BES
BOSQUES | ENERGÍA | SOCIEDAD

BES | Nº 9 | AÑO 4
MARZO 2018

ISSN: 0719-7136

CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN UN CONTEXTO DE POBREZA DE ENERGÍA EN EL SUR DE CHILE:
los efectos no deseados de la política de descontaminación

BES
BOSQUES | ENERGÍA | SOCIEDAD

Informes BES | Número 09 | Año 04 |MAR. 2018
Producción y diagrámación: Luz Díaz V., Arquitecta, Investigadora Instituto Forestal **Editor general:** René Reyes, Ingeniero Forestal (Ph.D), Investigador Instituto Forestal **Comité editor:** Alejandro González, Instituto Andino-Patagónico de tecnologías biológicas y geoambientales (IPATEC), CONICET y Universidad Nacional de Comahue, Bariloche, Argentina. **Colaboradores:** Catalina Zumaeta, Geógrafa, Investigadora Instituto Forestal, Richard Velásquez, Periodista Instituto Forestal.

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:

Reyes, R., Schueftan, A., Ruiz, C. 2018. Control de la contaminación atmosférica en un contexto de pobreza de energía en el sur de Chile: Los efectos no deseados de la política de descontaminación. En: Informes técnicos BES, Bosques - Energía - Sociedad, Año 4. N° 9. Marzo 2018. Observatorio de los Combustibles Derivados de la Madera OCDM. Instituto Forestal, Chile. p. 22.

índice

03 RESUMEN

04 1. INTRODUCCIÓN

08 2. ÁREA DE ESTUDIO

08 3. METODOLOGÍA

10 4. RESULTADOS

14 5. DISCUSIÓN

16 6. IMPLICANCIAS EN LA POLÍTICA PÚBLICA

18 7. REFERENCIAS

CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN UN CONTEXTO DE POBREZA DE ENERGÍA EN EL SUR DE CHILE: LOS EFECTOS NO DESEADOS DE LA POLÍTICA DE DESCONTAMINACIÓN

René Reyes[a], Alejandra Schueftan[a], Cecilia Ruiz[a].
[a] Instituto Forestal, Fundo Teja Norte s/n, Valdivia, Chile

RESUMEN

El 30% de las familias chilenas usan leña para calefacción, lo que aumenta a más del 80% en las ciudades del sur. Esto está generando episodios graves de contaminación atmosférica. Para enfrentar este problema se implementan Planes de Descontaminación Atmosférica (PDA), los cuales incluyen medidas para reducir el contenido de humedad de la leña que se comercializa; reemplazar calefactores a leña viejos por modelos nuevos o por calefactores que utilicen otros combustibles; prohibir el uso de leña en ciertos días y horarios; y mejorar la aislación térmica de las viviendas. Sin embargo, el PDA no establece prioridades y se implementa en función de la demanda de las familias. En este trabajo analizamos el consumo de energía, las condiciones de confort térmico en las viviendas, y la contaminación intradomiciliaria en la ciudad de Valdivia. El 68% del tiempo la temperatura promedio en el living de las viviendas es menor a 21ºC durante los meses de invierno, y la concentración de material particulado fino ($PM_{2.5}$) supera los límites sugeridos por la OMS. El análisis muestra que el 25% de los hogares se encuentra en un estado permanente de pobreza de energía (todo el año), lo cual aumenta al 61% en el invierno. Es urgente que los PDA consideren la realidad social y los hábitos de consumo de las familias que viven en ciudades con alta contaminación atmosférica, prioricen ciertas medidas y focalicen los recursos. En el estrato socioeconómico medio-bajo, en el cual se produce el mayor consumo de energía por metro cuadrado construido, la prioridad debería ser reacondicionar las viviendas, pues es la única medida que reduce la demanda de energía para calefacción. En este estrato, concluimos que todas las demás medidas contempladas en el PDA son regresivas desde un punto de vista económico y podrían estar agudizando el estado de pobreza de energía que ya afecta a miles de familias.

Palabras clave | pobreza de energía, contaminación atmosférica, leña, aislación térmica, Valdivia, Chile.



Imagen 1.
Ductos para evacuar los gases de la combustión de leña

1. INTRODUCCIÓN

La pobreza de energía ha sido ampliamente estudiada en países en vías de desarrollo, donde el problema se asocia a la falta de acceso a fuentes de energía limpias y las consecuencias que esto tiene sobre la salud de las personas (uso de biomasa para cocinar, usualmente en fogones, lo que genera contaminación intradomicilaria) (WHO, 2002; Liddell and Morris, 2010). En los países desarrollados, por su parte, el problema no tiene que ver con falta de acceso a fuentes de energía limpias, ya que existe una amplia disponibilidad d electricidad, gas natural y otros combustibles refinados. Sin embargo, para muchas familias el gasto en energía es demasiado alto en relación a sus ingresos, lo que se traduce en una satisfacción parcial de dichas necesidades (Bouzarovski et al., 2012). En estos países la pobreza de energía se asocia por lo general a restricciones para calefaccionar o enfriar adecuadamente las viviendas (Aristondo and Onaindia, 2018).

Medir la pobreza de energía ha sido un desafío complejo, debido a la enorme diversidad de contextos sociales, ambientales y culturales en los cuales se produce. Varias han sido las aproximaciones metodológicas que se han propuesto, las que han transitado desde la definición de líneas de pobreza a un análisis más relativo que considera distintas dimensiones (Bravo et al., 1979; Goldemberg, 1990; Boardman, 1991; Foster et al., 2000; Khandker et al., 2010). Diversos autores han asociado pobreza de ingresos con pobreza de energía, mientras otros han planteado que el gasto en energía más allá de ciertos límites influye en el ingreso disponible para satisfacer otras necesidades. Si bien el ingreso incide sobre el consumo de energía y el bienestar de las familias (causa-efecto), éstas también inciden sobre el ingreso, razón por la cual se considera que estos tres factores se determinan conjuntamente (Khandker et al., 2010). Esto es muy importante porque flexibiliza el análisis de la pobreza de energía, incorporando aspectos cualitativos asociados al concepto de bienestar que permiten adaptar la interpretación de los datos a sus respectivos contextos socio-culturales.

En países de ingresos medios, como Chile, existen pocos estudios sobre pobreza de energía. En este país la

red eléctrica llega casi al 100% de los hogares y existe una amplia disponibilidad de otros combustibles, por tanto el problema no tiene que ver con el acceso a fuentes de energía limpias. Tampoco tiene que ver con contaminación intradomiciliaria generada en la cocina por el uso de fogones. El problema en Chile se relaciona con una dependencia extrema de la leña para calefacción, debido a que el costo de proveer dicha calefacción con otros combustibles escapa a las posibilidades económicas de las familias. Un tercio de los hogares chilenos consumen leña, cifra que supera el 80% en las regiones del sur del país (CDT, 2015).

La leña se comercializa en un mercado informal, en el cual participan miles de pequeños y medianos propietarios de bosques y plantaciones forestales (principalmente *Eucaliptus sp.*) e intermediarios (transportistas). Un alto porcentaje de los hogares urbanos compran leña (sólo un porcentaje muy pequeño recolecta, a diferencia de lo que se observa en otros países en desarrollo), quienes pagan entre $24.000 y $35.000 por metro cúbico estéreo (INFOR, 2015; Reyes et al., 2018).

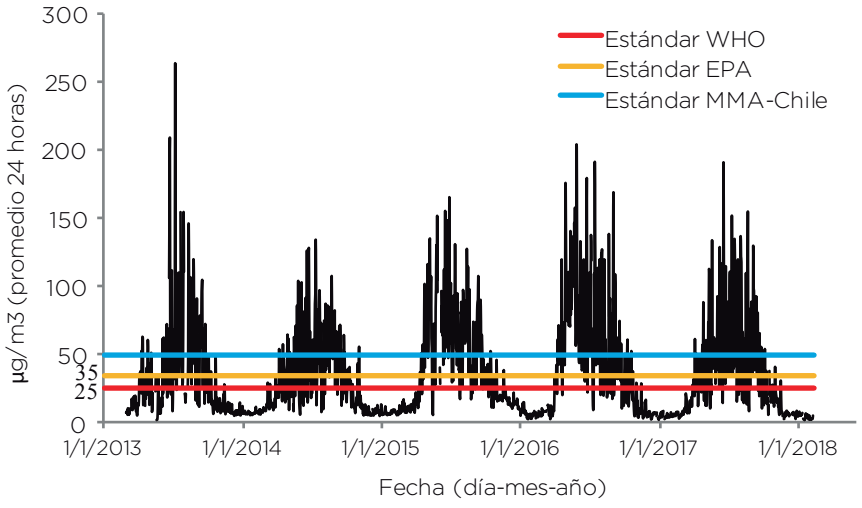
Si bien, los calefactores a leña son relativamente modernos y cuentan con ductos para evacuar los gases que se generan durante la combustión, su utilización masiva está produciendo episodios graves de contaminación atmosférica urbana. Normalmente, el calefactor se instala en el living de la casa, a partir del cual el calor irradia para el resto de las habitaciones. Trabajos previos han mostrado que el manejo del calefactor por parte del usuario incide fuertemente en la emisión de material particulado (PM), en especial el cierre del tiraje (Schueftan y González, 2015).

Molina et al. (2017) muestra que la concentración de material particulado fino ($PM_{2.5}$) excede el máximo establecido en el estándar de la Organización Mundial de la Salud (OMS) durante al menos 120 días al año en las ciudades de Rancagua, Rengo, Curicó, Talca, Chillan, Los Angeles, Temuco, Valdivia, Osorno, Puerto Montt y Coyhaique. Estas partículas se producen durante el proceso de combustión y debido a su tamaño logran penetrar en lo profundo del sistema respiratorio, lo que tiene efectos nocivos en la salud de las personas (Barría, 2012). Estudios realizados en hospitales del centro-sur de Chile han demostrado una mayor incidencia de bronquitis crónica en la población y enfermedades cardiovasculares en personas mayores (Gómez-Lobo et al., 2006). Leiva et al (2013) también encontraron una asociación positiva entre exposición a $PM_{2.5}$ y daño cerebrovascular (1,29% de aumento en el daño por cada 10 µg /m³ de aumento en $PM_{2.5}$).

En el caso de la ciudad de Valdivia, donde se acaba de iniciar la implementación de un Plan de Descontaminación Atmosférica (PDA), el inventario de emisiones determinó que más del 90% del material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) proviene de la quema residencial de leña. Las fuentes fijas (industria) y el transporte aportan sólo el 5% y 1%, respectivamente (MMA, 2016). Es decir, la contaminación que afecta a esta ciudad tiene básicamente un solo origen: la quema residencial de leña. La contaminación generada durante la combustión de leña se agudiza en la medida que la leña utilizada tiene un alto contenido de humedad, un gran porcentaje de los calefactores a leña corresponden a equipos de baja eficiencia, y las viviendas tienen mala aislación térmica (MMA 2014). Este último aspecto determina una alta demanda de energía para calefacción (MMA, 2010 y 2012).

La Figura 1 muestra la concentración de material particulado fino en la ciudad de Valdivia entre los años 2013 y 2018, observándose la estacionalidad del problema (máximos durante los meses de invierno) y su severidad, ya que los niveles sobrepasan ampliamente todos los estándares nacionales e internacionales. La

Figura 1.
Concentración de material particulado fino ($PM_{2.5}$) en la ciudad de Valdivia entre 2013 y 2018 (promedio 24 horas)



OMS establece concentraciones máximas diarias de $PM_{2.5}$ de 25 ug/m³ (WHO, 2005), mientras que EPA establece 35 ug/m³ (EPA, 2016), y la norma chilena 50 µg/m³ (MMA, 2011). Todos los valores corresponden a promedios 24 horas.

Las mayores concentraciones de material particulado se producen entre las 6 pm y 2 am. A esa hora la gente llega de sus trabajos y encienden el calefactor a leña, lo cual coincide con condiciones atmosféricas ventajosas para la acumulación de humo: baja temperatura, inversión térmica y poco viento (MMA, 2016).

El alto consumo de leña que se observa en las ciudades del centro-sur de Chile se debe a la interacción de varios factores. Por un lado, un clima frío y húmedo, especialmente en invierno, lo que sumado a la falta de una adecuada aislación térmica de las viviendas determina una alta demanda de energía para calefacción (Schueftan y González, 2013). Por otro lado, existe una profunda inequidad en la distribución del ingreso, la cual genera estratos sociales muy marcados; mientras algunas familias viven al estándar de los países más ricos del mundo, otras lo hacen de manera muy precaria (López et al., 2013). A esto se suma una pobre y tardía definición de políticas para regular la aislación térmica de las construcciones (Celis et al., 2012). Esto trajo consigo graves consecuencias en la demanda de energía y en los niveles de confort térmico de los hogares, ya que un alto porcentaje de las familias no pueden comprar el volumen de energía que necesitan para pasar el año (Reyes et al., 2015).

1.1. Normativa Térmica y el Plan de Descontaminación Atmosférica de Valdivia

En Chile, no hay normas ni políticas que apunten específicamente a temas de pobreza de energía, siendo este concepto incorporado recientemente entre los objetivos de la agenda de energía a través del Programa Energía 2050 (Ministerio de Energía, 2017). A pesar de que en invierno el frío y la lluvia dejan en evidencia la precariedad de los sistemas de calefacción, el tema de la pobreza de energía es nuevo en Chile y han sido pocos los trabajos que lo han abordado (Reyes et al., 2015; Schueftan et al., 2016).

A diferencia del desarrollo sostenido que ha tenido la normativa antisísmica, lo que ha convertido a las edificaciones chilenas en unas de las más preparadas del mundo para enfrentar sismos, la normativa térmica se encuentra en un estado incipiente. Ésta fue incorporada recién a la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones el año 2000, incorporando exigencias de transmitancia térmica sólo para techumbres. Posteriormente, en 2007, entró en rigor una segunda etapa de la norma en la cual se establecieron exigencias para muros, pisos ventilados y ventanas, restringiendo la superficie de las ventanas a un porcentaje de la envolvente exterior de la vivienda (MINVU, 2006).

La norma térmica del 2007 acaba de ser modificada. Esta modificación aumenta las exigencias para la aislación de techumbres, muros y pisos. Además, se incorporan requerimientos para la ventilación y para las infiltraciones de aire de manera de reducir pérdidas térmicas y problemas asociados a humedad y a contaminación intradomiciliaria. Esto entró en vigencia el año 2017 en las ciudades que han sido declaradas zonas saturadas por material particulado y que cuentan con un PDA, como es el caso de Valdivia (MMA, 2016), y a partir del año 2019 serán obligatorias en todo el país. Sin embargo, más del 80% de las viviendas valdivianas fueron construidas antes del año 2000 y no estarán obligadas a cumplir la normativa térmica, lo que implica que no son capaces de mantener una temperatura interior adecuada sin el uso de grandes cantidades de energía (Ortega et al., 2015).

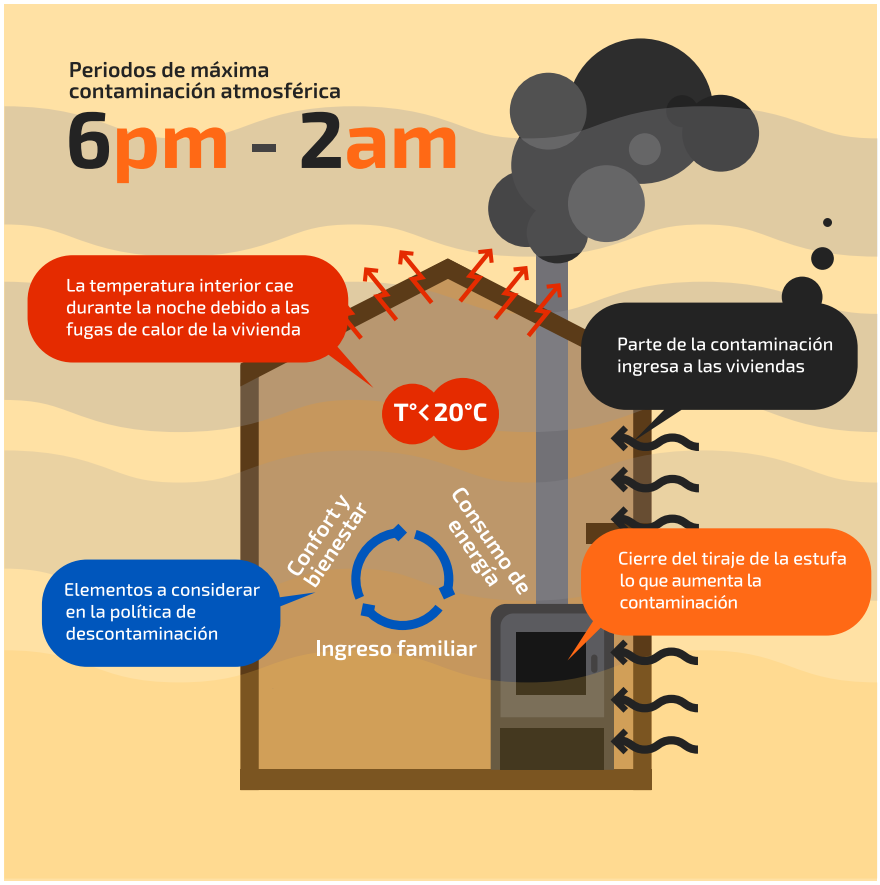
Valdivia fue declarada zona saturada por material particulado en 2014, debido a que durante el periodo 2009-2013 se registraron concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ muy por sobre la norma de calidad del aire. Esta norma define concentraciones máximas diarias de 150 µg/m³ y anual de 50 µg/m³N para PM_{10}, y diarias de 50 µg/m³ para $PM_{2.5}$. Cuando una ciudad es declarada zona saturada se elabora un PDA que tiene por finalidad reducir los niveles de contaminación. Este instrumento de gestión ambiental define un conjunto de medidas para recuperar la calidad del aire, entre las cuales se cuentan regulaciones referidas al uso y mejoramiento de los sistemas de calefacción, de la leña y sus derivados, y del mejoramiento térmico de las viviendas, entre otras (MMA, 2016). Algunos de los programas que se han estado implementando en Valdivia son:

1) Subsidios para el reemplazo de calefactores a leña existentes por modelos más eficientes o por calefactores que utilizan otros combustibles (kerosene, gas licuado o pellets);
2) Certificación de leña para garantizar un bajo contenido de

humedad de la leña y un origen sustentable del producto (trazabilidad);
3) Subsidios para el mejoramiento térmico de viviendas existentes y mayores requerimientos térmicos para viviendas nuevas;
4) Fiscalización del uso de calefactores a leña durante alertas ambientales y premergencias (prohibición de encendido y multas).

En los cuatro programas la implementación ha sido lenta y parcial y en 1) y 2) el desempeño del usuario determina la efectividad de la medida. Diversos estudios han demostrado que a través del mejoramiento térmico de las viviendas se podría reducir considerablemente el uso de leña y la contaminación (Ortega et al., 2015 y 2016; Schueftan y González, 2015; MMA 2010 y 2012), ya que disminuye la demanda de energía para calefacción entre el 30% y 70%. Sin embargo, el PDA no establece etapas ni prioridades claras, implementando todas las medidas al mismo tiempo en función de la demanda. Esto implica que son las familias las que definen en qué y cómo se avanza en la implementación del PDA, y a qué ritmo, y no la política pública. Esto es muy relevante porque el usuario tiene muy poco conocimiento sobre los beneficios de las distintas medidas, priorizando normalmente las estrategias 1) y 2), de menor costo y tiempo de ejecución, pero que no disminuyen significativamente la demanda de energía y por lo tanto no reducen la contaminación.
Este trabajo tiene por finalidad caracterizar la pobreza de energía en la ciudad de Valdivia, y analizar su interacción con el PDA. Sostenemos que algunos de los programas contemplados en el

Figura 2.
Resumen del problema



PDA podrían agudizar la pobreza de energía, ya que en su diseño no se consideraron de manera adecuada el contexto social de las familias, sus hábitos y la precariedad de las viviendas que habitan (Figura 2). Los datos presentados provienen de encuestas realizadas en distintos sectores y grupos socioeconómicos de la ciudad de Valdivia, región de Los Ríos. El presente estudio se completa además con resultados de mediciones realizadas entre 2015 y 2017, que contemplaron la instalación de dispositivos que monitorearon temperatura y concentración de material particulado fino ($PM_{2.5}$) al interior de las viviendas. Se tuvo en cuenta también información de diversos estudios realizados previamente en Valdivia, lo que permite considerar a esta ciudad como un caso de estudio representativo del resto de las ciudades de la zona centro-sur de Chile que presentan problemas similares.

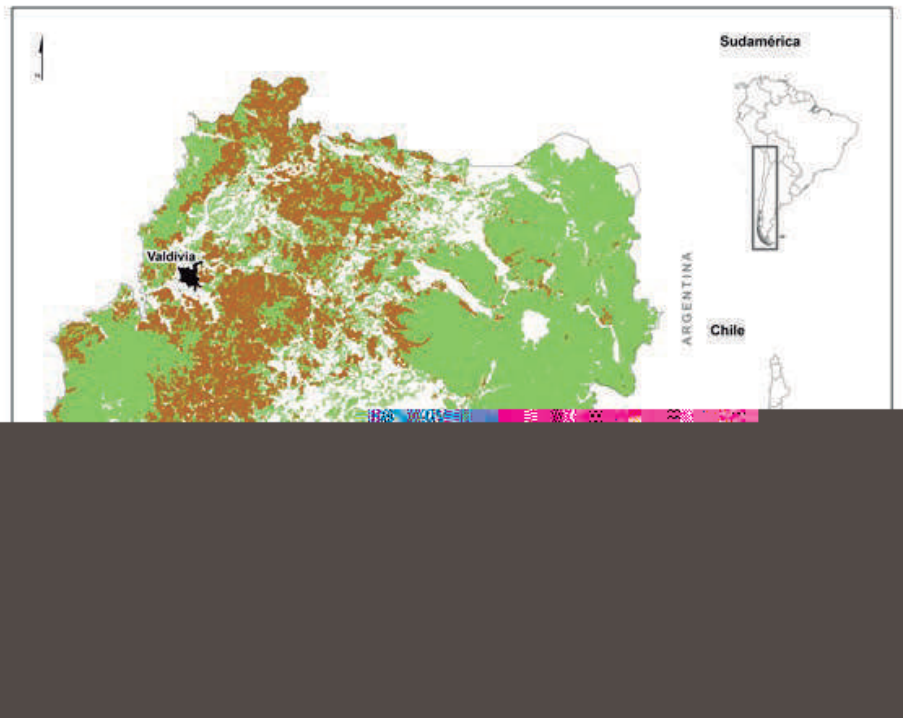
2. ÁREA DE ESTUDIO

La región de Los Ríos tiene un clima templado húmedo con una temperatura promedio de 12ºC y precipitaciones abundantes, especialmente en la zona costera donde se ubica la ciudad de Valdivia, en la cual pueden superar los 2.000 mm anuales (Castillo, 2001) (Figura 3). El periodo frío se extiende entre los meses de abril y noviembre, siendo julio el mes más frío con una temperatura media de 8°C. En invierno las temperaturas rara vez superan los 18°C, umbral que corresponde al mínimo recomendado por la Organización Mundial de la Salud para llevar una vida saludable (WHO, 1987).

El clima de la región y las características de las viviendas generan una alta demanda de energía para calefacción, la que se satisface principalmente con leña producida a partir de bosques y plantaciones forestales (principalmente *Eucaliptus sp.*).

La ciudad de Valdivia es la capital de la región de Los Ríos y se encuentra a los 39°48'30" latitud sur y 73°14'30" longitud oeste. Valdivia está a 15 kilómetros del Océano Pacífico y se emplaza a lo largo de los ríos Valdivia, Cau-Cau y Calle-Calle, y de una serie de humedales y cerros que la rodean. La ciudad tiene 155.000 habitantes (INE, 2017), los cuales se distribuyen en un área plana de aproximadamente 2.000 hectáreas. La economía de la ciudad de Valdivia gira en torno a la actividad forestal (producción de madera y celulosa de *Pinus radiata* y *Eucaliptus sp.*), el turismo, la educación (ciudad universitaria) y los servicios. Las plantas procesadoras de madera y celulosa están a más de 50 kilómetros de la ciudad.

Figura 3.
Área de estudio



3. METODOLOGÍA

Este estudio se realizó en dos etapas. La primera fue caracterizar el consumo de energía en el sector residencial urbano de la ciudad de Valdivia. Para esto, se aplicó una encuesta a 300 hogares durante los meses de mayo y junio del 2015 (INFOR, 2015). La selección de los hogares fue al azar, a partir de una grilla de puntos que se superpuso sobre una imagen satelital de la ciudad. Cuando un punto era seleccionado se procedía a encuestar la vivienda más cercana, de acuerdo a un protocolo de muestreo previamente establecido. La encuesta consideró los siguientes temas: caracterización socioeconómica, consumo de energía, consumo de leña, estado higrotérmico de las viviendas, y sistemas de calefacción.

En una segunda etapa, realizada el invierno del 2017, se seleccionó una muestra de 80 viviendas representativas del gradiente socioeconómico de Valdivia, y se monitoreó la temperatura y la concentración de material particulado $PM_{2,5}$ dentro de la vivienda utilizando sensores Speck® (INFOR, 2017), los cuales han mostrado ser muy precisos para esta labor (Taylor y Nourbakhsh, 2015). Cuarenta viviendas fueron monitoreadas durante el mes de agosto y otras cuarenta durante septiembre. Agosto es uno de los meses más fríos y lluviosos del invierno, mientras que septiembre corresponde a un mes de transición entre invierno y primavera. El consumo de leña disminuye en septiembre debido a que mejoran las condiciones meteorológicas.

Esta segunda fase del estudio fue más compleja, debido a la necesidad de entrar a las viviendas para instalar el sensor Speck®. Las 80 familias que participaron fueron



Imagen 2.
Quema de leña en una estufa de combustión lenta

seleccionadas a partir de las 300 viviendas encuestadas en 2015, más algunas viviendas nuevas que tuvieron que ser incorporadas en reemplazo de aquellas que no quisieron participar en el estudio. Los sensores se instalaron en el living de las casas, a una distancia prudente del calefactor a leña y a una altura que los mantuviera alejados de niños, mascotas u otros agentes que pudieran mover o golpear los aparatos, previo acuerdo con los dueños de casa. Debido a la ubicación de los sensores, la temperatura medida corresponde a un valor máximo. En los otros recintos de la casa, en especial en los dormitorios y baños, la temperatura suele ser menor. Al momento de instalar los sensores se aplicó una encuesta a las familias que incluyó una caracterización socioeconómica, consumo de energía, y consumo de leña, entre otros aspectos.

La pobreza de energía fue analizada utilizando el umbral de Boardman (1991), quien plantea que cuando las familias gastan más del 10% de sus ingresos en energía (calefacción, iluminación, etc.) se incide negativamente sobre la posibilidad de satisfacer otras necesidades. Este umbral del 10% es considerado un límite a partir del cual las familias dejan de satisfacer adecuadamente sus necesidades de energía, entrando en lo que se ha denominado un estado de pobreza de energía. Para el cálculo de la pobreza de energía se utilizó el ingreso neto, el cual corresponde al ingreso familiar menos el pago de arriendo o dividendo (Moore, 2012). Además, se utilizó la metodología de Khandker et al (2010), quienes también definen un umbral, pero no en base a valores arbitrarios, sino como un punto a partir del cual el consumo de energía se vuelve sensible al ingreso (aumentos de ingreso generan aumentos en el consumo de energía). Ambos análisis fueron contrastados con los programas considerados en el PDA de Valdivia, los cuales comenzaron a implementarse en 2014, y en el caso de la certificación de leña, desde 2004.

También se estimó el déficit energético de las viviendas, el cual corresponde al calor requerido para alcanzar un estado de confort térmico durante todo el día. Esto se expresó como la cantidad de grados Celsius requeridos para alcanzar una temperatura de 18° C a lo largo de un día promedio. Esto corresponde a la suma de las diferencias entre la temperatura de confort y la temperatura media horaria registrada al interior de las viviendas, cuando la primera es mayor a la segunda (suma de los déficit).

4. RESULTADOS

4.1. Caracterización del sistema de calefacción

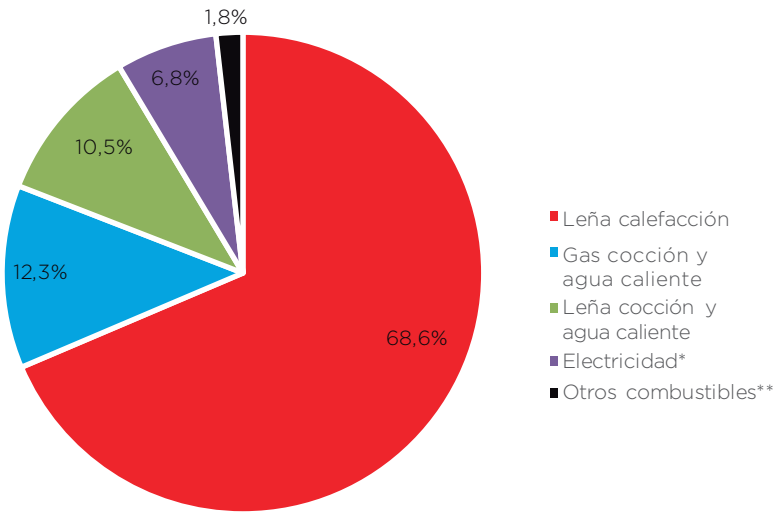
El sector residencial de la ciudad de Valdivia consume 767 GWh/año para satisfacer sus necesidades de calefacción, cocción de alimentos, agua caliente sanitaria, iluminación y uso de electrodomésticos (4,948 kWh/persona/año). Este valor corresponde al consumo final de energía, lo cual no considera la energía utilizada en la producción, transporte y distribución de los combustibles. El 71% de esa energía se usa para calefacción (Figura 4), a un promedio de 14.500 kWh/hogar/año (desviación estándar=7.724 kWh/hogar/año). El 95% de los hogares de la ciudad de Valdivia utilizan leña para calefacción. La Figura 5 muestra los calefactores a leña más comunes.

El consumo de energía para calefacción cambia dependiendo del tamaño de la vivienda. Aquellas que tiene menos de 60 m² consumen en promedio 13.500 kWh/año para calefacción (desv. estándar= 7.955 kWh/año), lo cual aumenta a 14.400 kWh/año en viviendas con superficies entre 60 y 120 m² (desv. estándar= 7.293 kWh/año) y a 17.400 en viviendas con más de 120 m² (desv. estándar= 10.296 kWh/año). Cuando estas cifras se analizan en términos relativos (consumo de energía por metro cuadrado), se observa que el consumo de energía para calefacción aumenta en viviendas de menor tamaño, que son las que al mismo tiempo se asocian a familias de menores ingresos (Figura 6). En el caso de las viviendas con superficies menores a 60 m² el consumo de energía promedio para calefacción es de 271 kWh/m²/año (desv. estándar= 161 kWh/m2/año), cifra que disminuye a 180 kWh/m²/año (desv. estándar=100 kWh/m²/año) cuando las viviendas tienen superficies entre 60 y 120 m², y a 120 kWh/m²/año (desv. est. 64 kWh/m²/año) cuando superan los 120 m².

Los calefactores a leña no son automáticos y se utilizan de manera intermitente (se encienden y apagan a lo largo del día para ahorrar combustible). En promedio, las familias valdivianas mantienen el calefactor encendido 12 horas por día. Si bien, esto no implica que el resto del tiempo la gente está en sus casas pasando frío, ya que hay momentos del día en que las casas están deshabitadas, el continuo encendido y apagado de los calefactores en invierno determina periodos fríos al interior de la vivienda que reducen el confort (Figura 7). Además, es justamente durante la primera media hora de funcionamiento del calefactor cuando se producen las mayores emisiones de material particulado (Vicente et al., 2015). Esto también ocurre en calefactores a leña más modernos que cuentan con dispositivos para reducir la emisión de material particulado, los cuales comienzan a funcionar cuando el equipo alcanza altas temperaturas (Calvo et al., 2015).

A partir de estos datos se estimó el déficit energético de las viviendas, el cual corresponde al calor requerido para alcanzar un estado de confort térmico constante a lo largo del día. En la Tabla 1 se observa que el déficit energético disminuye en la medida que aumenta el ingreso de las familias (en viviendas que fueron construidas antes del año 2000), como también en viviendas más

Figura 4.
Consumo final de energía en el sector residencial de la ciudad de Valdivia



* Una pequeña fracción del consumo eléctrico también se destina a calefacción.
** Kerosene, petróleo diésel y pellets de madera.
Nota: El gráfico no considera transporte.

Figura 5.
Calefactores utilizados en Valdivia



Nota: (a) salamandra, (b) cocina a leña y (c) estufa de combustión lenta.

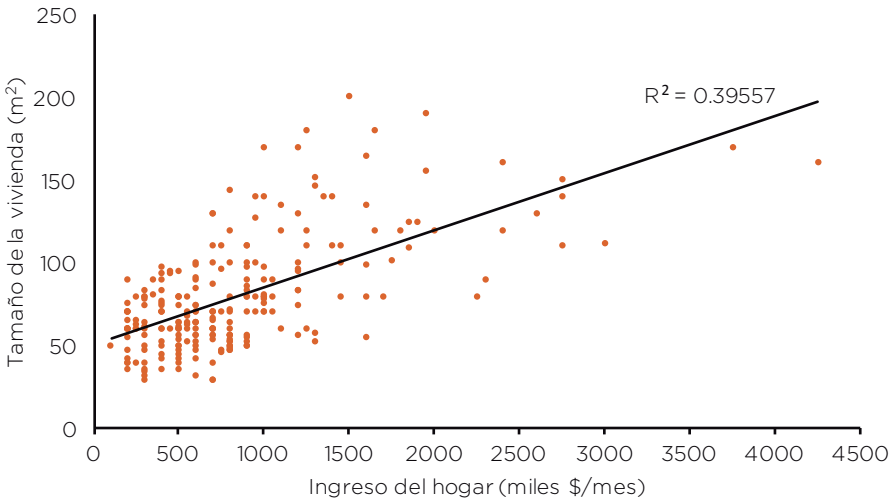
nuevas (construidas después del 2000, año en el cual comenzó a regir la primera etapa de la normativa térmica).

4.2. Contaminación del aire dentro y fuera de la vivienda

Otro de los aspectos que determina la calidad de la calefacción existente en Valdivia es su impacto en la calidad del aire, y por lo tanto en la salud de la población. La Figura 8 muestra la concentración de material particulado fino ($PM_{2,5}$) registrada dentro y fuera de las viviendas. Los valores exteriores corresponden a los datos informados por la estación de monitoreo de la calidad del aire de la ciudad de Valdivia (SINCA, 2017).

La concentración de $PM_{2,5}$ fuera de las viviendas supera reiteradamente los 50 $\mu g/m^3$ (promedio 24 horas), que corresponden al límite máximo establecido por la norma chilena de calidad del aire. De hecho, la norma es superada en 26 de los 56 días de monitoreo (del 01/08 al 28/09). Si se utilizaran estándares más exigentes, como el propuesto por la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2005) (25 $\mu g/m^3$, promedio 24 horas), la norma sería superada en 41 de los 56 días de monitoreo.

Figura 6.
Ingreso familiar y tamaño de la vivienda



La concentración de $PM_{2,5}$ dentro de las viviendas es menor que en el exterior, manteniéndose entre 20 y 30 $\mu g/m^3$ (promedio 24 horas), aunque hay momentos del día donde las lecturas pueden ser mayores, las cuales se asocian a otras actividades que generan partículas en suspensión, como fumar o encender la estufa a leña, y que corresponden a valores puntuales (Barría, 2012). En este caso, la norma de la OMS es superada en 36 de los 56 días de monitoreo.

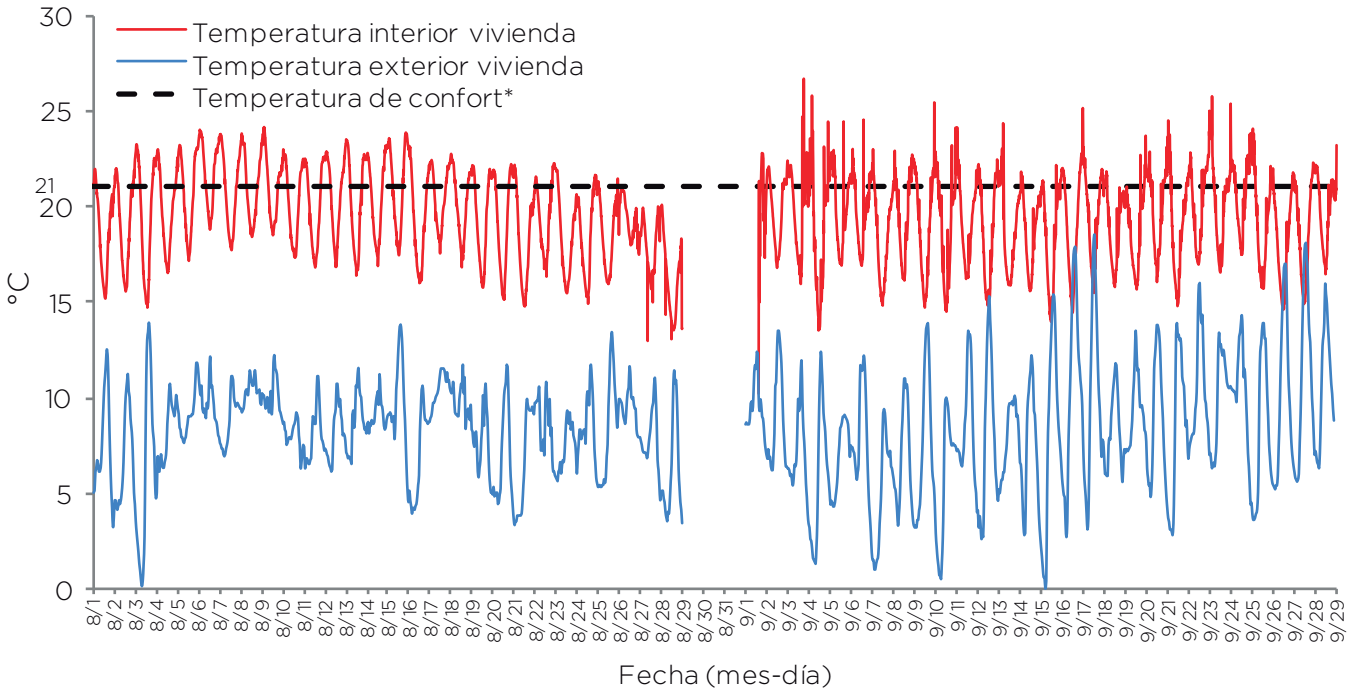
La tabla 2 muestra que la concentración de $PM_{2,5}$ dentro de las viviendas no cambia significativamente de acuerdo al

Tabla 1.
Déficit energético de acuerdo al ingreso familiar y la antigüedad de las viviendas

Año construcción vivienda	Déficit energético	Ingreso ($/hogar/mes)		
		<500.000	500.000-1.000.000	>1.000.000
Antes del 2000[1]	Promedio (grados acumulados/día)	20.2	17.5	13.4
	Desv. estándar (grados acum./día)	17.1	14.8	11.3
	Tamaño muestra	23	11	9
Después del 2000	Promedio (grados acumulados/día)	10.5	14.0	9.9
	Desv. estándar (grados acum./día)	16.1	11.5	7.0
	Tamaño muestra	4	9	3

[1] Antes del año 2000 no existían normas térmicas en Chile.

Figura 7.
Temperatura interior (promedio 40 viviendas) y exterior durante agosto y septiembre del 2017



* La organización mundial de la salud establece una temperatura mínima de 21 °C en el living y de 18 °C en el resto de la casa (WHO, 1987).

ingreso de las familias y la antigüedad de la construcción (aislación térmica). Es decir, la contaminación no discrimina grupos sociales, aunque esta conclusión puede ser sesgada dadas las limitaciones del estudio (tamaño y distribución de la muestra). Es muy probable que familias de altos ingresos que viven en la periferia o en sectores altos de la ciudad, donde hay menor densidad de viviendas y mejores condiciones de ventilación, estén expuestos a niveles de $PM_{2.5}$ mucho menores a los reportados en este documento.

4.3. Pobreza de energía

En Valdivia, las familias que se ubican en el primer decil de ingreso generan en promedio $206.250 por mes (desv. estándar= $30.619), mientras el decil más rico obtiene $2.217.308 por mes (desv. estándar= $679.844). El ingreso promedio de las familias valdivianas

Figura 8.
Concentración de material particulado fino ($PM_{2,5}$) interior (promedio 40 viviendas) y exterior durante agosto y septiembre de 2017

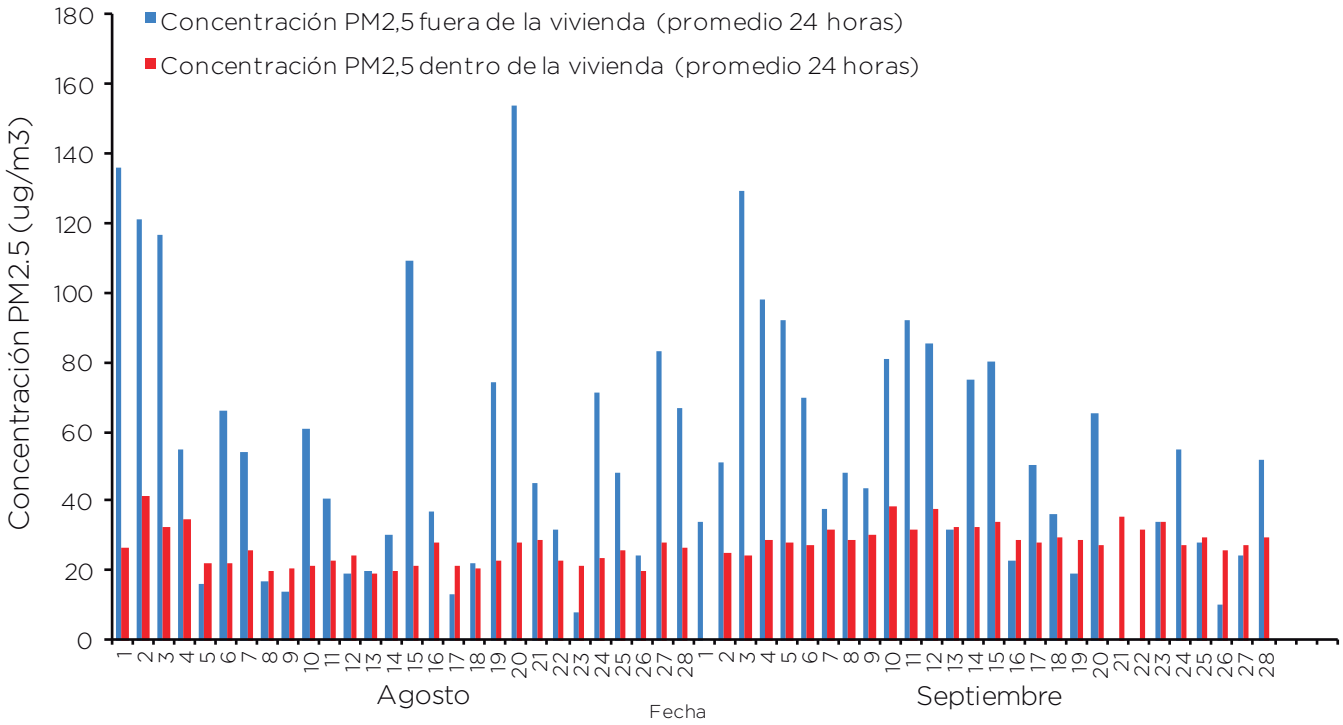


Tabla 2.
Concentración intradomiciliaria de $PM_{2,5}$ de acuerdo al ingreso familiar y la antigüedad de las viviendas

Año construcción vivienda	Concentración $PM_{2.5}$	Ingreso ($/hogar/mes) <500.000	500.000-1.000.000	>1.000.000
Antes del 2000[1]	Promedio 24 horas ($\mu g/m^3$)	27.8	23.9	29.8
	Desv. estándar ($\mu g/m^3$)	12.4	8.0	16.5
	Tamaño muestra	23	11	9
Después del 2000	Promedio 24 horas ($\mu g/m^3$)	33.0	24.3	30.2
	Desv. estándar ($\mu g/m^3$)	9.4	9.8	2.2
	Tamaño muestra	4	9	3

[1] Antes del año 2000 no existían normas térmicas en Chile.

es de $841.322 por mes, aunque el 60% de ellas obtienen menos de ese monto (Figura 9).

El ingreso de las familias es relativamente constante a lo largo del año, pero el gasto en energía no lo es, siendo significativamente mayor en los meses de invierno, cuando se necesita calefacción. La Figura 10 muestra el gasto en energía como proporción del ingreso familiar. El gráfico de la izquierda muestra que el 61% de los hogares gastan más del 10% de sus ingresos en energía durante el invierno (puntos que se encuentran sobre la línea horizontal), lo cual disminuye al 25% de los hogares en verano (gráfico de la derecha). En ambos gráficos se observa que el gasto comienza a exceder el 10% de los ingresos cuando las familias tienen un ingreso familiar menor a $1.000.000 por mes.

La Figura 11 muestra la relación entre ingreso familiar y consumo de energía en invierno. En los dos primeros deciles el consumo de energía no es sensible (inelástico) al ingreso, lo que implica que cuando

Figura 9.
Distribución del ingreso familiar en Valdivia en base a la muestra

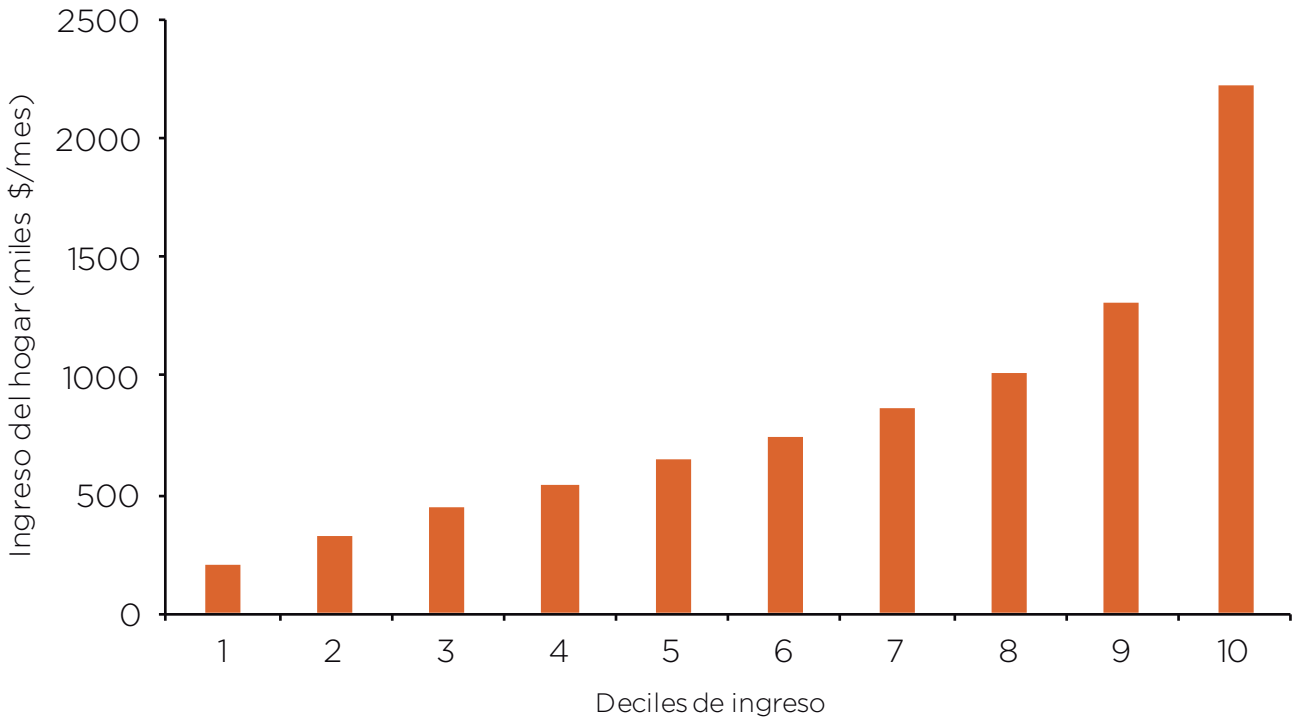
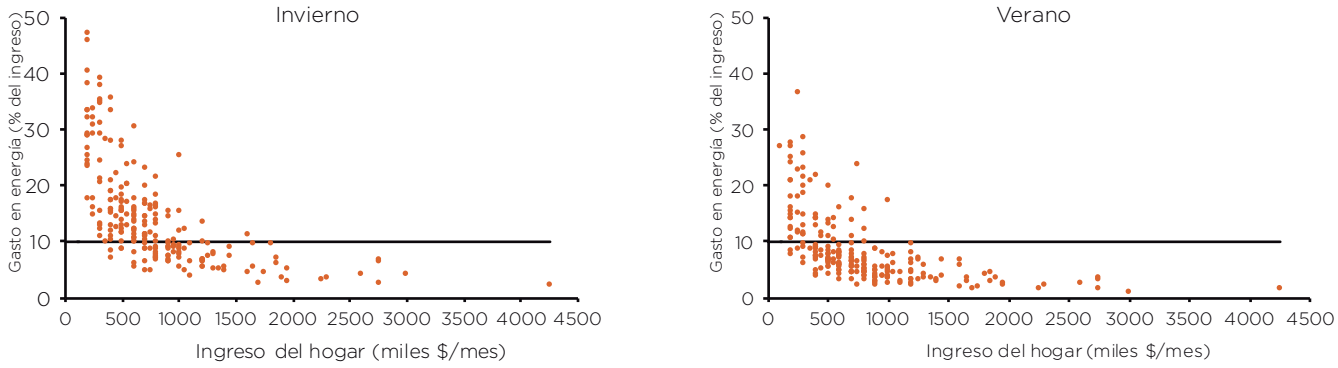


Figura 10.
Ingreso familiar y gasto en energía como porcentaje del ingreso

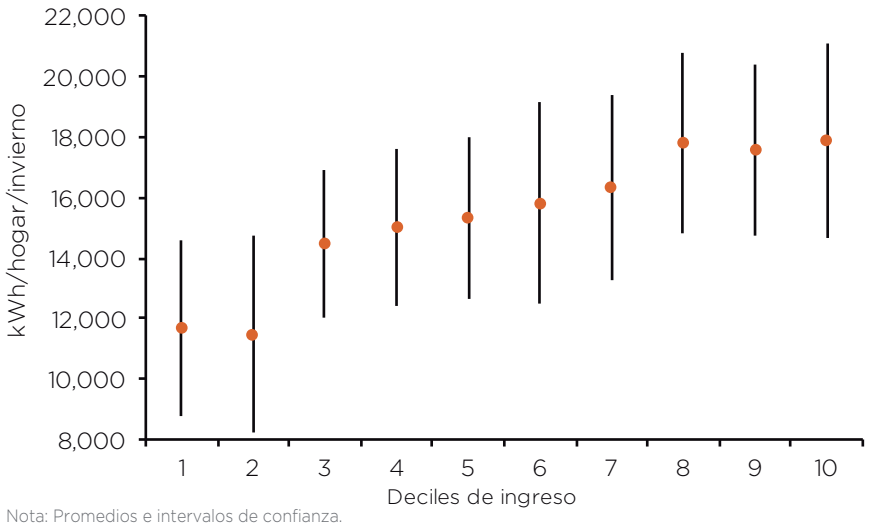


el ingreso aumenta no aumenta el consumo de energía. Desde el tercer al octavo decil se observa un aumento gradual en el consumo de energía en la medida que el ingreso aumenta, lo cual cambia desde el octavo decil en adelante cuando ambos factores se desacoplan.

5. DISCUSIÓN

El consumo de energía para calefacción registrado en la ciudad de Valdivia es muy superior al observado en otras regiones del mundo con climas similares e incluso más fríos, como es el caso de la isla sur de Nueva Zelandia, donde se emplean 3.900 kWh/hogar/año para calefacción, o los estados de Oregon y Washington en la costa oeste de los Estados Unidos (7.800 kWh/hogar/año), entre otros (EIA, 2009; Isaacs et al., 2010). Esto deja en evidencia la notable ineficiencia térmica de las viviendas de Valdivia, las cuales dejan escapar una gran cantidad de calor. Schueftan y

Figura 11.
Consumo de energía en invierno con respecto al ingreso familiar



Nota: Promedios e intervalos de confianza.

González (2013) mencionan que pequeñas inversiones en aislación térmica y hermeticidad, orientadas a mejorar techos, puertas y ventanas, podría reducir a menos de la mitad el consumo de energía, la contaminación y el gasto en calefacción.

Este alto consumo de energía está asociado a sistemas de calefacción que no aseguran un adecuado confort térmico en la vivienda, como puede observarse en la Figura 7. El continuo encendido y apagado de los calefactores a leña implica que una fracción importante del tiempo que las personas pasan al interior de la vivienda es de mala calidad debido al frío y la humedad. Esto desincentiva la realización de una serie de actividades como estudiar, trabajar, o simplemente tener tiempo de buena calidad para el ocio (Khandker et al., 2010), y tiene importantes efectos sobre la salud de las personas, especialmente de aquellos de menores ingresos (Baker et al., 2012). A pesar de su importancia, el impacto que esta deficiente calefacción está teniendo sobre el ingreso de las familias del sur de Chile no ha sido estudiado (baja productividad, tiempo perdido en consultas médicas, entre otros).

Por otra parte, las viviendas de menor tamaño, que en general pertenecen a familias de menores ingresos, son las más ineficientes. Esto coincide con lo indicado por Schueftan y González (2014), quienes encontraron serias deficiencias de aislación térmica en este segmento. Los problemas más graves se observan en casas que fueron construidas antes del año 2000, cuando aún no se exigían estándares de aislación térmica, siendo las familias de menores ingresos las que se encuentran en una situación más precaria. Por el contrario, las viviendas construidas después del 2000 presentan un déficit menor, el cual no varía con el ingreso. Esto implica que políticas orientadas a mejorar la aislación térmica de las viviendas no solo reducen el consumo de energía y la contaminación, sino que además son redistributivas (benefician más a las familias de menores ingresos).

Los resultados muestran que la contaminación atmosférica ingresa a las viviendas a través de infiltraciones, puertas y ventanas, aunque no alcanza los niveles que se observan fuera de la vivienda. Además, una fracción del material particulado que se encuentra dentro de la vivienda se genera ahí mismo, en actividades rutinarias como limpiar, encender el fuego, entre otras, razón por la cual la concentración de $PM_{2.5}$ al interior de la vivienda se mantiene relativamente constante durante agosto y septiembre, independientemente de las condiciones meteorológicas (septiembre presenta condiciones meteorológicas más favorables para la dispersión de contaminantes).

La concentración de $PM_{2.5}$ al interior de las viviendas durante agosto (25 $\mu g/m^3$, promedio 24 horas) fue significativa, aunque menor a la registrada al exterior de la vivienda (56 $\mu g/m^3$, promedio 24 horas). Sin embargo, ese nivel de $PM_{2.5}$ dentro de la vivienda puede ser suficientemente alto para generar daños en la salud de las personas si se mantiene por periodos prolongados (WHO, 2005; Bernstein et al., 2008). Si bien, no existen estudios que hayan monitoreado la calidad del aire dentro de la vivienda durante periodos más largos, se estima que la concentración intradomiciliaria de $PM_{2.5}$ debería disminuir el resto del año cuando las necesidades de calefacción disminuyen.

Con respecto a los ingresos de los hogares, se observa que el 25% de las familias no generan ingresos suficientes para cubrir necesidades básicas, que incluso van más allá del gasto en calefacción. Estas familias estarían sometidas a un estrés económico agudo y permanente, en el cual el abastecimiento de energía es secundario ante las dificultades que tienen para alimentarse, vestirse, transportarse, acceder a

educación y salud, etc. En este segmento se observan estrategias alternativas para el abastecimiento de energía, como la recolección de leña en el interior y periferia de la ciudad, la quema de desechos (madera de desecho, cartón, plásticos, ropa vieja y otros.), la instalación de conexiones eléctricas ilegales, o simplemente una mayor tolerancia a condiciones ambientales desfavorables dentro del hogar, con bajas temperaturas y altos niveles de humedad. Este porcentaje coincide con lo que otros autores han señalado es la verdadera dimensión de la pobreza en Chile (Durán y Kremerman, 2017; Ministerio de Desarrollo Social, 2017). Considerando sólo los meses de invierno, el 61% de los hogares estarían en estado de pobreza de energía, ya que utilizan más del 10% de sus ingresos para ese fin.

Sin embargo, cuando la relación ingreso - gasto en energía se analiza de acuerdo a la propuesta de Khandker et al. (2010), se observa que sólo en los dos primeros deciles (20% de las familias) el gasto en energía no es sensible al ingreso, lo que implica que aumentos de ingreso no se traducen en un mayor gasto en energía. Esto cambia en los cinco deciles siguientes, donde aumentos de ingreso se traducen en aumentos en el gasto en energía (se busca satisfacer necesidades insatisfechas), mientras que en los últimos tres deciles el consumo de energía y el ingreso se desacoplan (Girod y De Haan, 2010). De acuerdo a estas cifras, al menos el 20% de las familias valdivianas estarían por debajo de un umbral mínimo de consumo de energía, pudiéndose denominar familias en un estado permanente de pobreza de energía.

6. IMPLICANCIAS EN LA POLÍTICA PÚBLICA

La política de descontaminación atmosférica, implementada a través del PDA, debe considerar el escenario socioeconómico de las familias para evitar que contribuya a aumentar los niveles de pobreza de energía. La tardía implementación de normas térmicas en la construcción ha generado un escenario complejo, con más del 80% de las viviendas en un estado muy malo en lo que respecta a eficiencia energética (Ortega et al., 2015). La ausencia de eficiencia térmica ha afectado principalmente a familias de bajos ingresos, quienes requieren más energía para calefaccionar sus viviendas. Este esfuerzo económico adicional dedicado al consumo de combustibles termina siendo profundamente regresivo.

En general, todas las medidas contempladas en el PDA, a excepción del reacondicionamiento térmico de viviendas, son regresivas. Por ejemplo: 1) el recambio de calefactores elimina el uso de las cocinas a leña y obliga a los hogares a adquirir una cocina a gas o eléctrica, aumentando el gasto en energía; 2) utilizar calefactores modernos que impiden el cierre del tiraje implica un mayor consumo de leña ya que el combustible dura menos; 3) el programa de certificación de leña ha incrementado el precio de la leña; 4) la prohibición del uso de leña en días críticos de contaminación produce bajas rápidas de temperatura en las viviendas de sectores de menores ingresos, quienes no pueden pagar otros combustibles en su reemplazo.

Dado que las familias de menores ingresos compran leña en pequeños volúmenes a través del año, terminan pagando un precio mucho mayor que familias de ingresos altos, quienes pueden comprar toda la leña que requieren a inicios de temporada[1]. Es decir, para resolver un problema de toda la comunidad, las familias de ingresos más bajos hacen mayores esfuerzos económicos que las familias de ingresos más altos.

Por otra parte, el programa de recambio de calefactores tiene un efecto muy difícil de evaluar, ya que depende en gran medida del comportamiento del usuario. El hábito de cerrar el tiraje (entrada de aire) para que la leña "dure más" es generalizado, especialmente en la noche (Ortega et al., 2016), al igual que el constante encendido y apagado de los calefactores, lo cual podría estar anulando la contribución potencial del programa para reducir las emisiones de $PM_{2.5}$. Además, los factores de emisión de los calefactores a leña que se promueven e instalan en el marco del PDA son medidos en condiciones de laboratorio, las cuales difieren ampliamente de las condiciones reales de operación (Jordan y Seen, 2005).

Las alertas ambientales, por su parte, prohíben el uso de leña y multan a las personas que utilizan su calefactor durante episodios críticos. Supuestamente, esos días las familias deben utilizar otros combustibles para calentar sus viviendas, lo que es virtualmente imposible para gran parte de la población. En la práctica, las alertas ambientales han incrementado el gasto en calefacción y el frío al interior de las viviendas. Esta medida reduce de forma transitoria el impacto negativo de la contaminación atmosférica sobre la salud de las personas, pero al mismo tiempo expone a la población a temperaturas y condiciones de humedad dentro de la vivienda que son igualmente nocivas para la

[1] En la medida que la leña certificada cumple con el estándar del 25% de humedad (en base seca), contribuye al menos a disminuir la contaminación atmosférica. Sin embargo, si dicho requisito no se cumple la contribución del programa es cuestionable, generando un impacto social negativo ya que aumenta injustificadamente el gasto en calefacción de los hogares (Conway, 2012).

salud (WHO, 1987; Howden-Chapman et al., 2012). Claramente, las alertas ambientales afectan en mayor medida a los sectores de menores ingresos, los cuales no pueden sustituir la leña durante las prohibiciones.

A pesar del alto consumo de leña, y de que este combustible es relativamente barato, gran parte del día la temperatura al interior de las viviendas es menor a 21 oC en el living de las casas. Esto deja en evidencia que reemplazar los calefactores a leña por sistemas que utilizan otros combustibles más caros (otra de las medidas propuestas en el PDA), podría generar graves problemas de salud pública, ya que en la práctica implica un aumento de las horas de frío para un porcentaje importante de las familias, quienes no pueden gastar más de lo que ya están gastando (61% de las familias ya están gastando más del 10% de sus ingresos en energía durante el invierno).

El programa de reacondicionamiento térmico de viviendas y los requerimientos de eficiencia energética para viviendas nuevas permiten reducir de manera significativa la demanda de energía para calefacción (30% a 70% según estudios previos), que es una de las causas de fondo de la contaminación atmosférica que afecta a Valdivia y otras ciudades del centro-sur de Chile (Fissore y Colonelli, 2013). En un escenario de discomfort térmico como el actual, lo primero que ocurre cuando se mejora la eficiencia térmica de la vivienda es un aumento en su temperatura interior, pues parte del ahorro potencial se invierte en más calefacción (Howden-Chapman et al., 2009). De esta forma, el reacondicionamiento térmico de vivienda no sólo permite reducir la contaminación atmosférica, sino también mejorar el confort, la salud y el bienestar de las familias (Schueftan et al., 2016; Preval et al., 2018), con impactos que aún no han sido estudiados sobre el ingreso, el desempeño escolar y otros indicadores. Además, es la única medida de carácter redistributiva, es decir, beneficia más a las familias de ingresos más bajos.

El reacondicionamiento térmico de las viviendas facilita también la implementación y efectividad de otros programas, como el reemplazo de calefactores, el reemplazo de combustible y la certificación de leña. Disminuir el consumo de energía para calefacción permite disminuir también el gasto, lo que genera espacio económico (ahorro producido por el menor consumo de energía) para avanzar hacia otros sistemas de calefacción basados en electricidad, pellets u otros combustibles limpios, lo que tiene impactos positivos en la calidad del aire al interior de la vivienda y en la salud del grupo familiar (Howden-Chapman et al., 2008).

Evidentemente que el reacondicionamiento térmico de viviendas por sí solo no va a resolver el problema de la contaminación atmosférica. Sin embargo, debería ser el eje central del PDA, especialmente en el estrato socioeconómico bajo, que es donde se encuentran las viviendas de menor calidad y las situaciones más críticas de discomfort térmico e impactos sobre la salud. En este estrato, el reacondicionamiento térmico debería considerar también la ventilación controlada de los espacios, para evitar que aumente la concentración de material particulado (Cortes y Ridley, 2013). También debería considerarse el impacto negativo asociado a futuras ampliaciones a la vivienda, muy comunes especialmente en los grupos de ingresos más bajos, las cuales pueden anular el impacto positivo del reacondicionamiento térmico sobre el consumo de energía, si no se ejecutan siguiendo los mismos estándares de la vivienda reacondicionada (Viggers et al., 2017).

El diseño e implementación de políticas públicas orientadas a resolver el problema de la contaminación atmosférica que afecta a las ciudades del centro-sur de Chile, debe estar guiado por una visión holística, en la cual la contaminación atmosférica es sólo la expresión de un problema mucho más profundo y complejo, como es la calefacción residencial en un contexto de pobreza e inequidad. Visto de esa forma, el foco de la política pública ya no es sólo reducir la concentración de $PM_{2.5}$, sino generar condiciones de bienestar para todos, donde se minimiza el consumo de energía y por lo tanto el gasto de los hogares y la contaminación ambiental. La política pública, expresada en este caso en el PDA, no debe dejarse al mercado (demanda de las familias) sino que debe considerar etapas y prioridades para cada una de las situaciones que es posible observar en una sociedad tan desigual como la chilena.

7. REFERENCIAS

Barría, R.M. 2012. Contaminación área intradomiciliaria por material particulado fino (MP2,5) e incidencia de infección respiratoria aguda en los primeros 6 meses de vida. Tesis de doctorado, Facultad de Medicina, Universidad de Chile.

Aristondo, O., Onaindia, E. 2018. Counting energy poverty in Spain between 2004 and 2015. Energy Policy 113(1): 420-429.

Baker, M., Telfar Barnard, L., Kvalsvig, A., Verrall, A., Zhang, J., Keall, M., Wilson, N., Wall, T., Howden-Chapman, P. 2012. Increasing incidence of serious infectious diseases and inequalities in New Zealand: a national epidemiological study. The Lancet 379(9821): 1112–1119.

Barría, R.M. 2012. Contaminación área intradomiciliaria por material particulado fino (MP2,5) e incidencia de infección respiratoria aguda en los primeros 6 meses de vida. Tesis de doctorado, Facultad de Medicina, Universidad de Chile.

Bernstein, J.A., Alexis, N., Bacchus, H., Bernstein, L., Fritz, P., Horner, E., Li, N., Mason, S., Nel, A., Oullette, J., Reijula, K., Reponen, T., Seltzer, J., Smith, A., Tarlo, S.M. 2008. The health effects of nonindustrial indoor air pollution. American Academy of Allergy, Asthma & Immunology 121(3): 585-591.

Boardman, B. 1991. Fuel poverty: from cold homes to affordable warmth. London, United Kingdom, Belhaven Press, 224 p.

Bouzarovski, S., Petrova, S., Sarlamanov, R., 2012. Energy poverty policies in the EU: A critical perspective. Energy Policy 49(1): 76-82.

Bravo, V., Gallo Mendoza, G., Legisa, J., Suarez, C.E., Zyngierman, I. 1979. Estudio sobre requerimientos futuros no convencionales de energía en América Latina, Project RLA/74/030, Fundacion Bariloche, Buenos Aires, Argentina, Report to the United Nations Development Program, Appendix 9, primera aproximación a una definición de las necesidades básicas.

Calvo, A.I., Martins, V., Nunes, T., Duarte, M., Hillamo, R., Teinila, K., Pont, V., Castro, A., Fraile, R., Tarelho, L., Alves, C. 2015. Residential wood combustion in two domestic devices: Relationship of different parameters throughout the combustion cycle. Atmospheric Environment 116: 72-82.

Castillo, C. 2001. Estadística climatología Tomo II. Dirección Meteorológica de Chile, Climatología y Meteorología Aplicada. Santiago, Chile, 542 p.

Celis, F., Garcia, R., Trebilcock, M., Escorcia, O., Miotto, U., Diaz, M. 2012. Análisis energético de las viviendas del centro-sur de Chile. Arquiteturarevista 8(1): 62-75.

CDT (Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción). 2015. Medición del consumo nacional de leña y otros combustibles sólidos derivados de la madera. Informe final. Estudio encargado por el Ministerio de Energía. 302 p.

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.

Cortés, A., Ridley, I. 2013. Efectos de la combustión a leña en la calidad del aire intradomiciliario. La ciudad de Temuco como caso de estudio. INVI 78(28): 257-271.

Durán, G., Kremerman, M. 2017. Pobreza y la fragilidad del modelo chileno. Nuevos indicadores para el debate sobre pobreza. Ideas para el Buen Vivir N°11. Fundación Sol, 11 p.

EIA (Energy Information Administration of the United States). 2009. Residential energy consumption survey (RECS). Disponible en www.eia.gov/consumption/residential/data/2009/

EPA (Environmental Protection Agency of the United States). 2016. National Ambient Air Quality Standards (NAAQS). Disponible en: https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-clean-air-act

Fissore, A., Colonelli, P. 2013. Evaluación independiente del programa de reacondicionamiento térmico. Informe final. Ministerio de Vivienda y Urbanismo – Ministerio de Energía. 224 p.

Foster, V., Tre, J.P., Wodon, Q. 2000. Energy prices, energy efficiency, and fuel poverty. Latin America and Caribbean Regional Studies Programme. Washington, DC: World Bank.

Girod, B., de Haan, P. 2010. More or better? A model for changes in household greenhouse gas emissions due to higher income.

Goldemberg, J. 1990. One kilowatt per capita. Bulletin of the Atomic Scientists 46 (1): 13-14.

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.

Howden-Chapman, P., Pierse, N., Nicholls, S., Gillespie-Bennett, J., Viggers, H., Cunningham, M., Phipps, R., Boulic, M., Fjällström, P., Free, S., Chapman, R., Lloyd, B., Wickens, K., Shields, D., Baker, M., Cunningham, C., Woodward, A., Bullen, C., Crane, J. 2008. Effects of improved home heating on asthma in community dwelling children: randomised controlled trial. BMJ 337(7674): 852-855.

Howden-Chapman, P., Viggers, H., Chapman, R., O'Dea, D., Free, S., O'Sullivan, K. 2009. Warm homes: drivers of the demand for heating in the residential sector in New Zealand. Energy Policy 37, 3387–3399.

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

INFOR (Instituto Forestal). 2015. Encuesta residencial urbana sobre consumo de energía, uso de combustibles derivados de la madera, estado higrotérmico de las viviendas y calefacción en las ciudades de Valdivia, La Unión y Panguipulli. Observatorio de

los Combustibles Derivados de la Madera. Base de datos no publicada.

INFOR (Instituto Forestal). 2017. Encuesta residencial y monitoreo de la temperatura y la calidad del aire realizadas en el marco del Proyecto "Empirical analysis of air pollution and climate change mitigation actions in LAC". Observatorio de los Combustibles Derivados de la Madera. Base de datos no publicada.

INE (Instituto Nacional de Estadísticas). Resultados preliminares Censo 2017.

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

Jordan, T.B., Seen, A.J. 2005. Effect of Airflow Setting on the Organic Composition of Wood heater Emissions. Environmental Science and Technology v.10, pp.3601-3610. Disponible en http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15952364

Khandker, S.R., Barnes, D.F., Samad, H.A. 2010. Energy poverty in rural and urban India are the energy poor also income poor? Policy Research Working Paper 5463. Development Research Group, Agriculture and Rural Development Team.

Leiva, M.A., Santibañez, D.A., Ibarra, E.S., Matus, C.P., Seguel, R. 2013. A five-year study of particulate matter (PM2.5) and cerebrovascular diseases. Environ Pollut 181(1): 1–6.

Liddell, C., Morris, C. 2010. Fuel poverty and human health: A review of recent evidence. Energy Policy 38(6): 2987–2997.

López, R., Figueroa, E., Gutiérrez, P. 2013. La 'parte del león': nuevas estimaciones de la participación de los súper ricos en el ingreso de Chile. Facultad de Economía y Negocios, Universidad de Chile. Serie de documentos de trabajo 379, 31 p.

Ministerio de Desarrollo Social. 2017. Informe de desarrollo social 2017. Disponible en http://www.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/pdf/upload/IDS2017_2.pdf

Ministerio de Energía. 2017. Energía 2050. Política energética de Chile. Disponible en http://www.energia.gob.cl/sites/default/files/energia_2050_-_politica_energetica_de_chile.pdf

MINVU (Ministerio de Vivienda y Urbanismo). 2006. Manual de Aplicación Reglamentación Térmica – Parte 3. Elaborado por Instituto de la Construcción.

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. CIVA – UACh (Certificación e Investigación de la Vivienda Austral - Universidad Austral de Chile). Disponible en http://www.combustiblessolidosag.cl/index.php/descarga-documentos

MMA (Ministerio de Medio Ambiente). 2011. Establece norma primaria de calidad ambiental para material particulado fino respirable MP2,5. Disponible en: http://www.mma.gob.cl/transparencia/mma/doc/D12.pdf

MMA (Ministerio de Medio Ambiente). 2012. Evaluación técnica y económica de viviendas más incidentes en demanda térmica en el radio urbano de la ciudad de Valdivia. Informe Final. CIVA - UACh (Certificación e Investigación de la Vivienda Austral – Universidad Austral de Chile).

MMA (Ministerio del Medio Ambiente). 2014. Planes Descontaminación Atmosférica. Estrategia Nacional 2014 – 2018.

MMA (Ministerio de Medio Ambiente). 2016. Establece Plan de Descontaminación Atmosférica para la comuna de Valdivia. Publicación Diario Oficial. 23 de junio de 2016.

Molina, C., Toro, R., Morales, R., Manzano, C., Leiva-Guzmán, M. 2017. Particulate matter in urban areas of south-central Chile exceeds air quality standards. Air Quality, Atmosphere & Health 10(5): 653–667.

Moore, R. 2012. Definitions of fuel poverty: Implications for policy. Energy Policy 49, 19-26.

Ortega, V., Schueftan, A., González, A., 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, 16 p.

Ortega, V., Reyes, R., Schueftan, A., González, A., 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, 24 p.

Preval, N., Keall, M., Telfar-Barnard, L., Grimes, A., Howden-Chapman, P. 2018. Impact of improved insulation and heating on mortality risk of older cohort members with prior cardiovascular or respiratory hospitalisations. BMJ Open 7(11): 1-8.

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(1): 75-87.

Reyes, R., Sagardia, R., Schueftan, A. 2018. Consumo de combustibles derivados de la madera y transición energética en la región del Maule. En: Boletín BES, Bosques - Energía - Sociedad, Año 3 N° 8. Enero 2018. Observatorio de los Combustibles Derivados de la Madera OCDM. Instituto Forestal, Chile, 16 p.

Schueftan, A., González, A. 2013. Reduction of firewood consumption by households in south-central Chile associated with energy efficiency programs. Energy Policy 63(1): 823–832.

Schueftan, A., González, A. 2014. Calefacción en el sector residencial de Valdivia (Chile): análisis de una encuesta en 2025 hogares. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente

(ASADES), vol 18. Disponible en: http://www.asades.org.ar/biblioteca/revista-averma/

Schueftan, A., González, A. 2015. Proposals to enhance thermal efficiency programs and air pollution control in south-central Chile. Energy Policy 79(1): 48-57.

Schueftan, A., Sommerhoff, J., González, A. 2016. Firewood Demand and Energy Policy in South-central Chile. Energy for Sustainable Development 33: 26-15.

SINCA (Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire). 2017. Datos online sobre calidad del aire. Disponible en http://sinca.mma.gob.cl/

Taylor, M.D., Nourbakhsh, I.R. 2015. A low-cost particle counter and signal processing method for indoor air pollution. WIT Transactions on Ecology and The Environment 198, 337-348.

Vicente, E.H., Duarte, M.A., Calvo, A.I., Nunes, T.F., Tarelho, L., Alves, C.A. 2015. Emission of carbon monoxide, total hydrocarbons and particulate matterduring wood combustion in a stove operating under distinct conditions. Fuel Processing Technology 131: 182–192.

Viggers, H., Keall, M., Wickens, K., Howden-Chapman, P. 2017. Increased house size can cancel out the effect of improved insulation on overall heating energy requirements. Energy Policy 107, 248–257.

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

WHO (World Health Organization), 2002. World Health Report: Reducing Risks, Promoting Healthy Life. WHO, Geneva. Available at http://www.who.int/whr/2002/en/

WHO (World Health Organization). 2005. Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide Global update 2005. Summary of risk assessment. Available at http://apps.who.int/iris/handle/10665/69477

BES

BOSQUES | ENERGÍA | SOCIEDAD

Número 09 | MAR. 2018

Proyecto apoyado por CORFO

Conaf

Ministerio de Energía
Gobierno de Chile