combustibles aumentan los riesgos y no resuelven el problema de fondo que es la baja eficiencia y alta demanda de energía (*González, 2013*). Lo más probable es que en Valdivia, el subsidio para acceder a leña aumentaría la contaminación del aire. Debido a las emergencias ambientales por contaminación en ciudades similares como Chillán y Los Ángeles, los senadores y ministros de gobierno propusieron subsidios para la instalación de gas natural y el suministro de este a bajo costo como sustituto de la leña (*Navarro, 2014; y Pacheco, 2014*). Para implementar esta propuesta, en la región tendría que construirse un puerto para poder recibir buques con gas natural licuado además de construir una red de gasoductos para su distribución. Nuevamente, no se presentó ninguna opción para mejorar la eficiencia de las viviendas.

Dada la situación de emergencia por contaminación del aire que está ocurriendo en todas las regiones del sur y centro de Chile, y el hecho que hasta ahora las medidas no han logrado reducirla, ni crear incentivos para mejorar considerablemente la aislación térmica, a continuación proponemos un conjunto de medidas para mejorar las actuales políticas, basadas en el análisis previo:

a) Se necesitan con urgencia datos empíricos, que sean fiables, sobre leña, equipos de combustión, viviendas y la receptividad de la sociedad ante los cambios que se han propuesto. Establecer una agenda con las tareas prioritarias e involucrar a las universidades para que se comprometan a: 1) crear laboratorios nacionales y regionales para la investigación sobre calefactores y técnicas de combustión; 2) medir los niveles reales de humedad de la leña; 3) estudiar el consumo de leña en relación a los distintos niveles de ingreso; 4) implementar un sistema de educación continua sobre el tema y programas de asistencia en cada ciudad.

b) En vez de poner énfasis en la certificación de leña y el recambio de estufas, la atención política debería centrarse en el mejoramiento térmico de las viviendas, que presenta el mayor potencial para reducir la contaminación del aire.

c) Es urgente investigar los efectos de los equipos que permiten combustión ahogada en la emisión de MP, y trabajar el tema en conjunto con la industria y el comercio. Esto reducirá considerablemente la cantidad de humo que emiten los equipos, aunque dada la baja eficiencia térmica de las casas se quemaría más leña por la presencia de filtraciones. Adicionalmente, el calefactor está ubicado en un espacio determinado de la casa, por lo que incluso si se reemplaza por una tecnología más eficiente, las temperaturas interiores y

Figura 8.
Viviendas en construcción bajo la normativa térmica actual (NT2007) en Valdivia





los problemas de salud relacionados con ello no mejorarán considerablemente sin el adecuado aislamiento térmico. Por lo tanto, el recambio de estufas debe ir de la mano con la iniciativa de mejoramiento en la calidad térmica de la vivienda.

d) Dado que después de años en práctica, el programa de certificación de leña actualmente cubre solo un 3% de la madera usada como combustible, las premisas y metas del programa deberían ser revisadas críticamente. Metas factibles para el futuro pueden incorporarse a una estrategia más simple y práctica, centrándose en su fase inicial solo en los componentes de humedad y calidad de la leña, abarcando la verificación del mercado informal, para después gradualmente avanzar sobre los temas de sustentabilidad y fiscales.
e) Salvo la certificación, no existe en forma sistemática ninguna otra medición de humedad de la leña. Es urgente ayudar a los hogares y al mercado informal de leña a monitorear los niveles de humedad en forma regular para lograr un contenido apropiado. En otras experiencias, el monitoreo de la energía ha mostrado resultados positivos para la reducción del gasto energético.

f) El subsidio actual de fomento al mejoramiento térmico destinado a las familias de bajos ingresos debería incluir también a los que ya han sido beneficiados por otros subsidios y debería extenderse a todos los grupos sociales vulnerables y no solo a los propietarios de viviendas sociales.

g) Deberían disminuirse las limitaciones por nivel de ingreso para poder acceder al subsidio de mejoramiento térmico y así incluir hogares de ingresos medios. Es más probable que los sectores de ingresos medios inviertan en mejoramiento térmico, ya que los sectores de ingresos bajos no tienen capacidad de pago, y los sectores de altos ingresos no tienen mayor incentivo para hacerlo porque pueden pagar la cantidad de leña necesaria para lograr niveles de confort adecuados al interior de la vivienda (*Howden-Chapman et al., 2012*).

h) Deberían implementarse protocolos de seguimiento y monitoreo para poder verificar los resultados del reacondicionamiento térmico. No solamente se necesita aumentar la cantidad de subsidios, sino también su correcta ejecución. Las encuestas a hogares, después de haber realizado la intervención, demuestran mejoras en distintos ámbitos como son la condensación, reducción de moho y vida útil de los materiales, pero otros problemas como las filtraciones y puentes térmicos no se han resuelto (*MINVU, 2013*). El mismo estudio muestra que algunas veces, el subsidio se usa para otro tipo de mejoras de la vivienda que no están relacionadas con la aislación térmica, lo que también debería ser monitoreado.

i) Establecer prioridades entre los elementos de aislación que se van a reacondicionar. Actualmente, es muy

Figura 9: Imagen de barrio residencial en Valdivia un día de invierno



común ver inversiones financiadas por el subsidio para colocar ventanas de doble vidrio en viviendas que ni siquiera tienen aislamiento en el techo. Priorizar el mejoramiento de ciertos elementos claves podría asegurar que los beneficiarios estén recibiendo una intervención eficiente en reducir el consumo de energía en sus casas.

j) En el caso de las viviendas sociales, la construcción de ampliaciones realizadas por los propietarios no están consideradas dentro del subsidio, siendo contemplada en el mejoramiento solamente la vivienda original. Las ampliaciones son en realidad muy comunes y se pueden encontrar en más del 71% de las viviendas (*MINVU, 2013*). Si la ampliación no está térmicamente bien aislada, la eficiencia general de la vivienda baja considerablemente, en algunos casos hasta anular los efectos del reacondicionamiento.

k) Investigar e implementar incentivos para familias de ingresos medios y altos para que financien por sí mismos el mejoramiento térmico, por ejemplo, a través de subvenciones destinadas a asesorías técnicas, públicas y privadas, que apoyen a los hogares en cuanto a el diagnóstico e implementación de medidas de eficiencia térmica.

l) Los hogares actualmente no están informados sobre los beneficios del mejoramiento térmico, pero han demostrado que lo valoran después de recibir el subsidio. Las encuestas realizadas después del reacondicionamiento han demostrado que los usuarios están dispuestos a invertir en el mejoramiento térmico de sus viviendas después de conocer sus resultados y el 55% de este grupo incluso es capaz de percibir mejoras en su salud (*MINVU, 2013*).

m) Realizar investigaciones sobre los materiales que se usan para aislamiento térmico, para lograr acuerdos con fabricantes y comercios y así facilitar la compra a precios accesibles o créditos, y considerar subsidios para la compra de materiales destinados a algunos sectores sociales que realicen los trabajos por su cuenta.

n) Deberían considerarse también las barreras al mejoramiento térmico, principalmente su alto costo en comparación con otras intervenciones, la capacitación necesaria para ejecutar la intervención y la falta de educación sobre este tema en todos los grupos de la población según nivel de ingresos.

o) En algunos estudios se ha propuesto subir el precio de la leña, pero en los países con situación energética similar como el sector residencial de Nueva Zelanda se ha demostrado que esto podría causar aumento en la desigualdad en cuanto al acceso a la energía, pobreza energética y problemas de salud asociados a bajas temperaturas dentro de la vivienda (*Howden-Chapman et al., 2012*). En Chile, esto aumentaría considerablemente la pobreza energética, porque actualmente el valor promedio del gasto anual en energía en Valdivia equivale a aproximadamente cuatro salarios mínimos (*Reyes et al., 2015*).

p) Ofrecer la posibilidad de créditos blandos para la compra de leña antes de que comience el invierno, y para mejorar los lugares de almacenamiento, lo que permitiría utilizar leña de mejor calidad al momento de la combustión.

q) Para poder financiar el recambio de cocinas a leña antiguas, a los hogares de menores ingresos se les deberían proporcionar otras alternativas de artefactos para cocinar y calentar agua, y no sólo un equipo para calefacción, de otra manera optarán por no participar en el programa de recambio de equipos, como está ocurriendo actualmente.

El mejoramiento térmico de viviendas, a pesar de tener por mucho el mayor potencial para reducir el consumo de leña, mejorar la calidad del aire, el confort en el interior de las viviendas y reducir la degradación del bosque, aún no ha sido identificado como una prioridad. Según el presente estudio, las dos principales estrategias actualmente implementadas tendrán un potencial muy limitado para mejorar la calidad del aire: i) el nivel de aceptación de la leña certificada es muy bajo y ii) el recambio de estufas tiene un bajo impacto ambiental si se siguen produciendo estufas con la opción de poder disminuir la cantidad de flujo de aire al mínimo. El conocimiento sobre la realidad de las viviendas en mayor detalle y una mejor interacción entre el sector público y privado podría acelerar el proceso que se necesita para combinar de manera exitosa las tres estrategias objeto de estudio.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo recibido por parte de CONICYT (Comisión Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Chile), CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina), y LACEEP (Latin American and Caribbean Environmental Economics Program).

6. REFERENCIAS

Adrianzén, M. A., 2013. Improved cooking stoves and firewood consumption: Quasi-experimental evidence from the Northern Peruvian Andes. Ecological Economics, 89, 135–143.

Allen, R., Leckie, S., Millar, G., Brauer, M., 2009. The impact of wood stove upgrades on indoor residential air quality. Atmospheric Environment, 43, 5908-5915.

Berger, 2014. Diario Austral, 30 de mayo 2014. Diputado Bernardo Berger pide subsidios para leña certificada. http://www.australvaldivia.cl/impresa/2014/05/30/full/5/. Accedido el 21 de junio de 2014.

Bosca, N. Z., 2014. Stove Manufacturer. Private communication by e-mail. http://www.bosca.co.nz/ Accedido el 21 de junio de 2014.

Bustamante, W., Cepeda, R., Martínez, P., Santa María, H., 2009. Eficiencia energética en la vivienda social, un desafío posible, en: Camino al Bicentenario, Propuestas para Chile, Santiago, pp. 253-282. http://politicaspublicas.uc.cl/cpp/static/uploads/adjuntos_publicaciones/adjuntos_publicacion.archivo_adjunto.a4363393f53cc273.436170c3ad74756c6f20395f3039202d204566696369656e63696120656e657267c3a97469636120656e2076697669656e646120736f6369616c2e706466.pdf. Accedido el 21 de junio de 2014.

Cereceda-Balic, F., Fadic, X., Llanos, A. L., Guevara, J. L., Vidal, V., Díaz-Robles, L. A.,Schiappacasse, N., Etcharren, P., 2012. Obtaining PAHs Concentration Ratios and Molecular Markers for Residential Wood Combustion: Temuco, a Case Study. Journal of the Air & Waste Management Association, 62, 44-51.

Chávez, C.A., Stranlund, J. K., Gómez, W., 2011. Controlling urban air pollution caused by households: uncertainty, prices, and income. Jou. of Env. Management, 92, 2746-2753.

Chile, 1994. Ley Nº 19.300, Ley de Bases del Medio Ambiente. http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=30667. Accedido el 21 de junio de 2014 .

Chile, 2006. DS Nº 255, Reglamenta Programa de Protección del Patrimonio Familiar. http://www.dipres.gob.cl/574/articles-76574_doc_pdf.pdf. Accedido el 21 de junio de 2014.

Chile, 2008. Resolución 1600/2008, Contraloría General de la República. Decreto Nº 34, Declara Alerta Sanitaria en las Comunas de Temuco y Padre de Las Casas. http://documentos.minsal.cl/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/4ed5e2b2-af3e-4e3a-ba07-6dd49fe7a2a5/decreto_34_13_SP.docx. Accedido el 21 de junio de 2014.

Chile, 2011. DS Nº39. Establece Norma de Emisión de Material Particulado, para los Artefactos que Combustionen o puedan Combustionar Leña y Derivados de la Madera. http://www.leychile.cl/Consulta/listado_n_sel?_grupo_aporte=&sub=512&agr=1020&comp=. Accedido el 21 de junio de 2014.

CNE, 2009. Comisión Nacional de Energía. Certificación de artefactos a leña. Lic. 610-7-LE09. Informe final, Ambiente Consultores.

CONAMA, 2009. Elaboración de una Estrategia para el Control de la Contaminación por Leña en Ciudades del Centro y Sur de Chile. Ambiente Consultores.

Conway, F., 2012. Certification and the State: Market-Driven Governance and Regulation in a Chilean Firewood Program. Journal of Environment & Development 21, 4, 438–461.

Diario La Tercera, 17 mayo 2014. Seis urbes aplican alerta sanitaria y prohíben uso de leña en preemergencia. http://www.latercera.com/noticia/nacional/2014/05/680-578486-9-seis-urbes-aplican-alerta-sanitaria-y-prohiben-uso-de-lena-en-preemergencia.shtml

Gómez-Lobo, A., Lima, J. L., Hill, C., Meneses, M., 2006. Diagnóstico del Mercado de la Leña en Chile. Informe Final preparado para la Comisión Nacional de Energía de Chile. Centro Micro Datos, Departamento de Economía, Universidad de Chile. http://www.sinia.cl/1292/articles-50791_informe_final.pdf. Accedido el 21 de junio de 2014.

González, A.D., 2013. Management of Disaster Risks Derived from Large Fuel Subsidies of Natural Gas in Argentina. Climate Change and Disaster Risk Management, Walter Leal Ed., Springer Books. http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-31110-9_30#page-1. Accedido el 21 de junio de 2014.

Howden-Chapman, P., Chapman, R., 2012. Health co-benefits from housing related policies. Environmental Sustainability-Current Opinion, 4, 414-419.

Howden-Chapman, P., Viggers, H., Chapman, R., O´Sullivan, H., Telfar Barnard, L., Lloyd, B., 2012. Tackling cold housing and fuel poverty in New Zealand: A review of policies, research, and health impacts. Energy Policy, 49, 134-42.

INFOR, 2012. Estudio de Consumo Domiciliario Urbano de Material Leñoso en Valdivia. Instituto Forestal, Valdivia. Accedido el 21 de junio de 2014. http://www.combustiblessolidosag.cl/index.php/descarga-documentos

MINVU, 2007a. Software de Certificación de Comportamiento Térmico para Edificios en Chile CCTE CL v2, Fundamentos Técnicos.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile. http://www.minvu.cl/aopensite_20070212164420.aspx. Accedido el 21 de junio de 2014.

MINVU, 2007b. Programa de Inversión Pública para Fomentar el Reacondicionamiento Térmico del Parque Construido de Viviendas.

MINVU, 2013. Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile, y Ministerio de Energía. Evaluación Independiente del Programa de Reacondicionamiento Térmico. Informe Final. ARQ Energía/ENER Solutions. http://www.bcn.cl/obtienearchivo?id=documentos/10221.1/37394/1/24_Evaluaci%C3%B3n%20Independiente%20del%20Prog%20de%20Reacondicionamiento%20T%C3%A9rmico_Soluciones%20Energ%C3%A9ticas _584105-18_LP11.pdf. Accedido el 21 de junio de 2014.

MMA, 2010. Ministerio de Medio Ambiente. Evaluación de la Demanda de Calefacción y Propuestas de Mejoras en la Envolvente Térmica en Viviendas de la Ciudad de Valdivia. Centro de Investigación de la Vivienda Austral, Universidad Austral de Chile, Valdivia. Accedido el 21 de junio de 2014. http://www.combustiblessolidosag.cl/index.php/descarga-documentos

MMA, 2012. Ministerio de Medio Ambiente. Evaluación Técnica y Económica de Viviendas más Incidentes en Demanda Térmica en el Radio Urbano de la Ciudad de Valdivia.

MMA, 2013. Ministerio de Medio Ambiente. Evaluación del Plan de Descontaminación de Material Particulado Fino (MP2,5) para las Comunas de Temuco y Padre de Las Casas. GreenLab UC – Dictuc.

MMA, 2014. Medio Ambiente amplía plazo de postulación para Subsidio de Recambio de Calefactores en Temuco y Padre de Las Casas. http://www.mma.gob.cl/1304/w3-article-53594.html. Accedido el 21 de junio de 2014.

Mundaca, T. L., 2013. Climate change and energy policy in Chile: Up in smoke? Energy Policy, 52, 235-248.

Navarro, 2014. Manifiestan preocupación por emergencia sanitaria ambiental en Chillán y Chillán Viejo. Senado República de Chile. Accedido el 21 de junio de 2014. http://www.senado.cl/manifiestan-preocupacion-por-emergencia-sanitaria-ambiental-en-chillan-y-chillan-viejo/prontus_senado/2014-05-26/091055.html

Neira, E., Vega, M., Pinares, J. Secado de leña en el sur de Chile. Capítulo no publicado. Agrupación de Ingenieros Forestales por el Bosque Nativo. Valdivia, Chile. 62 p.

Nord-larsen, T., Bergsted, A., Farver, O., Heding, N., 2011. Drying of firewood: the effect of harvesting time, tree species, and shelter of stacked wood. Biomass and Bioenergy 35, 2993-2998

Ortega, V., Reyes, R., Schueftan, A., González, A. D. y Rojas, F., 2016. Contaminación atmosférica: Atacando el síntoma, no la enfermedad. Análisis de los sistemas de calefacción residencial y los programas de descontaminación atmosférica en la Región de Los Ríos. En: Boletín BES, Bosques - Energía - Sociedad, Año 2. N° 3. Febrero 2016. Observatorio de los Combustibles Derivados de la Madera OCDM. Instituto Forestal, Chile. p. 24

Ortega, V., Schueftan, A., González, A. D. y Reyes, R., 2015. Frío, Leña y Contaminación. Problemas y Oportunidades Derivados de la Mala Aislación Térmica de las Viviendas en la Región de Los Ríos. En: Boletín BES, Bosques - Energía - Sociedad, Año 1 N° 2. Diciembre 2015. Observatorio de los Combustibles Derivados de la Madera OCDM. Instituto Forestal, Chile. p. 16

Pacheco, 2014. Ministro de Energía resalta nefastos efectos por uso de leña húmeda en el sur. Diario La Tercera. Accedido el 21 de junio de 2014. http://www.latercera.com/noticia/negocios/2014/05/655-580254-9-ministro-de-energia-advierte-nefastos-efectos-por-uso-de-lena-humeda-en-el-sur.shtml

Reyes, R., Nelson, H., Navarro, F., Retes, C., 2015. The Firewood Dilemma: human health in a broader context of well-being in Chile. Energy for Sustainable Development, 28, 75-87.

Schueftan, A., González, A. D., 2013. Reduction of firewood consumption by households in south-central Chile associated with energy efficiency programs. Energy Policy, 63, 823-833.

SINCA, 2016. Servicio de información nacional de calidad del aire, http://sinca.mma.gob.cl/.

SNCL, 2016a. Sistema Nacional de Certificación de Leña. Comerciantes Autorizados Región de Los Ríos. http://lena.cl/comerciantes-certificados-region-de-los-rios/

SNCL, 2016b. Sistema Nacional de Certificación de Leña. Manual de secado. http://lena.cl/wp-content/uploads/2015/08/Manual-de-secado.pdf

WHO, 2005. Air Quality Guidelines. World Health Organization, p. 278-279. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf.

BES

BOSQUES | ENERGÍA | SOCIEDAD

Número 04 | ABR. 2016

Proyecto apoyado por

CORFO

Conaf

Ministerio de Energía

Gobierno de Chile