

BES

BOSQUES | ENERGÍA | SOCIEDAD



BES | Nº 5 | AÑO 2
JUNIO 2016

ISSN: 0719-7136



DEMANDA DE LEÑA Y POLÍTICAS DE ENERGÍA EN EL CENTRO - SUR DE CHILE

BES

BOSQUES | ENERGÍA | SOCIEDAD

Informes BES | Número 05 | Año 02 | JUN. 2016

Producción y diagramación: 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 for Sustainable Development, vol. 33 (2016) pp. 26-35 **Colaboradores:** 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., Sommerhoff, J., González, A. 2016. Demanda de leña y políticas de energía en el centro-sur de Chile. En: Boletín BES, Bosques - Energía - Sociedad, Año 2. N° 5, Junio 2016. Observatorio de los Combustibles Derivados de la Madera OCDM. Instituto Forestal, Chile. p. 20.

índice

03 RESUMEN

04 1. INTRODUCCIÓN

08 2. METODOLOGÍA

10 3. RESULTADOS
Y DISCUSIÓN

14 4. CONCLUSIONES
E IMPLICANCIAS EN
POLÍTICAS PÚBLICAS

17 5. REFERENCIAS

DEMANDA DE LEÑA Y POLÍTICAS DE ENERGÍA EN EL CENTRO - SUR DE CHILE

Alejandra Schueftan^{a,b}, Jorge Sommerhoff^c, Alejandro D. Gonzalez^d

^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 Certificación e Investigación de la Vivienda Austral (CIVA), Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile, jsommerh@uach.cl

^d Instituto Andino-Patagónico de Tecnologías Biológicas y Geoambientales (IPATEC, CONICET y Universidad Nacional del Comahue), Bariloche, Argentina, gonzalezad@comahue-conicet.gob.ar

RESUMEN

La leña es el principal combustible para calefacción en el centro-sur de Chile, siendo su combustión la principal fuente de contaminación atmosférica por emisión de material particulado (MP). Durante los últimos tres años la contaminación ha llegado a tal nivel que varias ciudades fueron declaradas saturadas por material particulado y se iniciaron planes de descontaminación. Los riesgos para la salud asociados a contaminación atmosférica por material particulado son ampliamente conocidos y los registros muestran un aumento notable de las atenciones hospitalarias durante el invierno. El presente documento analiza la efectividad de diferentes estrategias para reducir las emisiones provenientes de la combustión de leña en las viviendas. Una encuesta realizada a 2025 hogares muestra un alto consumo de leña para calefacción residencial en la ciudad de Valdivia y una baja eficiencia térmica de la envolvente de las viviendas, lo que resulta en un excesivo consumo de leña y en bajas temperaturas interiores, en especial en hogares de bajos ingresos. Los efectos combinados de la insuficiente eficiencia energética de las viviendas, el bajo confort ambiental y el gran porcentaje de los ingresos que se invierten en calefacción resultan en un alto nivel de pobreza de energía. En la ciudad de Valdivia encontramos que el 52% de los hogares gastan más del 15% de sus ingresos en calefacción, mientras que otro 27% presenta niveles de gasto en torno al 10%. Este documento analiza tres escenarios para mejorar la eficiencia y reducir el consumo de leña para calefacción, el primero considera la renovación de las estufas, el segundo mejoras en la aislación térmica de la vivienda, y el tercero una combinación de ambas. Se encontró que estas mejoras resultan en importantes reducciones en el consumo de leña. Además, se comparó el gasto en calefacción antes y después de las mejoras, observándose períodos de retorno de la inversión entre 1 y 8 años para los distintos escenarios. De acuerdo a los resultados del estudio se puede decir que el reacondicionamiento térmico de las viviendas alivia la situación de pobreza de energía, mientras que la sola renovación de los calefactores no produce el mismo efecto, ni mejora el confort ambiental interior.

Palabras clave | leña, calefacción de viviendas, contaminación atmosférica, pobreza de energía, eficiencia energética

1. INTRODUCCIÓN

En Chile, la energía generada a partir de la utilización de biomasa forestal representa el 24% de la matriz de energía primaria (MINENERGÍA, 2014). El 95% de las viviendas de las regiones del centro-sur de Chile usan leña para calefacción y en algunos casos también para la cocción de alimentos (INFOR, 2012).

Como la biomasa es la fuente de energía más barata, no solamente el sector residencial, sino también grandes edificaciones públicas, tales como colegios y hospitales, son calefaccionadas con leña. Actualmente la leña es 4, 5 y 6 veces más barata que el petróleo, el gas licuado y la electricidad, respectivamente (Schueftan y González, 2013). Si bien, la leña se ha utilizado durante miles de años, en ciudades densamente pobladas esta práctica ha tenido consecuencias severas en términos ambientales y sociales (Cereceda-Balic et al., 2012).

El objetivo de este estudio es identificar las principales causas de la contaminación atmosférica y analizar las razones que explican por qué las

políticas actuales no han tenido éxito en reducir la contaminación y los niveles de pobreza de energía en el centro-sur de Chile. Tras identificar esas razones y evaluar cuantitativamente las posibles mejoras, se lleva a cabo un análisis costo-beneficio para cada una de ellas. Se sostiene que los programas actuales tienen un potencial muy limitado para reducir la contaminación atmosférica. En este contexto, el documento aporta información para generar soluciones que tengan un mayor potencial para reducir el consumo de leña y en consecuencia las emisiones de material particulado (MP), y mejorar el confort ambiental en el interior de las viviendas.

Este trabajo se divide en tres secciones. En la primera sección (punto 1.3) se presenta un resumen de los programas de descontaminación atmosférica activos durante los últimos años. La segunda sección detalla la metodología del estudio, mientras que en la tercera sección se presentan los resultados y se discuten las diferentes propuestas de

reacondicionamiento y sus costos.

1.1. ASPECTOS AMBIENTALES

Actualmente, las ciudades de Talca, Chillán, Los Ángeles, Temuco, Valdivia y Osorno en el centro-sur de Chile, sufren de graves problemas de contaminación atmosférica con concentraciones de material particulado de MP_{10} y $MP_{2.5}$ que sobrepasan los estándares nacionales e internacionales. En Temuco, un análisis espectroscópico detallado demostró que la principal fuente de contaminación es la combustión de leña, a tal nivel que la ciudad se considera un caso excepcional de contaminación por una sola fuente (Cereceda-Balic et al., 2012). Un patrón similar se observó en las ciudades de Valdivia y Osorno (MMA, 2016). Estas dos ciudades fueron declaradas saturadas por material particulado $MP_{2.5}$ en el 2014 (Schueftan y González, 2015). La declaración oficial de saturación por MP es seguida por la implementación de un programa público que busca mitigar

Imagen 1.
Acopio de leña para calefacción



la contaminación atmosférica (Plan de Descontaminación Atmosférica). La contaminación atmosférica se incrementa por el uso de calefactores que permiten la operación en modo de combustión lenta (entrada de aire ahogada). Este tipo de calefacción se usa en la mayoría de los hogares, y genera elevadas emisiones de material particulado. Calefactores probados en Chile (CNE, 2009) y Australia (Jordan y Seen, 2005) demostraron que el modo de operación de combustión lenta aumenta las emisiones de material particulado en 10 veces, y que este aumento ocurre igualmente en estufas antiguas y nuevas. Otros países de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) tienen regulaciones más estrictas sobre el uso de este tipo de calefactores. Por ejemplo, en Nueva Zelanda los calentadores que permiten el modo de operación ahogada están prohibidos (Bosca, 2014). Esta práctica, sin embargo, es habitual en la mayoría de las ciudades del centro-sur de Chile. En el caso de Valdivia se encontró que el 68% de los hogares cierra completamente el tiraje de sus estufas y el 32% lo cierra de forma parcial. El cierre del tiraje tiene consecuencias económicas y sociales. Si bien, los hogares consumen menos leña, las emisiones aumentan enormemente lo que afecta la salud de la población e incrementa el gasto de los servicios de salud privados y públicos. Las emisiones también dependen de la calidad de la leña. El 97% de la leña se compra en el mercado informal y hay poco control sobre su contenido de humedad, lo que afecta directamente la eficiencia del proceso de combustión (Schueftan y González, 2015). El uso de leña para calefacción también tiene consecuencias a nivel global, debido a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). Estudios demuestran que el sistema de calefacción residencial de Valdivia libera anualmente 94.500 toneladas de CO_2e^1 a la atmósfera cuando

la combustión se considera neutra en el ciclo de carbono (2,2 toneladas CO_2e /vivienda/año), y 285.000 toneladas de CO_2e cuando no se considera neutra (7,1 toneladas CO_2e /vivienda/año) (Reyes et al., 2015). Las emisiones de GEI de la leña dependen del origen de la biomasa utilizada. En el caso de Valdivia dicho origen es incierto, ya que la mayor parte de la leña proviene de fuentes informales y no de bosques manejados de manera sustentable, en los cuales se podría considerar neutro en el ciclo de carbono (Reyes et al., 2015; Schueftan y González, 2015). Otro impacto ambiental negativo del uso masivo de leña se relaciona con el uso del suelo y la degradación de los bosques nativos. Este problema, que se puede observar a nivel mundial y que va en aumento, puede verse en el trabajo de Arabatzis et al. (2012). Este aspecto también ha sido estudiado para el caso de Valdivia por Reyes et al. (2015) y es muy relevante de considerar, dado que los bosques forman parte esencial de la economía local.

1.2. ASPECTOS ECONÓMICOS Y SOCIALES

El precio de la leña varía según la especie, las que además presentan diferencias en su poder calorífico. Este tema es importante para la implementación de políticas relacionadas al uso de la leña, ya que el precio determina que especie se cosecha (Zafeiriou et al., 2011). Estudios realizados para la ciudad de Valdivia muestran un consumo medio de leña de aproximadamente 12 m^3 estéreos (aprox. 8 m^3 sólidos) anuales, correspondiente a un consumo energético de 300 a 540 kWh/m^2 para calefacción (MMA, 2010 y 2012). Esta demanda energética es muy alta para una zona climática como esta (Schueftan y González, 2013). El consumo de energía en Valdivia es de $11,1 \text{ kWh/año}$ por grado-día, mientras que en Estocolmo (Suecia)

es de $3,6 \text{ kWh/año}$ por grado-día, lo que se debe básicamente a diferencias en la eficiencia térmica de las construcciones (Schueftan y Gonzalez, 2013). En Chile, los códigos de construcción regulan las características térmicas de la envolvente de una vivienda (paredes, pisos, techos y ventanas), pero tienen requerimientos poco exigentes comparados con las regulaciones de otros países. El estándar actual se implementó el 2007, sin embargo, la mayoría de las construcciones son anteriores a ese año. Por ejemplo, en la ciudad de Valdivia, el 85% de las viviendas se construyeron antes del 2007 (Schueftan y González, 2013). Las imágenes 1 y 2 muestran tipologías constructivas comunes en la ciudad de Valdivia y en el centro-sur de Chile en general, todas las cuales tienen los mismos problemas de aislación térmica. Además de los altos niveles de emisión de material particulado, las viviendas en las regiones del centro-sur de Chile se caracterizan por presentar bajas temperaturas interiores. Mientras que las temperaturas interiores recomendadas por organismos de salud fluctúan entre 18°C a 21°C , estudios muestran que las temperaturas al interior de las viviendas entre Concepción y Puerto Montt varían entre $14,3^\circ\text{C}$ y $16,5^\circ\text{C}$ durante el invierno (Bustamante et al., 2009), a pesar del alto consumo de leña. Las tres principales características que definen un estado de pobreza de energía son: 1) un alto costo de la energía en relación a los ingresos; 2) construcciones ineficientes desde un punto de vista térmico; y 3) un bajo nivel de confort ambiental (Healy y Clinch, 2004; Walker et al., 2012 y 2014). Una consecuencia importante de la pobreza de energía es que los hogares deben elegir entre calefaccionar la vivienda o satisfacer otras necesidades básicas, tales como vestimenta, alimentación y educación (Howden-Chapman et al., 2012). Como respuesta a los altos niveles de contaminación, las autoridades han

¹ Toneladas de CO_2e indican la cantidad total de varios gases de efecto invernadero emitidos en un proceso, en unidades equivalentes de CO_2 .

prohibido parcial o totalmente el uso de leña durante emergencias ambientales en las ciudades del centro-sur de Chile. Esto ha tenido consecuencias graves para los hogares que no tienen acceso a otros combustibles. Durante los periodos de restricción al uso de leña, los hogares de ingresos altos tienen la opción de calefaccionar con gas licuado o electricidad, mientras que los hogares de ingresos más bajos no tienen esa posibilidad. Por esta razón, deben lidiar con el frío y la humedad, lo que afecta su salud y su calidad de vida.

Construcciones con una deficiente aislación térmica afectan la salud de las personas de dos maneras: manteniendo bajas temperaturas y una alta humedad relativa interior, y generando un sobreconsumo de energía para calefacción lo que se traduce en una mayor contaminación atmosférica. Los efectos nocivos de la contaminación atmosférica están bien documentados (Cereceda-Balic et al., 2012; Allen et al., 2009; Fuenzalida et al., 2013). Entre Temuco y Puerto Montt, las

hospitalizaciones asociadas a bronquitis crónica tienen una mayor incidencia que en el resto del país. Además, se observa una notable incidencia de enfermedades cardíacas en la población mayor durante el invierno (Gómez-Lobo et al., 2006). Por otra parte, las bajas temperaturas al interior de la vivienda también afectan la salud, aunque en Chile ha sido un tema poco estudiado. En Nueva Zelanda, se encontró una relación directa entre bajas temperaturas intradomiciliarias y hospitalizaciones en grupos socioeconómicos más bajos (Howden-Chapman y Chapman, 2012). La exposición prolongada a temperaturas interiores bajo los 16°C produce estrés respiratorio, y bajo los 12°C puede causar estrés cardiovascular (Howden-Chapman et al., 2012). Por otro lado, las viviendas frías generalmente son húmedas. En días fríos, las viviendas sin aislación térmica y sistemas de ventilación controlada tienen sus paredes interiores cerca del punto de rocío, generando moho que afecta el sistema respiratorio (Bustamante et al., 2009).

1.3. PROGRAMAS EXISTENTES

Se han desarrollado una serie de programas públicos y privados orientados a enfrentar esta situación. Estos programas incluyen el reacondicionamiento térmico de las viviendas existentes (mejoras en la aislación y hermeticidad de la envolvente de la vivienda), el aumento en la disponibilidad de leña seca certificada, y un subsidio para el reemplazo de estufas a leña antiguas por modelos más modernos y eficientes. Algunos de estos programas se orientan a los sectores socioeconómicos más vulnerables. Hasta el momento, el impacto del programa de recambio de calefactores no ha sido significativo. Por el contrario, se ha creado un nuevo problema social debido al remplazo de cocinas a leña (las cuales sirven para calefaccionar y cocinar) por estufas que no sirven para cocinar. Eventualmente, esto podría aumentar los niveles de pobreza de energía, al generar una mayor dependencia del gas licuado y la electricidad (Schueftan y González,

Imagen 2.

Tipologías constructivas comunes para grupos socioeconómicos medio y bajo en la ciudad de Valdivia



Imagen 3.

Viviendas construidas bajo estándar europeo en Valdivia



2015).

El programa de reacondicionamiento térmico de viviendas cubre hasta \$2.500.000 por hogar, con un aporte del propietario de \$ 74.000 (el sueldo mínimo en Chile es \$250.000 mensuales²). El subsidio para el recambio de calefactores cubre aproximadamente dos tercios de los costos, considerando la instalación de una estufa nueva.

En relación al mercado de la leña, existe una iniciativa público-privada que promueve su regulación (Conway, 2012). El programa de certificación de leña opera desde el año 2005, promoviendo la creación de un mercado formal, la comercialización de leña seca (25% en base seca) y la implementación de planes de manejo para proteger los bosques. En Valdivia, el 57% de la leña proviene de bosques nativos, por lo que es un aspecto muy importante (INFOR, 2015). Hasta el momento no es obligación utilizar leña certificada y existe poca oferta. El monitoreo de los niveles de humedad de la leña es difícil de realizar debido al clima húmedo de la región. Además, para obtener leña seca los distribuidores deben almacenarla en bodegas y atrasar la venta, aumentando así el precio final, lo que hace a la leña certificada más cara que la leña que se vende en el mercado informal.

2. METODOLOGÍA

2.1. PROPUESTAS DE REACONDICIONAMIENTO Y COSTO PARA LOS HOGARES

La metodología consiste en una evaluación de aspectos técnicos y económicos asociados al mejoramiento del desempeño térmico de las viviendas. Basado en antecedentes de una encuesta aplicada a 2.025 hogares de Valdivia, se analizó el consumo de energía y los costos para diferentes estrategias de intervención. La encuesta fue realizada por el Instituto de Certificación e

Investigación de la Vivienda Austral (CIVA) de la Universidad Austral de Chile (MMA, 2012). La encuesta incluyó viviendas dentro del radio urbano de Valdivia, construidas antes de la implementación de la Norma Térmica 2007 (NT 2007), con un valor máximo de USD 80.000. De los hogares encuestados, 1.937 (95%) utilizaban leña para calefacción.

Para el análisis del consumo de energía se consideraron variables como tipo y estado de la construcción, nivel socioeconómico, consumo de leña, clima y confort ambiental, subsidios gubernamentales, entre otros.

El potencial de reducción de costos y emisiones asociado a un mejor desempeño térmico de las viviendas se estudió bajo tres escenarios diferentes: (1) reemplazo de calefactores sin mejorar la aislación térmica; (2) reemplazo de calefactores mejorando la aislación térmica de la vivienda para cumplir con la Norma 2007 (NT2007); (3) reemplazo de calefactores mejorando la aislación térmica de la vivienda para alcanzar estándares europeos (EE).

El modelo de demanda energética consideró las necesidades de calefacción de la zona, utilizando datos climáticos de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC, 2014). Dado que la estación meteorológica está en el aeropuerto de Pichoy, unos 30 km al noreste de la ciudad de Valdivia, se ajustaron las temperaturas medias con datos oficiales disponibles para Valdivia entre los años 1994 y 2002 (DMC, 2014). Los cálculos fueron realizados para una temperatura de confort térmico de 18°C, como es recomendado internacionalmente (WHO, 2005).

Para estudiar los costos de las diferentes propuestas de reacondicionamiento se analizaron soluciones técnicas con materiales de construcción fácilmente disponibles en el mercado local. Además, se consideró un margen de utilidad para la empresa constructora que implementaría

el reacondicionamiento.

Estudios previos (Schueftan y González, 2015) encontraron altos niveles de demanda energética para todos los grupos socioeconómicos y tipos de viviendas, además de una alta correlación entre la superficie de la vivienda y el consumo de energía por metro cuadrado. Se estudió una vivienda para cada nivel socioeconómico³ con una tipología arquitectónica y superficie común según lo identificado en la encuesta (C2=119 m², C3=85 m², D=51 m² y E=41 m²). Estos valores fueron utilizados para realizar el análisis económico. La encuesta no incluye hogares pertenecientes al grupo ABC1, por lo que ese grupo no se consideró para el análisis del reacondicionamiento.

Se estimaron los costos del reacondicionamiento térmico para los diferentes grupos socioeconómicos, asumiendo que todos los hogares reciben un subsidio equivalente al monto máximo establecido por las políticas actuales. El aporte privado para el reacondicionamiento es el monto necesario para lograr uno de los dos niveles de eficiencia presentados en los escenarios 2 y 3, descontando el subsidio. Los niveles de eficiencia requieren diferentes inversiones, algunas por debajo, otras por encima del monto máximo subsidiado. Por esta razón para aquellos hogares que tienen un costo de reacondicionamiento inferior al subsidio se les consideró solamente el pago de la cuota fija (\$74.000) y para aquellos con costos superiores al subsidio, se consideró el pago de la diferencia más los \$ 74.000. Una situación similar de inversión público-privada ocurre en el caso del recambio de calefactores. El subsidio cubre \$ 200.000 y los hogares deben pagar \$ 100.000 adicionales para comprar e instalar una nueva estufa. El primer monto cuenta como inversión pública, el segundo como inversión privada.

De acuerdo a trabajos anteriores, las temperaturas interiores en las viviendas del centro-sur de Chile alcanzan un

² Todos los valores monetarios corresponden a agosto de 2015

³ El Instituto Nacional de Estadísticas (INE) estableció cinco niveles socio-económicos: ABC1, C2, C3, D y E, desde ingresos más altos a más bajos, respectivamente

promedio de 14,5°C (Bustamante et al., 2009). Para considerar el efecto rebote en el cálculo, se estimaron las temperaturas actuales de acuerdo al grupo socioeconómico: 15°C para el grupo E, 16°C para el grupo D, 17°C para el grupo C3 y 18°C para el grupo C2. La diferencia en el consumo de leña por efecto rebote se obtuvo comparando los grados-día de calefacción con las temperaturas actuales en invierno y una temperatura deseada de 18°C para todos los grupos socioeconómicos.

Para evaluar la reducción en el consumo de leña asociada al uso de calefactores nuevos, se usaron datos del Ministerio de Medio Ambiente de Nueva Zelanda, (NZ, 2008). Estos datos indican que la eficiencia media de estufas corrientes, cocinas a leña, y calefactores modernos es de 61%, 51% y 67%, respectivamente. Cabe destacar que, debido a las diferentes proporciones de estufas a leña por grupo socioeconómico, el recambio de los calefactores resulta en diferentes niveles de mejora. Ésta varía entre 8% y 20% en los grupos C2 y E.

De este modo, se obtuvieron ahorros en el consumo de leña asociados a cada escenario de mejoramiento térmico y grupo socioeconómico. El consumo de leña se distribuyó entre los meses de abril y septiembre. Se utilizó el precio de la leña no certificada, dado que el uso de leña certificada es menor al 3% en la ciudad de Valdivia (Schueftan y González, 2015).

2.2. REDUCCIÓN DE EMISIONES

Considerando un nivel medio de contaminación de 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, se asumió que 28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ corresponderían a la combustión de leña y 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a transporte e industria. Debido a que hasta el momento no hay medidas para reducir las emisiones provenientes de transporte e industria, éstas se asumieron constantes. El promedio máximo anual de $\text{MP}_{2.5}$ permitido por la norma chilena es de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; sin embargo, este

valor está actualmente en revisión, ya que corresponde al doble del máximo recomendado por la WHO (2005). Por esta razón se asumió un valor máximo recomendado de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tomando en cuenta el valor correspondiente a transporte e industria (9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), la meta para emisiones residenciales por combustión de leña debería ser de 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que implicaría reducir las emisiones actuales en 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Para calcular el potencial de reducción de emisiones para las opciones de recambio de calefactores, se consideraron factores de emisión de 13 gMP/kg para las estufas tradicionales y de 6,5 gMP/kg para las estufas nuevas. Estos valores se obtuvieron de estudios experimentales realizados en Nueva Zelanda con calefactores similares (Scott, 2005; Kelly et al., 2007) y fueron explicados en un artículo reciente (Schueftan y González, 2015).

La operación de las estufas de combustión lenta con el tiraje cerrado es frecuente (68% de los casos según la encuesta MMA 2012) y las emisiones asociadas a esta forma de operar los equipos varían según las prácticas de los usuarios. Como referencia se utilizaron los datos de Jordan and Seen (2005) en Australia, quienes estiman factores de emisión de 2,6 gMP/kg para calefactores modernos funcionando con el tiraje abierto, y de 35 gMP/kg cuando funcionan con el tiraje cerrado. Este nivel de emisiones es mayor al que se ha medido en calefactores antiguos funcionando con el tiraje cerrado (33 gMP/kg), los cuales emiten 13,5 gMP/kg cuando operan con el tiraje abierto. Este mayor nivel de emisión de los calefactores nuevos versus los antiguos, cuando funcionan con el tiraje cerrado, también fue reportado por CNE (2009). El cierre del tiraje es una práctica común para lograr una combustión más lenta y utilizar menos leña, pero esta práctica aumenta dramáticamente las emisiones.

2.3. GASTO ASOCIADO AL CONSUMO DE ENERGÍA

Se estudiaron los niveles de pobreza de energía asociados al alto consumo de leña para calefacción. El concepto de pobreza de energía surgió en Inglaterra a inicios de los años 90s y se definió como la incapacidad de un hogar para obtener una cantidad adecuada de servicios energéticos con el 10% de sus ingresos. La definición debe considerar la cantidad de energía necesaria para mantener una temperatura al interior de la vivienda entre 18°C y 21°C, con calefacción disponible durante 9 horas en los días de semana y 16 horas los fines de semana (WHO, 2005).

La estimación toma en cuenta el consumo de energía para calefacción, uso de electrodomésticos, iluminación, cocina y agua caliente (Walker et al., 2014). Para los grupos C2, C3, D y E el consumo de leña – incluyendo el efecto rebote para lograr una temperatura interior media de 18°C – se obtuvo de acuerdo a lo explicado en la sección 2.1. Para el grupo ABC1 se obtuvo del Instituto Nacional de Estadísticas (INE, 2013). Cabe señalar que para estimar los niveles de pobreza de energía se consideraron cinco grupos socioeconómicos. Sin embargo, dado que los datos disponibles en la encuesta realizada en Valdivia cubren solamente cuatro grupos (C2, C3, D y E), se excluyó al grupo ABC1 del análisis económico. Los datos de consumo de gas y electricidad para los diferentes grupos se obtuvieron de un estudio realizado por el Centro de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción (CDT, 2010). En la ciudad de Valdivia no hay subsidios para los combustibles, y la información relativa a precios y su disponibilidad se obtuvieron de otros estudios (MINVU, 2007; CDT, 2010; INFOR, 2012). Se evaluó el efecto de las distintas mejoras a las viviendas en la reducción de los niveles de pobreza de energía, a partir del ahorro generado en calefacción.

Tabla 1.

Gasto en energía y porcentaje del ingreso necesario para cubrirlo por grupo socio-económico

	GRUPO SOCIOECONÓMICO				
	ABC1	C2	C3	D	E
PROPORCIÓN DE CADA GRUPO SOCIOECONÓMICO (%)	6%	15%	27%	37%	15%
GASTO EN LEÑA (\$/AÑO)	540.000	371.119	351.353	312.183	318.113
GASTO EN GAS LICUADO (\$/AÑO)	168.873	199.377	198.395	163.049	152.845
GASTO EN ELECTRICIDAD (\$/AÑO)	351.543	262.337	211.804	182.414	159.881
GASTO TOTAL EN ENERGÍA (\$/AÑO)	1.060.416	832.832	761.832	657.646	630.849
INGRESO DEL HOGAR (\$/AÑO)	38.543.556	15.136.296	8.066.988	4.440.756	2.024.256
IMPORTANCIA MEDIA DEL GASTO EN ENERGÍA (% DEL INGRESO TOTAL)	2,8%	5,5%	9,4%	14,8%	31,2%

Pesos chilenos, agosto-2015
Fuente: Elaboración propia

Además, se compararon los costos operacionales de remplazar la leña con gas natural y electricidad por un lado, y los costos del reacondicionamiento térmico y el recambio de calefactores según los tres escenarios definidos, por otro. Este análisis se llevó a cabo debido a que en Chile se ha propuesto repetidamente un subsidio para los combustibles fósiles y/o electricidad para mitigar las emisiones nocivas de material particulado, promoviendo la sustitución de la leña por estas fuentes de energía subsidiadas (Senado, 2014 y 2015; Pacheco, 2014). Alternativas energéticas a la leña, como el gas y la electricidad, requieren instalaciones y circuitos nuevos para su operación. En las ciudades estudiadas no existe red de gas, y la electricidad para calefaccionar las viviendas eventualmente requeriría nuevos tendidos eléctricos – dentro y

fuera de los hogares - para garantizar una mayor potencia. Para simplificar el análisis no se consideraron estos costos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. POBREZA DE ENERGÍA

La Tabla 1 muestra un resumen de la demanda energética anual por estrato socioeconómico (ABC1, C2, C3, D y E). Según MMA (2012), el consumo de leña promedio en la ciudad de Valdivia es de 11 m³ estéreo/año, pero la simulación arrojó que para lograr una temperatura interior de 18°C el consumo debería ser de 11,9 m³ estéreo/año, por lo que se usó este valor para las estimaciones de pobreza de energía. Los resultados muestran altos niveles de pobreza de energía. El 52% de los hogares

gastan el 15% o más de sus ingresos en energía. El grupo C3, que agrupa al 27% de los hogares de Valdivia, gasta el 9,4%, llegando casi al límite del 10%. Estos datos son muy relevantes en el análisis de las políticas públicas.

3.2. COSTO PRIVADO ASOCIADO AL REACONDICIONAMIENTO TÉRMICO DE VIVIENDAS

El costo privado incluye la inversión inicial asociada al reacondicionamiento térmico y el recambio del calefactor, que no está cubierta por los subsidios, y el costo anual asociado a la compra de leña. Las figuras 1 y 2 muestran los costos privados para los niveles socioeconómicos C2, C3, D y E. El costo total de la mejora y el ahorro en consumo de leña dependen fuertemente del nivel socioeconómico.

Esas variaciones se deben a: i) costos de reacondicionamiento que difieren de acuerdo al tamaño de la vivienda, lo que hace variar también el porcentaje que está cubierto por el subsidio; ii) diferentes niveles de efecto rebote; ya que en los hogares de los grupos socioeconómicos más bajos se reportan temperaturas interiores más bajas, lo que determinaría un mayor efecto rebote; y iii) diferentes niveles de mejora en la eficiencia debido a que existe una mayor cantidad de calefactores antiguos en los grupos de ingresos más bajos.

Las figuras 1 y 2 muestran el costo total de cada escenario de mejoras en función del tiempo, para los cuatro grupos socioeconómicos considerados. El primer escenario (reemplazo de estufas a leña, sin reacondicionar la vivienda), representado por rombos, tiene el costo inicial más bajo en todos los grupos socioeconómicos, pero un mayor costo acumulado (inversión inicial más costo de operación). El segundo escenario (reacondicionamiento a nivel de NT2007 con reemplazo de calefactor), representado por cuadros, es el más conveniente para el grupo socioeconómico C2, mientras que el tercer escenario (estándar europeo) es el más conveniente para los grupos E, D y C3 a partir del año 1, 4 y 7, respectivamente (costo acumulado inferior al de los otros dos escenarios).

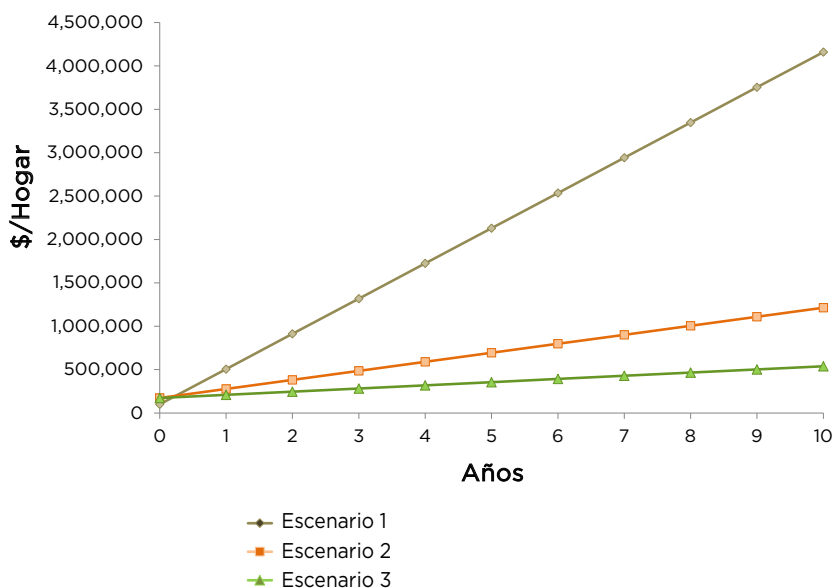
Debido a los subsidios, el costo inicial del reacondicionamiento térmico y el recambio de calefactores es bajo en los segmentos D y E. El tercer escenario tiene el costo inicial más alto, pero después de unos años llega a ser el más rentable en casi todos los segmentos sociales. El gran ahorro en consumo de leña asociado al reacondicionamiento térmico de las viviendas reduce en una disminución del costo privado total.

Como se muestra en la sección 3.1, los grupos socioeconómicos D y E se encuentran en una situación de pobreza de energía, lo cual puede cambiar con la implementación de los escenarios 2 y 3.

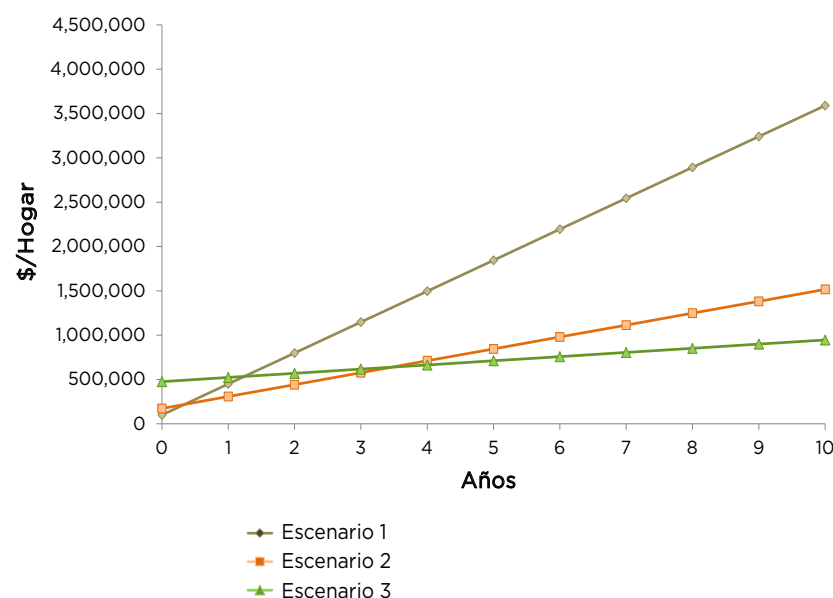
Figura 1.

Costo privado acumulado para los hogares pertenecientes a los segmentos D y E, en los tres escenarios estudiados

Costo grupo E



Costo grupo D

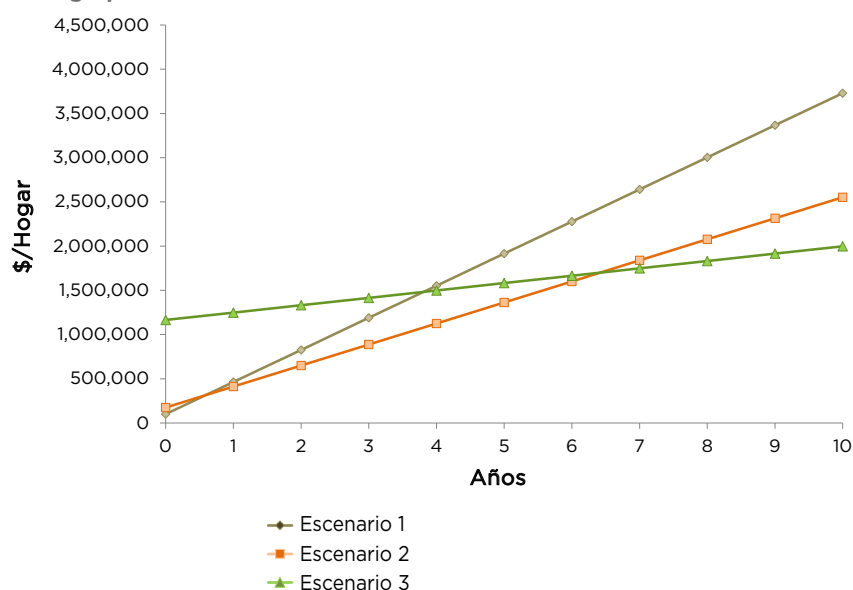


Fuente: Elaboración propia

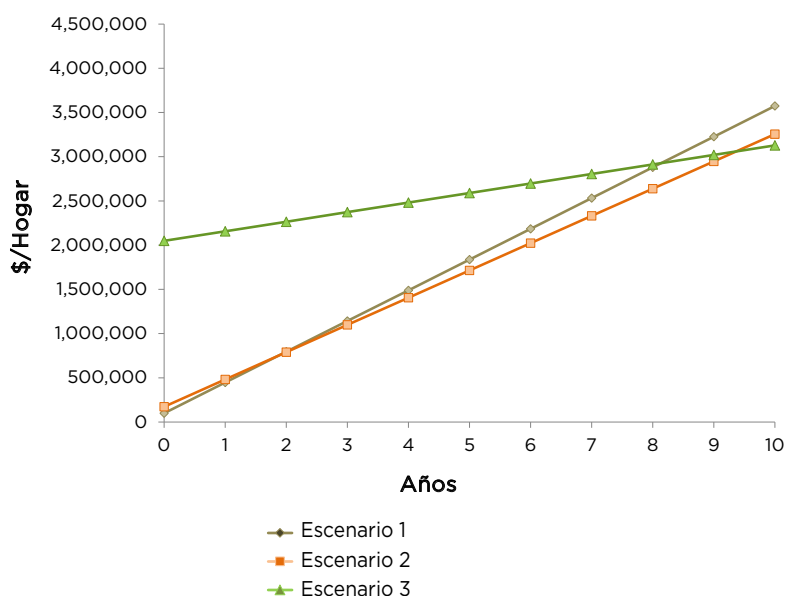
Figura 2.

Costo privado acumulado para los hogares pertenecientes a los segmentos C2, C3, bajo los tres escenarios estudiados

Costo grupo C3



Costo grupo C2



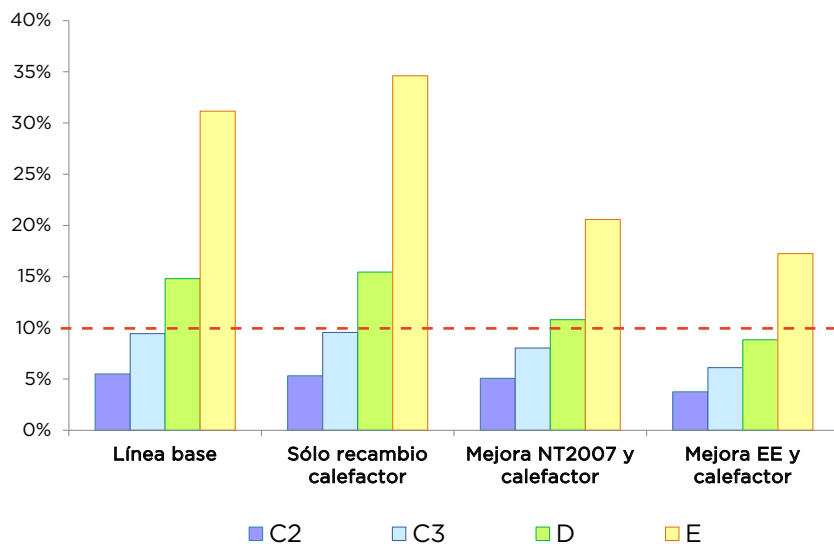
Fuente: Elaboración propia

Los escenarios dos y tres tienen un costo inicial más alto, pero al cabo de poco tiempo se vuelven más convenientes.

3.3. REDUCCIÓN EN EL CONSUMO DE LEÑA Y EN LA EMISIÓN DE MATERIAL PARTICULADO

La Tabla 2 muestra la reducción en el consumo de leña y en la emisión de material particulado para los tres escenarios. En el primer escenario, donde solamente se renueva la estufa, el aumento en el consumo de leña produce un resultado negativo. La combinación entre el escaso incremento de la eficiencia y el efecto rebote para lograr una temperatura interior mínima de 18°C, resultarían en un mayor consumo de leña. En otras palabras, sin mejorar la envolvente térmica de la vivienda, la mayor eficiencia de los calefactores nuevos no compensa el efecto rebote. En el segundo escenario, donde se renueva el calefactor y se mejora la vivienda para cumplir con la norma térmica 2007 (NT 2007), el ahorro anual correspondería a 171.000 m³ estéreos (ahorro a nivel de ciudad). El tercer escenario implicaría un ahorro de 358.000 m³ estéreos /año. El consumo residencial de leña en Valdivia es de aproximadamente 460.000 m³ estéreo/año. El reacondicionamiento térmico de las viviendas presenta un enorme potencial para reducir el consumo total de leña. Ese gran potencial refleja la baja eficiencia térmica de las viviendas existentes. Valdivia tiene un consumo medio de energía para calefacción que equivale al de Estocolmo, donde las temperaturas medias mensuales durante el invierno son de 0°C, comparado con los 7,6°C a 10,4°C observados en Valdivia. El primer escenario -recambio de calefactor- resulta en emisiones anuales sobre el máximo recomendado de 15 µg/m³, mientras que los otros dos escenarios reducen las emisiones bajo ese nivel. Aparte del control de la contaminación

Figura 3.
Porcentaje de los ingresos anuales gastados en energía por grupo socioeconómico para los diferentes escenarios



atmosférica, el reacondicionamiento térmico también mejora la salud pública debido a la drástica reducción de emisiones de material particulado. Esto produce una disminución del costo en salud, principalmente en el sector público (Fuenzalida et al., 2013; Gomez-Lobo et al., 2006). El reacondicionamiento térmico en las viviendas ayuda a reducir el costo en salud pública, mientras que el solo recambio de los calefactores sigue generando un exceso anual de emisiones de $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Los escenarios 2 y 3 resultan en reducciones sustanciales de la contaminación y el consumo de leña, mejorando además la temperatura intradomiciliaria y los niveles de pobreza de energía.

3.4. MITIGACIÓN DE LA POBREZA DE ENERGÍA AL AUMENTAR LA EFICIENCIA

Es posible estimar el efecto de la aislación térmica y el recambio del calefactor sobre la pobreza de energía. La Tabla

2 muestra que es posible esperar una reducción del 37% en el consumo de leña al cumplir NT2007, y del 77% cuando el reacondicionamiento cumple el estándar europeo (EE). Para los grupos socioeconómicos C2, C3, D y E, el costo de cumplir NT2007 estaría cubierto completamente por el subsidio de aislación térmica. Incluso para el grupo socioeconómico E el subsidio alcanzaría para cumplir el estándar europeo. Los hogares pertenecientes a los grupos socioeconómicos D, C3, y C2 tendrían que invertir el equivalente a 2, 5, y 8 sueldos mínimos para alcanzar dicho estándar. La Tabla 3 muestra el gasto en energía de acuerdo al ingreso, considerando los tres escenarios de mejora y el consumo actual como línea base. El gasto en gas licuado y electricidad no incluye calefacción y son comunes a todos los escenarios.

La Figura 3 muestra el porcentaje del ingreso que se gasta en energía en cada escenario por grupo socioeconómico. Esto se obtuvo a partir del ingreso anual (Tabla 1) y el gasto en energía (Tabla 3). La línea punteada representa el nivel de

gasto en el cual se entra en un estado de pobreza de energía.

La Figura 3 muestra además dos resultados importantes: a) el primer escenario (recambio de calefactores) resulta en un aumento de la pobreza de energía debido a un mayor gasto en leña (efecto rebote); y b) los dos escenarios que consideran el reacondicionamiento térmico de las viviendas logran disminuir los niveles de pobreza de energía. La mayor eficiencia de los calefactores nuevos termina siendo marginal en relación a la energía necesaria para alcanzar un confort térmico adecuado, por lo que el escenario que considera sólo el recambio del calefactor aumenta la pobreza de energía. En el segundo escenario (NT 2007 + recambio de calefactor), el grupo socioeconómico C3 queda bajo el nivel de pobreza de energía, mientras que el grupo D queda cerca del límite, y el grupo E se mantiene en ese estado. En el tercer escenario, donde el reacondicionamiento cumple con estándares europeos (EE), todos los grupos logran salir del estado de pobreza de energía, a excepción del grupo socioeconómico E, que sigue gastando más del 10% de sus ingresos en energía (17,8%). En este escenario, el 15% de los hogares estaría en situación de pobreza de energía, lo que representa una mejora notable comparado con el 52% de la línea base.

En los dos escenarios que consideran el reacondicionamiento de viviendas, en los que se produce una disminución del gasto en calefacción, aumenta el peso relativo del gasto en energía para cocinar, calentar agua, iluminar y hacer funcionar electrodomésticos.

3.5. SUBSIDIOS ENERGÉTICOS VERSUS REACONDICIONAMIENTO DE VIVIENDAS

La Tabla 4 muestra el costo total privado y público para el reacondicionamiento térmico de viviendas en los escenarios

Tabla 2.

Impacto de los escenarios en el consumo de leña y la emisión de material particulado

ESCENARIOS	AHORRO EN LEÑA (\$/año)	EMISIÓN DE MP _{2,5} POR CALEFACCIÓN (µg/m³)	EMISIÓN DE MP _{2,5} POR TRANSPORTE Y OTROS (µg/m³)	EMISIÓN TOTAL DE MP _{2,5} (µg/m³)	REDUCCIÓN ADICIONAL PARA EMITIR UN MÁXIMO DE 15 µg/m³
ESCENARIO 1 (RECAMBIO CALEFACTOR)	-52.300 ¹	13	9	22	7
ESCENARIO 2 (NT 2007 Y RECAMBIO CALEFACTOR)	171.000	6,4	9	15,4	0,4
ESCENARIO 3 (NORMA EUROPEA Y RECAMBIO CALEFACTOR)	358.000	1	9	10	0

¹ Un valor negativo significa que el consumo de leña aumenta
Fuente: Elaboración propia

dos y tres. Además, se muestra el gasto anual en leña según el nivel socioeconómico y el gasto en gas licuado y electricidad en caso de remplazar la leña por esos combustibles. Con estos valores, se comparó el costo de los tres escenarios con el costo de subsidiar el gas licuado y la electricidad. El subsidio debería cubrir la diferencia entre el costo del gas licuado y la electricidad, y el costo de la leña. Además, la Tabla 4 muestra la cantidad de años requeridos para igualar ambas opciones (invertir en los escenarios versus subsidiar el gas licuado y la electricidad) para los diferentes grupos socioeconómicos.

Los resultados muestran que la inversión inicial en reacondicionar las viviendas se paga en menos de 3 años promedio al ser comparada con la alternativa de subsidiar el gas licuado o la electricidad. Por tanto, en el estado actual de calidad térmica de las viviendas, un subsidio al gas licuado y la electricidad resultaría un enorme gasto para Chile, el cual sería absolutamente injustificado.

Además, el reacondicionamiento

térmico de las viviendas resulta en una disminución de la demanda total de energía. La demanda residual podría ser cubierta por leña seca o certificada, dado que la leña es un recurso local, abundante y renovable. Recientemente, Reyes et al. (2015) demostraron el posible uso sustentable de leña en Chile y su potencial para mitigar el cambio climático. El desafío entonces es reducir la contaminación que resulta del sobre consumo de leña en viviendas no aisladas, aprovechando al mismo tiempo el potencial de la leña para disminuir las emisiones de GEI y contribuir al desarrollo local.

4. CONCLUSIONES E IMPLICANCIAS EN POLÍTICAS PÚBLICAS

El reacondicionamiento térmico tiene un potencial enorme para reducir el consumo de leña y la emisión de material particulado, dentro de límites económicos viables.

Los resultados presentados en este informe muestran varios elementos que deberían ser considerados en las políticas públicas de descontaminación:

- Reacondicionamiento térmico de viviendas: tiene el mayor potencial para reducir la contaminación atmosférica, disminuyendo drásticamente las necesidades de calefacción, el gasto en energía y los niveles de pobreza de energía. Además, al implementar mejoras en aislación térmica, el impacto asociado a la operación de los calefactores se vuelve menos relevante. Los beneficios sociales incluyen el mejoramiento del confort térmico y la disminución de la humedad al interior de las viviendas.

- Subsidio para el recambio de calefactores: los resultados presentados en este estudio muestran que la mayor eficiencia de los calefactores nuevos no logra compensar los requerimientos de confort ambiental de los grupos socioeconómicos más bajos (grupos D y E). Por lo tanto, este programa, por sí solo, no reduciría el consumo de leña y la pobreza de energía. Dado que

Tabla 3.

Gasto anual en energía residencial para distintos escenarios y grupos socioeconómicos

ESCENARIOS	GRUPO SOCIOECONÓMICO			
	C2	C3	D	E
GASTO EN LEÑA, LÍNEA BASE (\$/AÑO)	371.119	351.230	312.183	318.113
GASTO EN LEÑA, ESCENARIO 1 (\$/AÑO)	344.842	360.252	340.679	387.777
GASTO EN LEÑA, ESCENARIO 2 (\$/AÑO)	308.129	237.868	134.253	103.995
GASTO EN LEÑA, ESCENARIO 3 (\$/AÑO)	107.943	83.330	47.031	36.431
GASTO EN GAS LICUADO (\$/AÑO)	199.377	198.695	163.049	152.845
GASTO EN ELECTRICIDAD (\$/AÑO)	262.337	211.804	182.414	159.881

Pesos chilenos, agosto-2015
Fuente: Elaboración propia

las emisiones de material particulado dependen fuertemente de la operación de los calefactores (cierre del tiraje), y que esta práctica también puede realizarse en calefactores nuevos, el recambio de calefactores tiene un potencial limitado de reducción de las emisiones de material particulado.

-Subsidios a combustibles alternativos:

Como se muestra en la sección 3.5, el subsidio al reacondicionamiento térmico de viviendas es más convenientes que subsidiar los combustibles. En Argentina, los subsidios al gas y la electricidad resultaron en un aumento drástico del consumo energético y de las desigualdades sociales en el acceso a la energía (González, 2013; González, 2009). Por otro lado, la producción de leña tiene efectos sociales y económicos importantes en regiones donde los sectores agrícola y forestal constituyen la actividad económica principal (Zafeiriou et al, 2011 and Reyes et al., 2015), como es el caso del centro-sur de Chile.

- Elevar el precio de la leña: regular

el precio de los combustibles es un instrumento válido de política energética. Sin embargo, elevar el precio de la leña para desincentivar su consumo puede tener consecuencias sociales negativas. Actualmente, más del 52% de la población de Valdivia se encuentra en un estado de pobreza de energía, los que están concentrados en los grupos socioeconómicos D y E. El resultado previsible de aumentar el precio de la leña sería llevar a todo el grupo socioeconómico C3 a un estado de pobreza de energía y aumentar la carga social y económica para los grupos D y E, lo que afectaría al 70% de los hogares de la ciudad. El resultado esperable serían temperaturas interiores aun más bajas. En países con una situación energética residencial parecida, como Nueva Zelanda, el aumento de los precios de los combustibles resultó en un aumento en la desigualdad en el acceso a la energía y de los niveles de pobreza de energía, además de problemas de salud debido a las bajas temperaturas interiores

(Howden-Chapman et al., 2012).

-Uso sustentable de leña: diferentes estudios indican que no conviene prohibir el uso de la leña ni sustituirla por combustibles fósiles (Reyes et al., 2015), como ha sido propuesto por diferentes responsables políticos (Senado 2014, 2015; Pacheco, 2014). El uso de leña es importante dentro del contexto socioeconómico del centro-sur de Chile. Además, la biomasa es el recurso energético más importante de Chile, mientras que las posibles alternativas de combustibles fósiles vienen del extranjero. Una combinación de intervenciones políticas, incluyendo estrategias de eficiencia energética y la producción sustentable de leña, permitirían que la leña siga siendo el principal combustible de la región. Además, se lograría mitigar la contaminación atmosférica y potenciar los aspectos positivos de los sistemas energéticos basados en biomasa forestal (Reyes et al., 2015).

Los resultados de este estudio sugieren una variedad de razones por las que

Tabla 4.

Costo total privado y público de reacondicionamiento térmico comparado con el gasto en leña y su posible remplazo por gas o electricidad.

GRUPO SOCIOECONÓMICO:	C2	C3	D	E
COSTO DE IMPLEMENTAR NT2007 + RECAMBIO CALEFACTOR (\$)	2.434.917	1.772.667	1.674.131	1.312.220
COSTO DE IMPLEMENTAR EE + RECAMBIO CALEFACTOR (\$)	4.628.933	3.744.540	3.055.297	2.587.588
GASTO ANUAL EN LEÑA (\$)	371.119	351.353	312.183	318.113

GASTO ANUAL EN GAS LICUADO EN CASO DE REEMPLAZAR LEÑA (\$)	1.341.492	1.270.043	1.128.455	1.149.890
PERÍODO EN QUE NT 2007 + CALEFACTOR IGUALA AL SUBSIDIO AL GAS LICUADO (AÑOS)	2,5	1,9	2,1	1,6
PERÍODO EN QUE EE + CALEFACTOR IGUALA AL SUBSIDIO AL GAS LICUADO (AÑOS)	4,8	4,1	3,7	3,1

GASTO ANUAL EN ELECTRICIDAD EN CASO DE REEMPLAZAR LEÑA (\$)	1.394.517	1.320.244	1.173.059	1.195.341
PERÍODO EN QUE NT 2007 + CALEFACTOR IGUALA AL SUBSIDIO DE LA ELECTRICIDAD (AÑOS)	2,4	1,8	1,9	1,5
PERÍODO EN QUE EE + CALEFACTOR IGUALA AL SUBSIDIO DE LA ELECTRICIDAD (AÑOS)	4,5	3,9	3,5	2,9

Pesos chilenos, agosto-2015
Fuente: Elaboración propia

las políticas actuales no han producido el efecto deseado de descontaminar las ciudades del centro-sur de Chile. Las autoridades de medio ambiente, energía y salud se están concentrando fuertemente en la certificación de leña y el recambio de los calefactores. Sin embargo, estas dos estrategias dependen directamente de las prácticas del usuario (almacenamiento y manipulación de la leña, cierre de tirajes, etc.). El reacondicionamiento térmico de las viviendas – a pesar de ser una medida más cara – tiene un mayor potencial para reducir el consumo energético y las emisiones de material particulado y al mismo tiempo mejorar la calidad de vida de la población.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a 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) por su apoyo financiero; y a los tres revisores anónimos que revisaron este manuscrito y aportaron comentarios muy útiles.

5. REFERENCIAS

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.

Arabatzis, G., Kitikidou, K., Tampakis, S., Soutsas, K. 2012. The fuelwood consumption in a rural area of Greece. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(9): 6489-6496.

Bosca NZ (Bosca Nueva Zelandia). 2014. Stove Manufacturer. Private communication by e-mail. <http://www.bosca.co.nz/> Accessed April 2016.

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. Disponible en <http://politicaspUBLICAS.uc.cl/wp-content/uploads/2015/02/eficiencia-energetica-en-vivienda-social-un-desafio-posible.pdf> Accessed April 2016.

CDT (Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción). 2010. Estudio de Usos Finales y Curva de Oferta de la Conservación de la Energía en el Sector Residencial. Santiago, Chile. 404 p. http://antiguo.minenergia.cl/minwww/export/sites/default/05_Public_Estudios/descargas/estudios/Usos_Finales_COC_Sector_Residencial_2010.pdf Accessed April 2016.

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.

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

Fuenzalida Díaz, M., Miranda Ferrada, M.,

Cobs Muñoz, V. 2013. Análisis Exploratorio de Datos Espaciales aplicado a MP10 y admisión hospitalaria. Evidencia para áreas urbanas chilenas contaminadas por humo de leña. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica*. 5: 109-128. Disponible en <http://www.gesig-proeg.com.ar/documentos/revista-geosig/2013/ARTICULO-06-FUENZALIDA.pdf> Accessed April 2016.

Gómez-Lobo, A., Lima, J.L., Hill, C., Meneses, M. 2006. Diagnóstico del Mercado de la Leña en Chile. Informe Final preparado para la Comisión Nacional de Energía de Chile. Centro Micro Datos, Departamento de Economía, Universidad de Chile. Disponible en http://www.sinia.cl/1292/articles-50791_informe_final.pdf Accessed April 2016.

González, A.D. 2013. Management of disaster risks derived from very large fuel subsidies to natural gas in Argentina. In: Climate change and disaster risk management. W. Leal (editor), Part 3, 463-473, Springer-Verlag, Berlin. Disponible en http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-31110-9_30#page-1 Accessed April 2016.

González, A.D. 2009. Energy subsidies in Argentina lead to inequalities and low thermal efficiency. *Energies* 2: 769-788. Disponible en <http://www.mdpi.com/1996-1073/2/3/769> Accessed April 2016.

Healy, J., Clinch, P. 2004. Quantifying the severity of fuel poverty, its relationship with poor housing and reasons for non-investment in energy-saving measures in Ireland. *Energy Policy* 32: 207-220.

Howden-Chapman, P., Chapman, R. 2012. Health co-benefits from housing related policies. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 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: 134-142.

INE (Instituto Nacional de Estadísticas). 2013. VII Encuesta de Presupuestos Familiares. Disponible en <http://www.ine.cl/epf/> Accessed April 2016.

INFOR (Instituto Forestal). 2012. Estudio

de Consumo Domiciliario Urbano de Material Leñoso en Valdivia. Instituto Forestal, Valdivia. Disponible en <http://www.bymlosrios.cl/index.php/documentos/finish/45-estudios/137-itf-lena-ciudad-de-valdivia-mbym-infor-2012>, accessed April 2016.

INFOR (Instituto Forestal). 2015. Encuesta residencial urbana sobre consume de energía, uso de combustibles derivados de la madera, estado higrotérmico de las viviendas y calefacción en las ciudades de Valdivia, La Unión y Panguipulli. Observatorio de los Combustibles Derivados de la Madera. Base de datos no publicada.

Jordan, T.B., Seen A.J. 2005. Effect of Airflow Setting on the Organic Composition of Wood heater Emissions. *Environmental Science and Technology* 10: 3601-3610.

Kelly, C., Mues, S., Webley, W. 2007. Warm Homes Technical Report. Real Life Emissions Testing of Wood Burners in Todoroa. Ministry for the Environment, New Zealand. Disponible en <http://www.mfe.govt.nz/publications/air-energy/warm-homes-technical-report-real-life-emissions-testing-wood-burners-todoroa> Accessed April 2016.

DMC (Dirección Meteorológica de Chile). 2014. Estadística Climatología Tomo II. Disponible en http://164.77.222.61/climatologia/publicaciones/Estadistica_ClimatologicaII.pdf Accessed April 2016.

MINVU (Ministerio de Vivienda y Urbanismo). 2007. Programa de Inversión Pública para Fomentar el Reacondicionamiento Térmico del Parque Construido de Viviendas.

MMA (Ministerio de Medio Ambiente). 2010. 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.

MMA (Ministerio de Medio Ambiente). 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 (Ministerio del Medio Ambiente). 2016. Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire. Disponible en <http://sinca.mma.gob.cl/>. Accessed April 2016.

NZ (New Zealand). 2008. National Wood Burner Performance Review, Phase 2. Ministry for Environment, New Zealand Government. Disponible en <http://202.36.137.86/publications/air/national-wood-burner-performance-review-phase-2> Accessed April 2016.

Pacheco, M. 2014. Ministro Pacheco analiza situación energética de la Región de La Araucanía en Enela 2014. Ministerio de Energía. Disponible en <http://www.minenergia.cl/ministerio/noticias/generales/ministro-pacheco-analiza-situacion.html> Accessed April 2016.

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. 2015. Proposals to enhance thermal efficiency programs and air pollution control in south-central Chile. *Energy Policy* 79: 48-57.

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.

Scott, A.J. 2005. Real-life emissions from residential wood burning appliances in New Zealand. Ministry for the Environment New Zealand. Disponible en <http://ecan.govt.nz/publications/Reports/air-report-emissions-residential-wood-burning-appliances-nz-000805.pdf>. Accessed April 2016.

Senado. 2014. Subsidio para gas natural y mejorar tecnología en el transporte. Senado República de Chile. Disponible en http://www.senado.cl/subsidio-para-gas-natural-y-mejorar-tecnologia-en-el-transporte-medidas-urgentes-para-mejorar-la-calidad-del-aire-en-zonas-saturadas/prontus_senado/2014-05-27/130733.html. Accessed April 2016.

Senado. 2015. La calidad del aire en Aysén. Senado República de Chile. Disponible en http://www.senado.cl/prontus_senado/site/artic/20150625/pags/20150625154218.html. Accessed April 2016.

Walker, R., McKenzie, P., Liddell, C., Morris, C. 2012. Area-based targeting of fuel poverty in Northern Ireland: An evidenced-based approach. *Applied Geography* 34: 39-649.

Walker, R., McKenzie, P., Liddell, C., Morris, C. 2014. Estimating fuel poverty at household level: An integrated approach. *Energy and Buildings*, 80: 469-479.

WHO (World Health Organization). . 2005. Air Quality Guidelines. P: 278-279.

Zafeiriou, E., Arabatzis, G., Koutroumanidis, T. 2011. The fuelwood market in Greece: An empirical approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(6): 3008-3018.

BES

BOSQUES | ENERGÍA | SOCIEDAD

Número 05 | JUN. 2016

Proyecto apoyado por

