BES

BOSQUES | ENERGÍA | SOCIEDAD

BES | Nº 3 | AÑO 2
FEBRERO 2016

ISSN: 0719-7136



CONTAMINACIÓN ATMOSFERICA: 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

BES

BOSQUES | ENERGÍA | SOCIEDAD

Informes BES | Número 03 | Año 02 | FEB. 2016
Producción y diagrámación: Verónica Ortega, Arquitecta, Investigadora Instituto Forestal **Editor general:** René Reyes, Ingeniero Forestal (M.Cs.), Investigador Instituto Forestal **Comité editor:** Adison Altamirano, Ingeniero Forestal (Ph.D.), Universidad de la Frontera; Gustavo Rodriguez, Arquitecto (M.Cs.), ESUR Arquitectos; Santiago Barros, Ingeniero Forestal, Investigador Instituto Forestal **Colaboradores:** Claudia Molina, Fotografía Portada.

UNA PUBLICACIÓN:

OCDM OBSERVATORIO DE LOS COMBUSTIBLES DERIVADOS DE LA MADERA

INFOR

Instituto Forestal
Sucre 2397 Ñuñoa
Santiago, Chile
Fono. 223669115

www.infor.cl

ISSN: 0719-7136

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

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

índice

03 RESUMEN

04 1. INTRODUCCIÓN

06 2. ÁREA DE ESTUDIO

06 3. METODOLOGÍA

07 4. RESULTADOS

17 5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

19 6. REFERENCIAS

21 7. ANEXOS

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

Verónica Ortega[a], Rene Reyes[a], Alejandra Schueftan[a,b], Alejandro Gonzalez[c], Fernanda Rojas[d]

[a] Instituto Forestal, Fundo Teja Norte s/n, Valdivia, Chile, Tel: 63-2335200, vortegacerna@gmail.com; rreyes@infor.cl; alejandraschueftan@gmail.com

[b] Escuela de Graduados, Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.

[c] Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medio Ambiente (INBIOMA, CONICET y Universidad Nacional del Comahue), Bariloche, Argentina, gonzalezad@comahue-conicet.gob.ar

[d] Instituto de Historia y Ciencias Sociales, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile, fernanda.rojas.m@gmail.com

RESUMEN

En este artículo se describen y analizan los sistemas de calefacción residencial existentes en las ciudades de Valdivia, La Unión y Panguipulli, en términos de confort térmico, gasto en calefacción, y contaminación. Además, se evalúan distintos programas que se han creado para enfrentar el problema de la contaminación atmosférica, bajo la premisa básica que descontaminar no puede hacerse a costa de empeorar las condiciones de habitabilidad de las familias. Con este fin, se aplicó una encuesta sobre consumo de energía, vivienda y calefacción entre los meses de mayo y julio del 2015. Además, se revisaron otros estudios disponibles y se utilizaron softwares especializados para la estimación de consumos de energía y gastos. Los resultados indican que cerca de dos tercios de la energía utilizada por el sector residencial de estas ciudades se destinan a calefacción, y que de esa fracción más del 90% proviene de leña. A pesar de ese enorme consumo de energía, en la mayor parte de los hogares no se alcanza un estado de confort térmico (entre 18 y 24ºC). Al comparar económicamente distintos sistemas de calefacción, queda en evidencia que con los actuales niveles de consumo de energía no es posible reemplazar la leña por otro combustible, sin empeorar significativamente las condiciones de temperatura dentro de las viviendas. Al respecto, la política de descontaminación no debería atacar el síntoma -consumo de leña- sino la enfermedad. Lo que está enfermando a las ciudades de la Región de Los Ríos, y otras en el sur del país, es la ineficiencia de las viviendas y los sistemas de calefacción asociados a un contexto de pobreza.

Palabras clave | Calefacción, leña, confort térmico, pobreza de energía, contaminación del aire, Región de Los Ríos

1. INTRODUCCIÓN

La Región de Los Ríos posee un clima templado húmedo que se caracteriza por abundantes precipitaciones y bajas temperaturas durante el periodo invernal, lo que genera una gran demanda de energía para calefacción. Las familias satisfacen sus necesidades de calefacción de manera individual, lo que implica que cada hogar cuenta con su propia estufa o calefactor, el que normalmente utiliza leña puesto que la energía producida con este combustible es entre 4 y 6 veces más barata que la producida con otras fuentes de energía (Schueftan y González, 2013).
El sector residencial urbano de la Región de Los Ríos consume 498.000 m^3 sólidos/año[1] de leña. Valdivia es el principal centro de consumo con el 44% del total, seguido por las ciudades de La Unión y Panguipulli[2] . En Valdivia, el 97% de los hogares utilizan leña a un promedio de 7,3 m^3 sólidos/hogar/año, mientras que en La Unión y Panguipulli lo hacen el 99% y 97% de los hogares a un promedio de 9,8 y 9,2 m^3 sólidos/hogar/año, respectivamente (INFOR, 2015). A pesar de este gran consumo de energía, la temperatura al interior de las viviendas no cumple con el umbral de confort térmico definido por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 1987; Barria, 2012).
El consumo de leña está generando problemas severos de contaminación atmosférica por material particulado y otros gases, lo cual se debe a una serie de factores: alto contenido de humedad de la leña utilizada, baja eficiencia de los calefactores, y mala aislación térmica de las viviendas. Este último aspecto determina además una alta demanda de energía para calefacción (MMA, 2012a). Como respuesta a esta situación los gobiernos han creado una serie de normas y programas, entre los cuales destacan los siguientes[3] :

a) Plan de alertas ambientales y sanitarias. Esta es una acción de corto plazo que tiene por finalidad reducir los niveles críticos de contaminación que afectan la salud de la población. El Ministerio de Salud define tres niveles de riesgo (alerta, preemergencia y emergencia) e implementa una serie de medidas para disminuir las emisiones e informar a la población del potencial impacto sobre la salud. En periodos de preemergencia y emergencia se restringe el uso de leña para calefacción, se paralizan fuentes fijas (grandes emisores), se informa a la población sobre los riesgos existentes, se restringen las actividades deportivas, y se implementa un programa de fiscalización de las medidas antes mencionadas (MMA, 2014A).

b) Calefacción domiciliaria sustentable. Esta medida tiene como objetivo reducir las emisiones domiciliarias a través

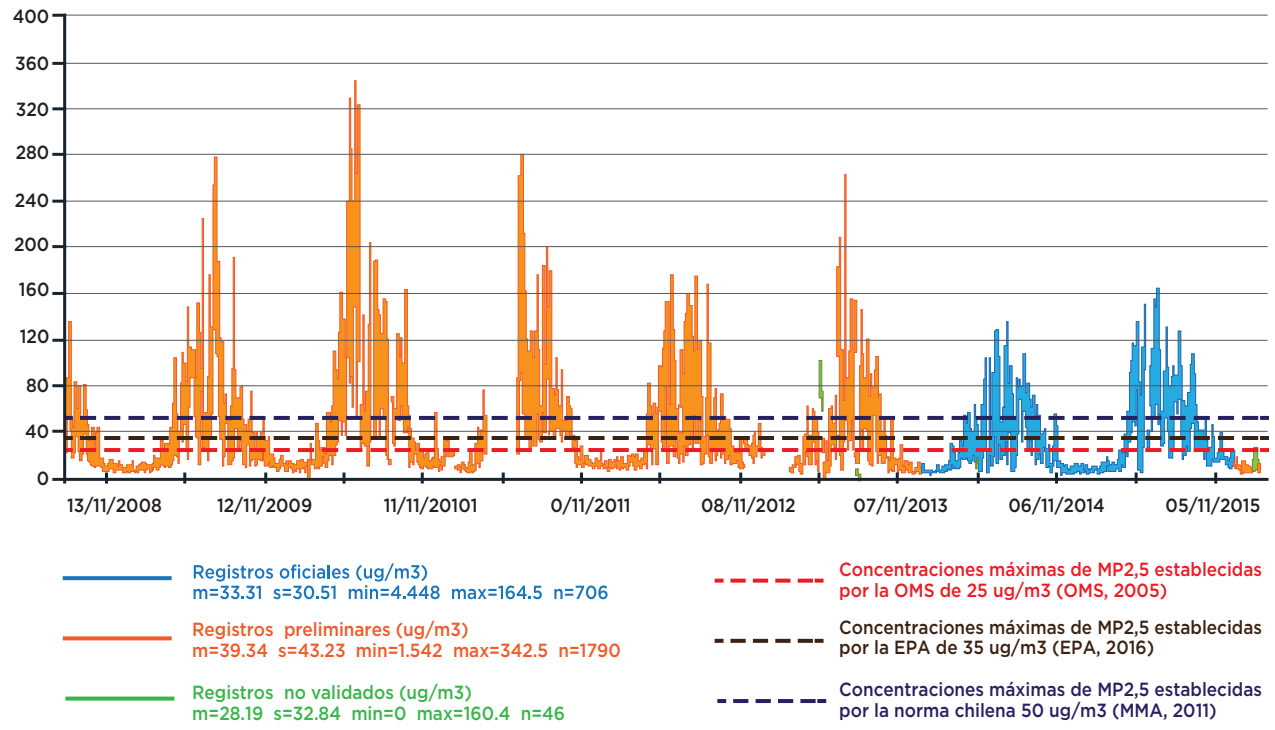
[1] Un metro cúbico sólido equivale a 1,56 metros cúbicos estéreo. El valor energético de 1 m3 sólido de leña oscila entre 4 y 8 GJ a 20% de humedad, dependiendo de la especie (CONAMA y UCT, 2015).
[2] Reyes, R., Altamirano, A., Thiers, O. Producción y consumo de leña en la Región de los Ríos. Artículo en elaboración.
[3] Estas medidas pueden implementarse o no en el marco de un Plan de Descontaminación Ambiental (PDA). En el caso de Valdivia existe un anteproyecto de PDA, mientras que La Unión y Panguipulli no cuentan aún con esta herramienta. El PDA se elabora después de que una ciudad o región es declarada Zona Saturada por Material Particulado, lo cual ocurre cuando la Norma de Calidad del Aire es superada de manera reiterada. La norma establece valores máximos de 150 ug/m^3N para MP10, y 50 ug/m^3N para MP2,5 (promedio 24 horas).

del recambio de calefactores a leña existentes por calefactores más eficientes, que cumplan la Norma de Emisión de Material Particulado[4] (MMA, 2014A). Esta medida es implementada por el Ministerio del Medio Ambiente en toda la Región de Los Ríos. La selección de las familias beneficiadas se realiza en base al tamaño familiar, el número de niños y adultos mayores que forman parte del grupo, la antigüedad y eficiencia del calefactor que está en uso, el consumo anual de leña, el tamaño de la vivienda, y la existencia de un lugar donde almacenar leña seca durante el invierno (MMA, 2012b). Las familias seleccionadas asumen el costo de instalar el calefactor nuevo y entregan el antiguo para su destrucción.

c) Programa de Certificación de Leña. El Sistema Nacional de Certificación de Leña (SNCL) es una iniciativa privada que tiene por objetivo regular el mercado de este combustible (Conway, 2012). El programa funciona desde el año 2005 en toda la Región de Los Ríos, y promueve el consumo de leña seca[5] que provenga de bosques bien manejados. El uso de leña certificada no es obligatorio, existiendo a la fecha 24 proveedores en la ciudad de Valdivia (SNCL, 2014). El secado de la leña ha sido un proceso complejo para los proveedores debido al clima predominante en la región, lo cual se ha constituido en una de las primeras limitaciones del sistema. El secado de la leña aumenta su precio, haciéndola menos competitiva que la leña tradicional.

d) Programa de rehabilitación térmica de viviendas. Este programa subsidia el reacondicionamiento térmico de viviendas cuyo avalúo sea inferior a 650 UF. El subsidio se enfoca a los grupos más vulnerables y entrega por una sola vez entre 100 y 110 UF por vivienda, con un ahorro previo de 3 UF (MINVU, 2010). Las obras se ejecutan a través de empresas constructoras, quienes evalúan cada caso y priorizan las intervenciones de acuerdo al monto asignado. El impacto

Figura 1.
Concentración de material particulado en la ciudad de Valdivia entre 2008 y 2016 (promedios diarios de MP2,5)



Nota: Las líneas rectas muestran las concentraciones máximas de MP2,5 que establecen distintas normas: la OMS de 25 ug/m³ (OMS, 2005), mientras que EPA establece 35 ug/m³ (EPA, 2016), y la norma chilena 50 ug/m³ (MMA, 2011). Todos los valores corresponden a promedios en 24 horas.
Fuente: http://sinca.mma.gob.cl/ (Ministerio de Medio Ambiente)

[4]En octubre del 2014 entró en vigencia la "Norma de Emisión de Material Particulado para artefactos que combustionan o puedan combustionar leña y pellet de madera". Los límites máximos de emisiones de material particulado dependen de la potencia térmica nominal de los artefactos, estableciéndose una emisión de 2,5 gramos/hora para calefactores que tengan una potencia igual o menor a 8 kW, de 3,5 gramos/hora para calefactores entre 8 kW y 14 kW, y de 4,5 gramos/hora para calefactores entre 14 kW y 25 kW (MMA, 2014A).
[5]Máximo 25% de humedad en base seca.

que ha tenido el programa en reducir el consumo de energía para calefacción ha sido menor al esperado, debido a que el estado de las construcciones es muy precario y la ejecución de las obras ha sido deficiente (Fissore y Colonelli, 2013). En este contexto, este artículo tiene por finalidad evaluar los principales programas que se han implementado para enfrentar el problema de la contaminación atmosférica, desde una perspectiva usuario-céntrica, es decir, sin que la solución al problema de la contaminación empeore los niveles de confort térmico de las familias. Esta evaluación se realizará sobre la base de una caracterización detallada de los sistemas de calefacción disponibles en las ciudades de Valdivia, La Unión y Panguipulli.

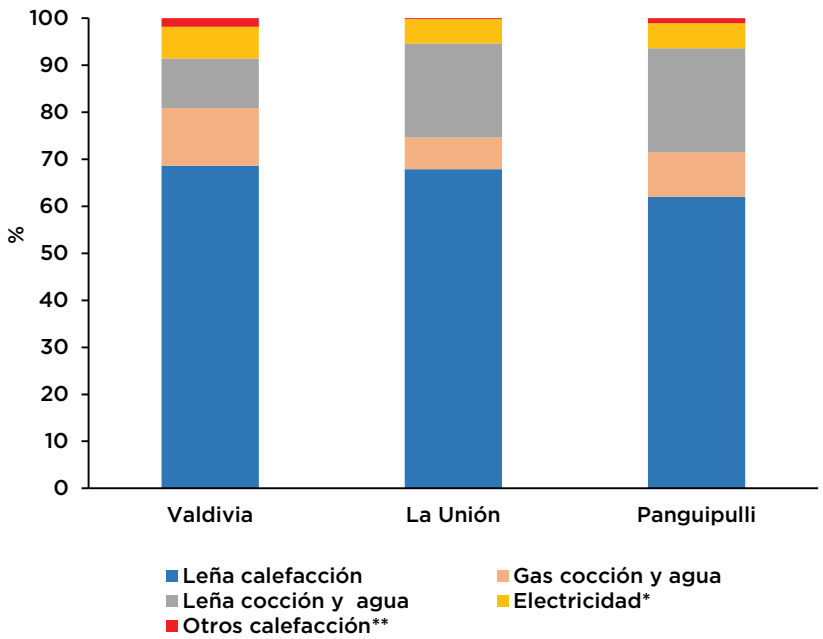
2. ÁREA DE ESTUDIO

La Región de Los Ríos se encuentra entre los 39º15' y 40º33' latitud sur, y es una de las quince regiones administrativas de Chile. La Región tiene una superficie de 18.400 km^2, los cuales están divididos en tres unidades fisiográficas: Cordillera de la Costa, Depresión Intermedia y Cordillera de Los Andes. La Región de Los Ríos limita por el norte con la Región de la Araucanía, por el sur con la Región de Los Lagos, por el este con Argentina y por el oeste con el Océano Pacífico. Esta área tiene un clima templado húmedo con una temperatura promedio de 12ºC y precipitaciones abundantes, especialmente en la zona costera donde pueden superar los 2.000 mm anuales (Castillo, 2001). Las precipitaciones disminuyen hacia el interior de la Región, debido al efecto de sombra de lluvia que genera la Cordillera de la Costa, pero vuelven a aumentar hacia la Cordillera de Los Andes.
El periodo frío se extiende entre los meses de abril y noviembre, siendo el trimestre junio, julio, agosto el más frío con una temperatura media cercana a los 8°C. En dicho periodo, las temperaturas medias de las principales ciudades de la región se mantienen muy por debajo de los 18°C, temperatura mínima recomendada por la Organización Mundial de la Salud para llevar una vida saludable (OMS, 1987). Estas características climáticas tienen una directa relación con los problemas de contaminación ambiental (Figura 1), debido a que las bajas temperaturas implican una alta demanda de energía para calefacción.

3. METODOLOGÍA

Para realizar el presente estudio se aplicó una encuesta a 500 hogares de las ciudades de Valdivia (300 encuestas), La Unión (100 encuestas) y Panguipulli (100 encuestas) durante los meses de mayo, junio y julio del 2015. La encuesta consideró los siguientes temas: consumo de energía, uso de combustibles derivados de la madera, estado higrotérmico de las viviendas, y calefacción (INFOR, 2015). Además, se sistematizaron otros estudios realizados a nivel regional. Cada una de las encuestas se georeferenció, lo cual permitió generar mapas temáticos a partir de la utilización de técnicas de interpolación. La técnica de interpolación utilizada fue la de distancia media ponderada (Inverse Distance Weighting en inglés), estableciendo barreras en el sistema de información geográfico para

Figura 2.
Composición del consumo de energía del sector residencial urbano



** Una pequeña fracción del consumo de electricidad se utiliza en calefacción.*
*** Los otros combustibles utilizados en calefacción son gas licuado, kerosene, petróleo diésel y pellets de madera, y representan en torno al 1% del consumo total de energía.*
Fuente: elaboración propia.

Cuadro 1.
Consumo de energía para calefacción y antigüedad de los calefactores

CALEFACTOR	VALDIVIA			LA UNION			PANGUIPULLI		
	EDAD EQUIPO (AÑOS)	CONSUMO ENERGÍA PROMEDIO (kWh/ hogar/ año)*	% VIVIENDAS	EDAD EQUIPO (AÑOS)	CONSUMO ENERGÍA PROMEDIO (kWh/ hogar/ año)*	% VIVIENDAS	EDAD EQUIPO (AÑOS)	CONSUMO ENERGÍA PROMEDIO (kWh/ hogar/ año)*	% VIVIENDAS
LEÑA**	8,5	14.148	97,0	8,5	19.201	99,0	7,5	17.746	97,0
GAS LICUADO	8,0	1.832	8,0	8,0	249	18,0	5,0	1.945	8,0
KEROSENE	5,0	1.272	8,0	5,0	--	1,0	6,0	1.309	5,0
ELECTRICIDAD***	--	1.047	14,0	--	571	6,0	--	857	4,0
PETRÓLEO DIESEL	--	13.945	0,3	--	--	--	--	--	--
PELLETS	--	13.160	0,3	--	--	--	--	--	--

** Los niveles de consumo de energía de leña, petróleo y pellets dejan en evidencia su condición de combustibles principales, en lo que respecta a calefacción, mientras que el gas licuado, el kerosene y la electricidad son combustibles complementarios. Los promedios consideran sólo a aquellos hogares que utilizan ese tipo de calefacción.*
*** Considera el consumo total de leña, incluyendo aquella fracción que se utiliza para cocción de alimentos y agua caliente.*
**** Considerando calefactores que tienen un consumo promedio de 1,7 kWh por hora de utilización.*
Nota: la suma de los porcentajes es mayor a 100% debido a que en muchos hogares existe más de un artefacto.
Fuente: CChC (2010), INFOR (2015).

eliminar la influencia de ciertos grupos de puntos sobre otros, en función de la presencia de ríos, humedales, carreteras, etc.
El análisis costo-beneficio de distintos sistemas de calefacción se realizó mediante la simulación térmica estática de una vivienda construida con estructura de madera y ventanas con vidrio monolítico, bajo la normativa térmica del año 2007 (12 cm de aislante en techo, 8 cm de aislante en piso ventilado y 2 cm de aislante en muros), en la ciudad de Valdivia. Para la modelación se consideró un tasa de infiltración de 0,8 ACH (cambios de volumen de aire por hora) con una carga de ocupación de 4 personas, 16 horas al día, 30 días por mes. La carga térmica fue calculada para obtener una temperatura interior de 19°C, las 24 horas del día, los 365 días del año.

Se analizaron cuatro programas relacionados con calefacción residencial: plan de alertas ambientales, programa de recambio de calefactores, programa de leña certificada y subsidio de reacondicionamiento térmico. Los criterios utilizados para evaluar el impacto de estos programas en la calidad de vida de las familias fueron: reducción de emisiones de $PM_{2.5}$, reducción en el consumo de energía, aumento en la temperatura interior de las viviendas, y costo de implementación. Los datos modelados fueron obtenidos de Schueftan y González (2015) y analizados para los distintos programas.
Se elaboró una matriz de políticas para mostrar el impacto relativo de los distintos programas según los criterios evaluados y en base a los cálculos realizados en estudios previos.

4. RESULTADOS

4.1. CARACTERIZACIÓN GENERAL

4.1.1. Consumo de energía para calefacción

El sector residencial urbano de las ciudades de Valdivia, La Unión y Panguipulli consume 767, 173 y 174 GWh/año (GigaWatt-hora por año)[6], respectivamente, para satisfacer todas sus necesidades energéticas: calefacción, cocción de alimentos, agua caliente sanitaria, iluminación y uso de electrodomésticos (no se considera transporte). La Figura 2 muestra en detalle la composición del consumo de energía en las tres ciudades. Entre el 63% (Panguipulli) y el 70% (Valdivia) del consumo total de energía se utiliza

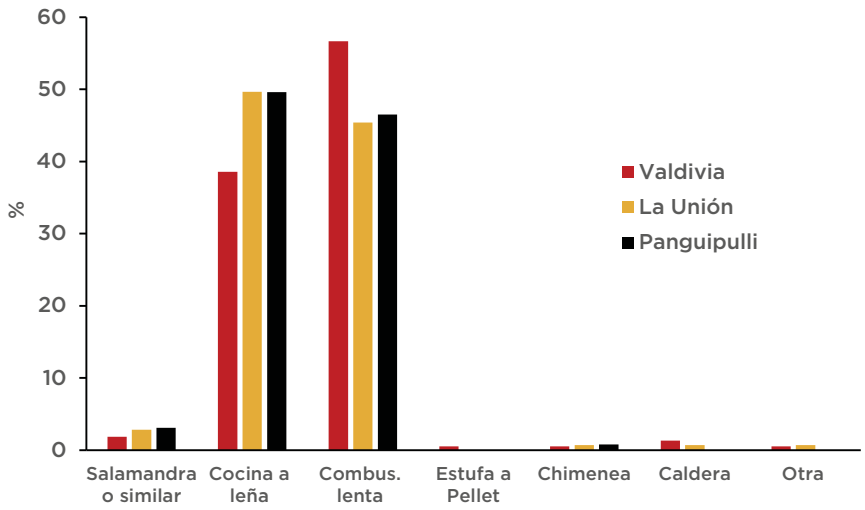
[6]Esto corresponde a consumo final de energía, lo cual no considera la energía utilizada en la producción, transporte y distribución de los combustibles. Por ejemplo, para que 1 litro de kerosene sea utilizado por los consumidores en Valdivia se requiere energía para extraer el petróleo, refinarlo, transportarlo, etc. Lo mismo ocurre con la electricidad, la leña y los demás combustibles.

en calefacción, la cual se satisface principalmente con leña.
Cada hogar de la ciudad de Valdivia consume en promedio 14.180 kWh/año para calefacción, con una desviación estándar de 7.724 kWh/año, mientras que en La Unión y Panguipulli consumen 19.068 kWh/año (desv. est. 7.320 kWh/año) y 17.994 kWh/año (desv. est. 8.656 kWh/año), respectivamente, en promedio por hogar.

4.1.2. Los sistemas de calefacción

El 97% de los hogares de Valdivia y Panguipulli y el 99% de los hogares de La Unión utilizan leña como principal fuente de energía para calefacción, con un consumo promedio de 7,3; 9,2; y 9,8 m^3 sólidos/año, respectivamente. El 55% de la leña empleada en Valdivia corresponde a especies nativas y el 37% a especies exóticas. En La Unión y Panguipulli las proporciones de uso de nativas y exóticas son opuestas: en La Unión el 27% corresponde a maderas nativas y el 71% a exóticas, mientras que en Panguipulli el 76% corresponde a nativas y 17% a exóticas. La especie nativa más utilizada como leña es el roble (*Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst), mientras que el eucalipto lo es entre las exóticas.
El gas licuado, el kerosene y la electricidad también se utilizan para calefacción, pero como complemento a la leña. Además, en Valdivia, el 0,3% de los hogares utilizan petróleo diésel como principal fuente de energía para calefacción, mientras que otro 0,3% utiliza pellets. Estos combustibles no aparecen en la matriz de calefacción de las ciudades de La Unión y Panguipulli (Cuadro 1).
En la ciudad de Valdivia el 57% de los calefactores a leña corresponden a estufas de combustión lenta y el 39% a cocinas tradicionales. El 0,5% de los hogares cuentan con estufas a pellets (equipo que no está presente en las otras ciudades), y el 1,3% con calderas a leña (calefacción central). En La Unión y Panguipulli el calefactor más común sigue siendo la cocina a leña (50%), y en segundo lugar la estufa de combustión lenta (46%). Esto se debe probablemente a que en ciudades mas pequeñas existe una mayor influencia rural, donde existe un fuerte arraigo con la cocina a leña. Las salamandras y chimeneas representan en torno al 3% del total de calefactores que utilizan leña y derivados en las tres ciudades (Figura 3).
Los hogares que cuentan con cocinas tradicionales como calefactor principal no consumen más leña que aquellas que utilizan estufas de combustión lenta, a pesar de su doble rol como calefactores y cocinas, y en parte como proveedora de agua caliente sanitaria. El análisis de las encuestas no muestró diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos de hogares.
Por otra parte, el 54% de los hogares de Valdivia que cuentan con una estufa de combustión lenta, mantienen el tiraje cerrado (control de aire de entrada) durante el día, y en el 77% de los casos también de noche. En la Unión y Panguipulli los porcentajes son similares. El control de la entrada de aire (tiraje) es una diferencia fundamental entre las cocinas a leña y las estufas de combustión lenta, puesto que en las primeras no es posible cerrarlo por completo.
En las ciudades de La Unión y Panguipulli la calefacción funciona un promedio de 13,0 y 13,4 horas/día, respectivamente, lo cual se reduce a 12 horas/día en el caso de Valdivia (Figura 4). El 42% de los hogares valdivianos encienden el calefactor menos de 10 horas diarias, mientras que en las otras ciudades esto ocurre sólo en el 22% de los casos (el 78% restante lo enciende por más tiempo). En Panguipulli, en forma notable, el 13% de los hogares encuestados permanecen con el calefactor encendido 24 horas al día en época invernal, lo cual se reduce al 9% en Valdivia y al 6% en La Unión.

Figura 3.
Calefactores a leña utilizados en las ciudades de Valdivia, La Unión y Panguipulli



Fuente: elaboración propia.

[7]El confort térmico es un concepto que describe el estado en el cual una persona se encuentra en equilibrio fisiológico con el ambiente que le rodea. El organismo humano alcanza dicho equilibrio entre los 18 y 24°C, con una humedad relativa entre el 35% y 75% (Egan, 1975), lo cual ha sido definido por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 1987) como el umbral mínimo para llevar una vida saludable.

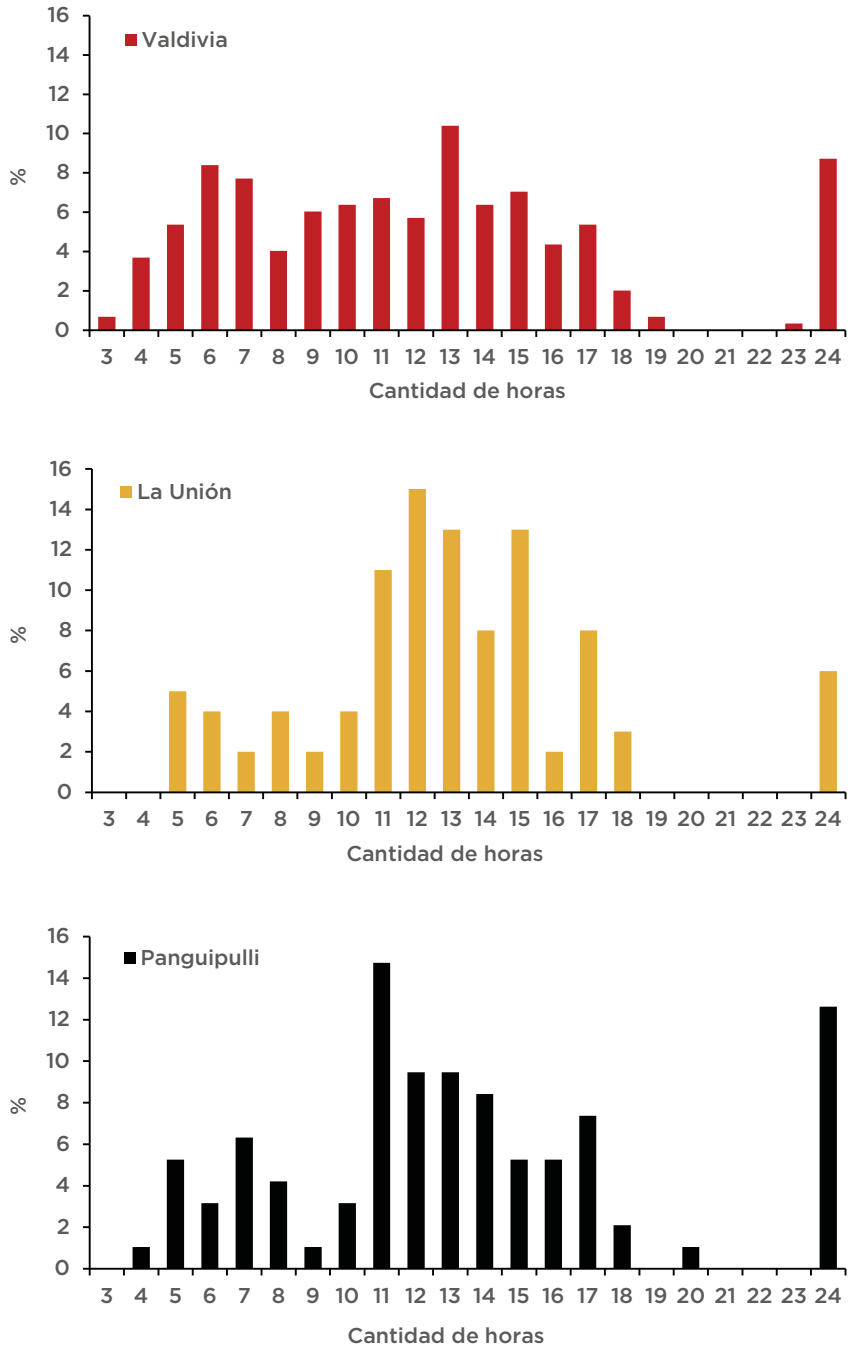
Imagen 1: Venta de leña en la ciudad de Valdivia



4.1.3. Confort térmico y calefacción

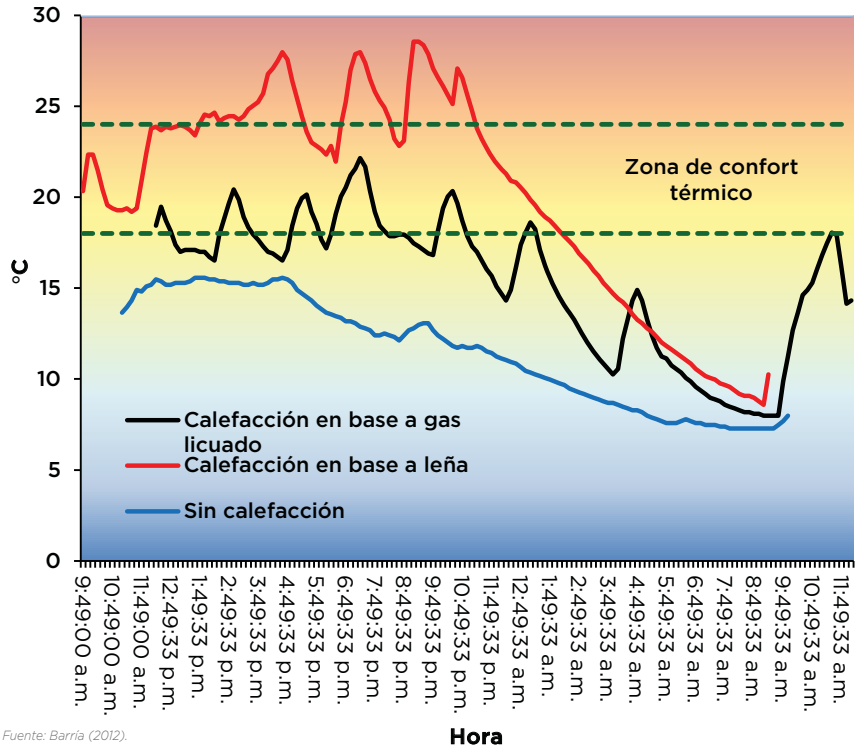
El alto consumo de energía para calefacción muchas veces no asegura un confort térmico[7] adecuado. La Figura 5 muestra la temperatura medida con Datalogger al interior de tres viviendas (living) en la ciudad de Valdivia, en agosto del 2008 (Barría, 2012). En el caso de la vivienda no calefaccionada, la temperatura se mantuvo por debajo de los 15°C durante las 24 horas que duró el monitoreo (con mediciones cada 10 minutos), lo cual está fuera de la zona de confort térmico definida por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006). En el caso de las viviendas calefaccionadas con gas licuado y leña se observan picos de temperatura, los cuales están asociados al encendido de la estufa a gas y a la introducción de leños, respectivamente. La estufa a leña fue encendida a las 9:30 am y alimentada con leña hasta la media noche, mientras que la estufa a gas licuado fue encendida en varias ocasiones durante el día. Primero a medio día, luego a las 15:00 pm y así sucesivamente, por periodos que fluctuaron entre 30 y 60 minutos. Estos casos representan situaciones comunes en el uso de calefacción en la Región de Los Ríos, y en general en la zona centro-sur del país. Por un lado, las familias que no invierten en calefacción pasan frío, mientras que aquellas que sí lo hacen observan cambios bruscos de temperatura a lo largo del día. En la noche, la temperatura suele situarse por debajo de los 18°C (cuando los equipos se apagan), mientras que en el día fluctúa en torno a ese valor debido a que la calefacción no es constante (figura 5). Esto es común cuando se utilizan fuentes de energía costosas como el gas licuado o la electricidad, cuyos calefactores se encienden y apagan durante el día con el fin de reducir el gasto. Sin embargo, también puede haber un exceso de calefacción cuando la temperatura supera los 24°C. Esto último es frecuente cuando

Figura 4.
Horas de calefacción durante el invierno



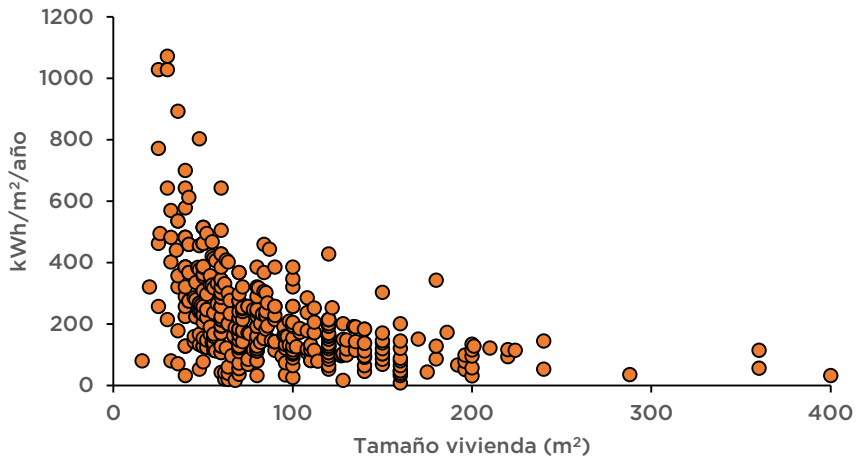
Fuente: elaboración propia.

Figura 5.
Temperatura intra-domiciliaria medida en tres viviendas de Valdivia en agosto del 2008



Fuente: Barría (2012).

Figura 6.
Consumo de energía para calefacción de acuerdo al tamaño de la vivienda



Fuente: elaboración propia en base a datos obtenidos en la encuestas aplicada en las tres ciudades (Valdivia, La Unión y Panguipulli).

[8] En el Anexo 1 se observan los casos de La Unión y Panguipulli.

se utilizan estufas o cocinas a leña que son recargadas constantemente por los usuarios.

De un total de 59 hogares monitoreados, sólo el 20% logró mantener una temperatura de confort (18-24°C) durante al menos 12 horas. Si el umbral se reduce a una calefacción que permita confort térmico por al menos 8 horas, la proporción aumenta al 54% de los casos (Barría, 2012). Es decir, casi la mitad de los hogares tuvieron menos de 8 horas diarias de confort térmico real. Es importante mencionar que las viviendas seleccionadas por Barría (2012) correspondieron a familias donde había presencia de lactantes menores a 6 meses. Bajo el supuesto de que familias con bebes tratarían de mantener una mejor temperatura dentro de sus hogares, es probable que los porcentajes anteriores estén sesgados en favor de ambientes mejor calefaccionados.

4.1.4. Tamaño de la vivienda y distribución espacial del consumo de energía para calefacción

En general, se observa que el consumo de energía para calefacción aumenta en la medida que el tamaño de las viviendas disminuye (Figura 6). En viviendas con menos de 60 metros cuadrados el consumo promedio de energía para calefacción es de 324 kWh/m²/año (desv. est. 189 kWh/m²/año), mientras que en viviendas entre 60 y 120 metros cuadrados el consumo promedio disminuye a 180 kWh/m²/año (desv. est. 90 kWh/m²/año) y en viviendas con más de 120 metros cuadrados a 113 kWh/m²/año (desv. est. 62 kWh/m²/año). En términos de consumo per cápita no se observan diferencias estadísticamente significativas entre estos tres tipos de tamaños de viviendas, manteniéndose todos en torno a los 6.000 kWh/persona/año.

Esta situación se debe probablemente a que en los hogares de segmentos

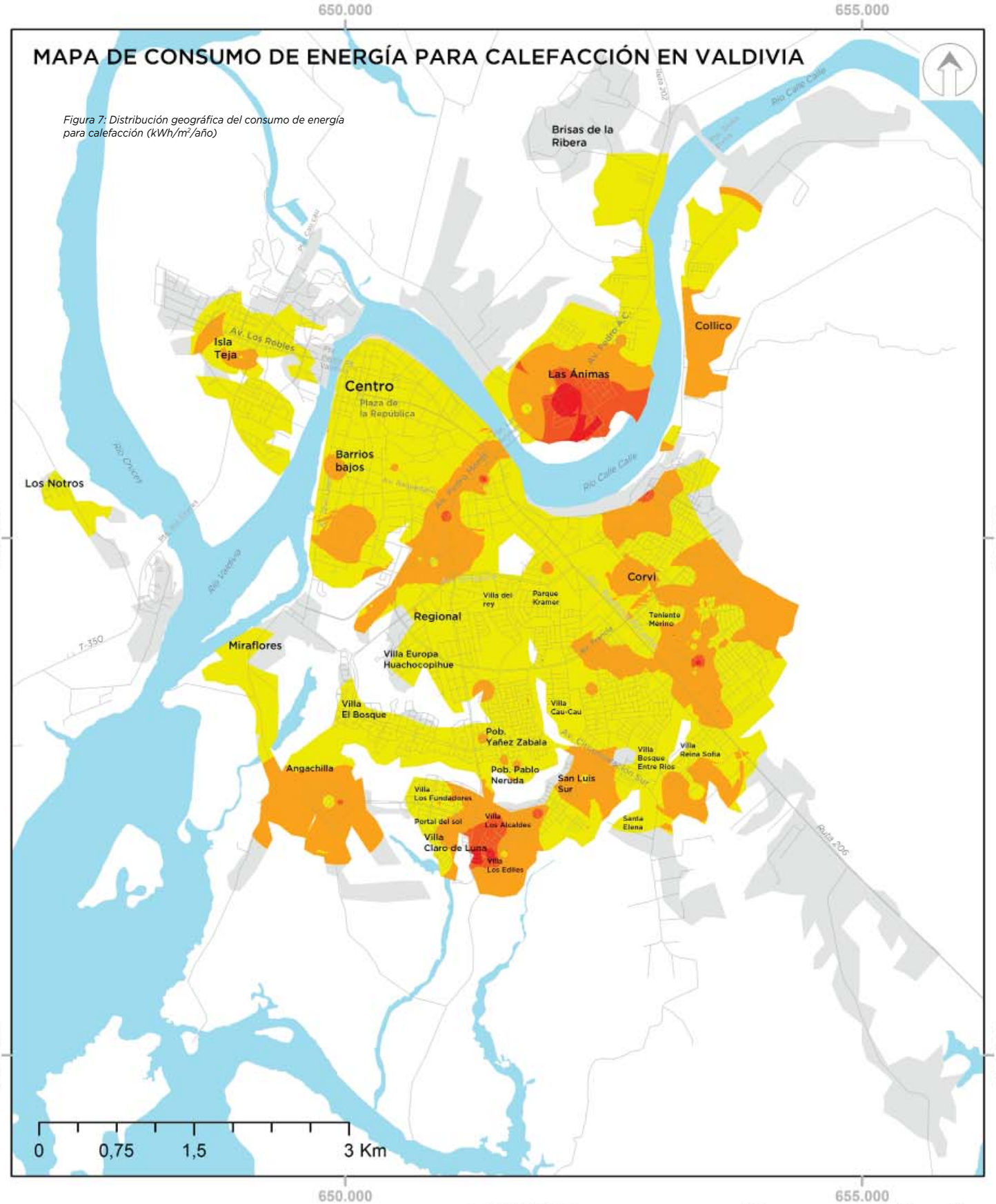


Figura 7: Distribución geográfica del consumo de energía para calefacción (kWh/m²/año)

Cartografía elaborada en base a encuestas realizadas por INFOR-OCDM. Escala numérica 1:50.000
Proyección cartográfica: UTM;
Datum: WGS 84 huso 18S.
Fuentes mapa base:
Red vial: Open Street map;
Barrios: Wikimapia.org;
Ríos: catastro CONAF, 2014.
Mancha urbana a partir de imagen Landsat 8 (noviembre 2015).

LEYENDA

- Red vial
- Ríos
- Mancha urbana de Valdivia
- Áreas sin dato

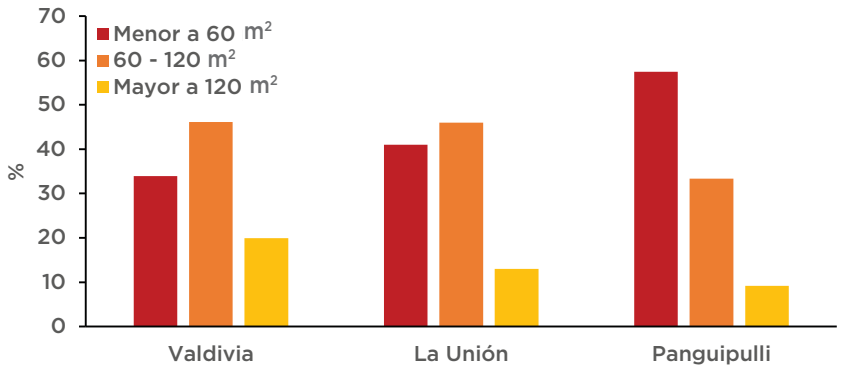
Consumo calefacción

kWh/m²/año

- Hasta 200
- 200 - 400
- 400 - 600
- Mayor a 600

socioeconómicos más bajos, asociados a viviendas de menor tamaño, la calidad térmica de la vivienda es menor por lo que el consumo de energía por metro cuadrado es mayor. Esta observación para las tres ciudades está en línea con resultados de otros trabajos realizados en Valdivia (Schueftan y González, 2014). La Figura 8 muestra la distribución de las viviendas por tamaño en las tres ciudades donde se aplicaron encuestas. En Valdivia el 34% de las viviendas tienen menos de 60 metros cuadrados, mientras en la Unión y Panguipulli representan el 41% y 57%, respectivamente. Dado que el consumo de energía para calefacción por área calefaccionada es mayor en viviendas pequeñas, la ciudad de Panguipulli presentaría los menores niveles de eficiencia (mayor consumo de energía por metro cuadrado habitablea). La Figura 7 muestra la distribución espacial del consumo de energía para calefacción en la ciudad de Valdivia[8] (kWh/m^2/año). En la figura se observa que consumos más altos coinciden con sectores de menores ingresos. La representación espacial de estas variables es importante para priorizar zonas de intervención y focalizar políticas, como podría ser, por ejemplo, el programa de reacondicionamiento térmico de viviendas.

Figura 8.
Tamaño de las viviendas en las ciudades de Valdivia, La Unión y Panguipulli



Fuente: elaboración propia.

4.2. COSTOS Y BENEFICIOS DE DISTINTOS SISTEMAS DE CALEFACCIÓN

A continuación se analizan los costos y beneficios de distintos sistemas de calefacción, para una vivienda de 60 metros cuadrados emplazada en Valdivia. La modelación se realizó de acuerdo a los parámetros de aislación que exige la actual normativa térmica, con una temperatura interior de diseño de 19°C. Esto resultaría en un consumo de energía para calefacción de 183 kWh/m^2/año (10.978 kWh/año).

a) Electricidad: la electricidad tiene un costo de $106 por kWh (Moreno, 2014), y una estufa oleoeléctrica (COP= 1)[9] cuesta entre $50.000 y $350.000. Con una eficiencia del 100% su costo operativo anual sería de $1.163.694. Un sistema de calefacción eléctrico más eficiente es la bomba de calor aerotermal (COP= 2,7). Este sistema cuesta entre $700.000 y $1.000.000 y tendría un costo operativo anual de $430.973. El principal beneficio de los sistemas de calefacción eléctricos es que no generan contaminación al menos en el lugar donde se utilizan los calefactores, requiriendo una instalación eléctrica adecuada para funcionar de forma segura (MMA, 2015).
En Chile, la electricidad genera 450 gramos de CO_2 equivalente por kWh de calefacción (Brander et al., 2011), lo cual produciría 4.940 kgCO_2e/año en equipos resistivos (10.978 kWh/año; COP=1), y 2.223 kgCO_2e/año en bombas de calor (4.066 kWh/año; COP= 2,7).

b) Gas licuado: el gas licuado tiene un costo de $94 por kWh (Moreno, 2014) y un calefactor de 4.1 kW cuesta entre $90.000 y $120.000. Con un COP= 0.95 estos calefactores operan a $99 por kWh, lo cual implicaría un costo operativo anual de $ 1.086.847. Una de sus principales desventajas es el riesgo de quemaduras y sus emisiones de monóxido de carbono, por lo cual no son recomendables en los dormitorios (MMA, 2015).
El gas licuado es un combustible fósil y en su proceso de extracción, refinación, transporte y combustión se emiten 222 gramos de CO_2 equivalente por kWh de calefacción efectiva (Reyes et al., 2015). Para una vivienda de 60 m^2 las emisiones asociadas al uso de gas licuado serían de 2.437 kgCO_2e/año.

c) Kerosene: el kerosene tiene un costo de $69 por kWh (Moreno, 2014) y un calefactor de 4,5 kW cuesta entre $230.000 y $350.000. Con un COP= 0.95 estos calefactores operan a $73 por kWh, lo cual implicaría un costo operativo anual de $797.349. Estos artefactos requieren mantención constante y provocan contaminación intradomiciliaria por material particulado, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, por lo cual no son aptos para los dormitorios (MMA, 2015).
Al igual que el gas licuado, el kerosene es un combustible fósil y en su proceso de extracción, refinación, transporte y combustión se emiten 250 gramos de

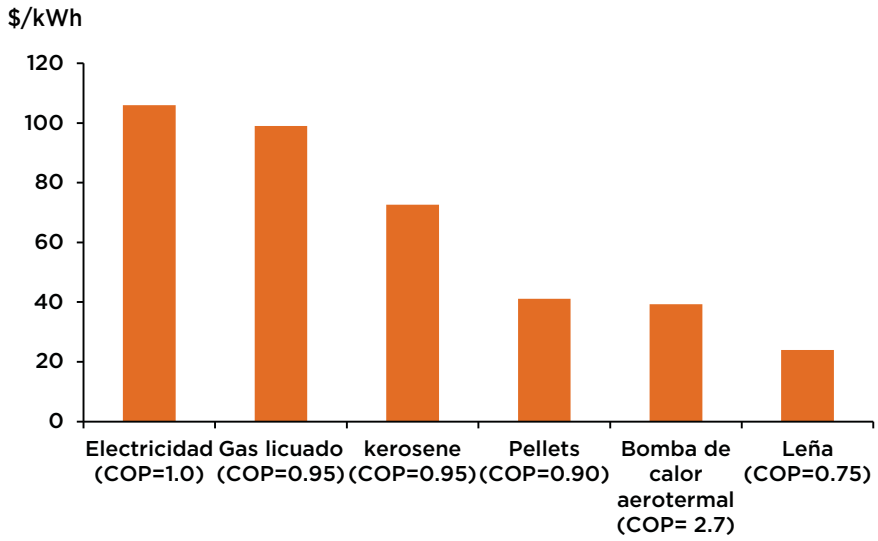
[9] COP (Coefficient of Performance) es la proporción entre la energía transferida para calentamiento del ambiente y la energía de entrada que se usa en el proceso. En uso térmico resistivo de la electricidad, el valor de COP es cercano a 1; y en sistemas eléctricos tipo bomba de calor, en donde la energía eléctrica se invierte en trabajo de una máquina térmica, COP es mayor a 1, esto depende de las condiciones de temperatura externa, siendo las temperaturas inferiores a 0ºC las más desventajosas. Para las temperaturas medias de Los Ríos, la bomba de calor puede considerarse con COP = 2,7.
[10] Estimación hecha para pellets producidos en Canadá (secados con gas natural) y exportados a Europa..

CO_2 equivalente por kWh de calefacción efectiva (Reyes et al., 2015), lo que correspondería a 2745 $kgCO_2e$/año (vivienda de 60 m^2).

d) Pellets: el pellet tiene un costo de $37 por kWh (Moreno, 2014), y un calefactor unitario de 7.5 kW cuesta entre $500.000 y $1.000.000. Con un COP= 0.9 ($41 por kWh) su costo operativo anual sería de $450.108. Una de las principales ventajas del pellets es su naturaleza renovable, pues se produce a partir de desechos de aserrío. En términos energéticos, el pellet es un combustible barato en relación al gas licuado, el kerosene y la electricidad, y a la vez cómodo y fácil de usar. Sin embargo, la compra e instalación del calefactor es elevado en comparación a los demás calefactores (MMA, 2015).
El pellets genera 87 gramos de CO_2 equivalente por kWh de calefacción efectiva[10] (Magelli et al., 2009), considerando los procesos de producción, secado, transporte y consumo final (CO_2 neutral). Esto correspondería a 955 $kgCO_2e$/año.

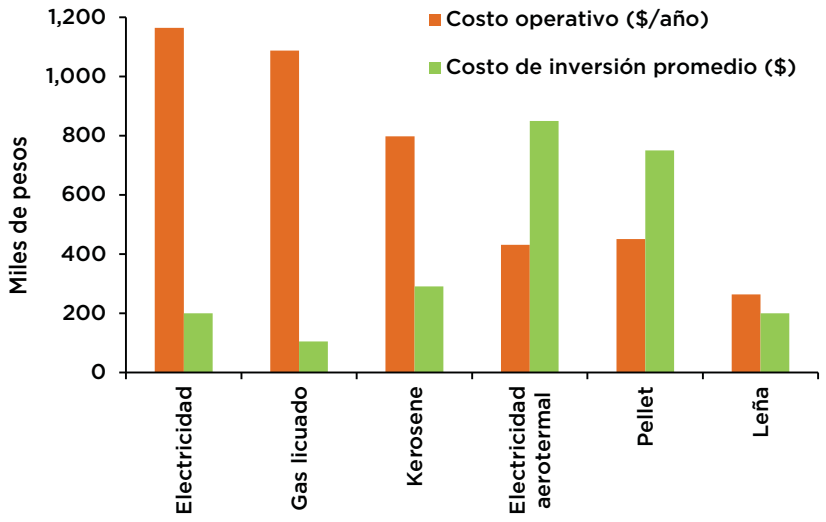
e) Leña: la leña tiene un costo de $18 por kWh (Moreno, 2014), y un calefactor unitario de 8.5 kW cuesta entre $150.000 y $250.000. Con un COP= 0.75 ($24 por kWh) este tipo de calefactores generaría un costo operativo anual de $263.478.
La leña es un combustible barato desde un punto de vista energético, incluyendo la compra del calefactor, pero cuando se utiliza de forma incorrecta es altamente contaminante (MMA, 2015).
La leña genera 136 gramos de CO_2 equivalente por kWh de calefacción efectiva, considerando los procesos de producción, transporte y combustión final (Reyes et al., 2015). Esto da un total de 1.493 kgCO2e.
La Figura 9 muestra los costos de distintos sistemas de calefacción por unidad de energía. Estos valores fueron calculados considerando las eficiencias (COP) de los distintos calefactores.

Figura 9.
Costo comparativo de distintos sistemas de calefacción



Fuente: Moreno (2014).

Figura 10.
Inversión inicial y costo operativo para distintos sistemas de calefacción



Fuente: elaboración propia.



Imagen 2: intercambiador de aire de una bomba de calor aerotermal instalada en el estacionamiento de una vivienda en Valdivia

La leña es el combustible más barato por unidad de energía, mientras que la electricidad es el más caro (4,4 veces más caro que la leña). Sin embargo, la electricidad utilizada en bombas de calor aerotermal es una fuente de energía muy conveniente, dado el aporte de calor adicional que se obtiene del aire. Este sistema podría competir con la leña si la demanda de energía de las viviendas no fuera tan alta. El pellets también es una fuente de energía de bajo costo, mientras que el gas licuado, el kerosene y el petróleo tienen costos bastantes más altos.

El sistema de calefacción basado en leña tiene además el costo de operación más bajo, mientras que los sistemas de calefacción eléctricos (equipos resistivos) y a gas licuado tienen una menor inversión inicial. La Figura 10 muestra los costos operativos y los niveles de inversión requeridos para cada sistema de calefacción.

4.3. CALEFACTORES DE COMBUSTIÓN LENTA: ¿UNA TRAMPA TECNOLÓGICA?

Desde un punto de vista ambiental, las políticas se han centrado en reducir las emisiones de material particulado de los calefactores a leña, especialmente de $MP_{2,5}$. Sin embargo, aún no está claro si la eficiencia general y el control de las emisiones de los nuevos calefactores a leña, entregados en el marco del programa de recambio de calefactores, es significativamente mejor que el de los calefactores a leña tradicional, ya que uno de los problemas que sigue presentando este tipo de artefactos es la combustión ahogada. La mayor parte de los modelos que ofrece el mercado les permite a los usuarios limitar la entrada de aire a la cámara de combustión (cierre del tiraje), lo cual hace que el fuego sea lento y la leña dure más. Esto ha dado origen al concepto de "combustión lenta". El mayor inconveniente de esta práctica es que la combustión ahogada emite más material particulado a la atmósfera. En la encuesta a 1.965 viviendas que realizó CIVA (MMA, 2010), el 68% de los hogares respondió que cierran completamente el flujo de entrada de aire, mientras que el 32% la deja parcialmente cerrada, lo cual está en línea con los resultados obtenidos en este estudio.

Diversos experimentos en Chile, Suiza, Australia y Nueva Zelandia, realizados con distintos calefactores a leña, mostraron que el cierre del tiraje es el factor más importante en el aumento de emisiones de contaminantes, aún en calefactores modernos. Esto se debe a que la falta de aire produce una combustión primaria ineficiente, y lo que reduce la temperatura en la zona que debería producirse la combustión secundaria. La combustión secundaria en los calefactores con templador funciona sólo si la combustión primaria provee alta temperatura, y esto se logra si la cantidad de aire es la apropiada. El Cuadro 2 muestra los resultados de ensayos realizados en

Suiza con calefactores a leña chilenos (CNE, 2009). Es notable el aumento de la contaminación cuando se aumenta la carga de leña en la cámara de combustión, y más aún cuando se cierra el tiraje. Para obtener bajas emisiones debe abandonarse el concepto de "combustión lenta", el cual es incompatible con bajas emisiones de MP. Los valores que se dan habitualmente en los catálogos de los equipos son obtenidos en condiciones ideales de laboratorio, con aire al máximo, carga de leña moderada, y el calefactor ya en régimen; caliente y con fuego vivo (primer caso, Cuadro 2). Cuando el usuario cierra el aire al mínimo para que la leña dure más, el desempeño de los calefactores se aleja considerablemente de esos niveles óptimos, aun usando leña seca (cuarto caso, Cuadro 2).

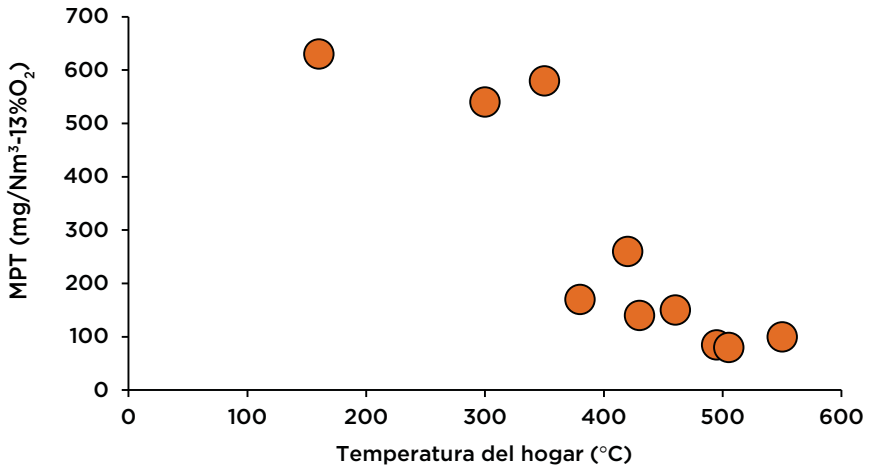
En Australia, Jordan y Seen (2005) estudiaron en detalle las emisiones en función del cierre del tiraje, para calefactores tradicionales y modernos. Los autores encontraron que con el tiraje cerrado los calefactores modernos producen más emisiones de material particulado que los calefactores tradicionales, aun cuando los artefactos modernos emiten 4 veces menos que los tradicionales cuando el tiraje está abierto. En calefactores modernos con templador las mayores reducciones de material particulado se producen durante la combustión secundaria. Esto resulta cuando la combustión primaria provee la temperatura necesaria para que exista una combustión secundaria, ya que ésta ocurre en una zona "downstream" de gases calientes y no en donde se localiza la leña. La Figura 12 muestra la influencia de la temperatura de combustión primaria sobre las emisiones de MP. La diferencia entre las emisiones de material particulado cuando la temperatura de la cámara principal está bajo los 350°C y cuando está sobre este valor, es dramática. Las bajas temperaturas se asocian a procesos de "combustión lenta", es decir, poco aire que no alcanza a mantener un fuego vivo. Es interesante notar que la opción de "combustión lenta" no es posible en calefactores BOSCA de Nueva Zelandia: el tiraje no cierra completamente y no se deja a la elección del usuario el nivel mínimo de aire (www.bosca.co.nz). La combustión ahogada es un asunto relevante para controlar la contaminación

Cuadro 2.
Emisiones de material particulado según tipo de leña, humedad, carga del equipo y oxigenación

OPERACIÓN	LEÑA	HUMEDAD %	EMISIÓN MP mg/m^3 a 13% vol O_2
IDEAL 2 leños x 750 g 1/3 de carga, aire al máximo	HAYA	12	20
TÍPICA 3 leños x 1500 g Carga completa, aire al máximo	HAYA	20	200 A 1.200
TÍPICA 3 leños x 1500 g Carga completa, aire al máximo	ROBLE	33	500 A 1.200
MALA 3 leños x 1500 g Carga completa, aire al mínimo	HAYA	20	6.600

Fuente: CNE, 2009.

Figura 11
Emisión total de material particulado (MPT) en función de la temperatura del hogar



Fuente: CONAMA (2007), CNE (2009).

del aire. Actualmente se ha propuesto un nuevo reglamento orientado a impedir la fabricación de equipos que permitan el cierre del tiraje. Esto ayudará a reducir las emisiones en los nuevos sistemas de calefacción a leña. Sin embargo, se requerirá además de la voluntad del usuario, ya que de éstos depende la utilización de los calefactores a leña y las emisiones de MP. Al respecto, Schueftan y González (2015) describen un alto potencial de mejora respecto al modo actual de regular el tiraje.
La práctica arraigada de la "combustión lenta" presenta ventajas operativas para el usuario, por ejemplo, la carga de leña dura más y no se requiere encender el calefactor con frecuencia. Además, diversas experiencias han mostrado que la eficiencia global del calefactor es mayor operando con baja potencia, lo cual ocurre en "combustión lenta". Esto implica una trampa tecnológica, la cual puede describirse de la siguiente manera:

a) Para que dure la leña se cierra el aire, lo cual baja la temperatura de la combustión, disminuye el beneficio del templador y de la supuesta "segunda combustión", y como resultado se obtiene un aumento enorme en las emisiones de MP.

b) Si el calefactor se usa con aire al máximo (condición ideal), la combustión primaria es de alta temperatura, funciona la segunda combustión y el templador, y las emisiones bajan. Sin embargo, la leña dura poco y la eficiencia térmica del calefactor disminuye porque aumenta la fuga de calor por el cañón.

Esta trampa tecnológica se resuelve estudiando diseños innovadores para el calefactor metálico a leña, el cual tiene poca capacidad de acumular calor cuando el fuego está vivo, es decir cuando la combustión es limpia con abundante aire. Existen varias estrategias para mejorar los calefactores, por ejemplo, aumentar la masa térmica, más etapas de circulación de los gases antes de alcanzar el cañón de salida, aislamiento térmico de la cámara de combustión para evitar pérdidas de calor y garantizar alta temperatura en las combustiones primaria y secundaria, incorporación de un dispositivo para el ordenamiento de la leña en la cámara de combustión, entre otras. Este es un trabajo que debe ser realizado por equipos de ingenieros especialistas en termodinámica y combustión, con estudios de modelación y ensayos con calefactores mejorados operando en condiciones reales de uso.

4.4. IMPACTO DE LOS PROGRAMAS

La Figura 13 muestra el impacto de los programas evaluados de acuerdo a distintos criterios: emisiones de $MP_{2,5}$, consumo de energía, confort térmico, y costo de implementación. Las alertas ambientales tienen un impacto puntual en el tiempo, por lo que no pueden evaluarse de la misma manera que los otros programas. Sin embargo, podría tener un efecto significativo sobre la salud de las personas en la medida que reduce la temperatura interior de las viviendas. Si bien, esto aún no ha sido evaluado, se debe tener en consideración al momento de hacer uso de esta herramienta.
Por otra parte, se estima que el programa de certificación de leña tiene un mayor impacto que el programa de recambio de calefactores, en lo que respecta a la reducción de emisiones de $MP_{2,5}$, porque este último es tremendamente dependiente del comportamiento del usuario (efecto "combustión lenta").
Considerando que el 54% de los usuarios utilizan el tiraje cerrado durante el día, y el 77% lo hace de noche, esta es una consideración relevante.
Las mejoras en aislación térmica tienen el mayor efecto, tanto en reducir las emisiones y el gasto en energía como en aumentar la temperatura interior de las viviendas. Esto se debe a que atacan el problema de fondo que es la alta demanda de energía para calefacción. Al mismo tiempo, el reacondicionamiento térmico tiene el mayor costo de implementación, debido al mayor nivel de complejidad asociado al mejoramiento de las viviendas y a la mayor inversión pública y privada requerida ($/vivienda).
Los programas de recambio de calefactores y certificación de leña tienen desempeños similares, y peores que el programa de reacondicionamiento térmico de viviendas, porque tienen un efecto muy limitado si no se implementan en conjunto con el mejoramiento de las viviendas.

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Al considerar las características climáticas de la Región de Los Ríos, la deficiente aislación térmica de las viviendas y el costo relativo de la leña en relación a otras fuentes de energía, se logra comprender el alto consumo de este combustible. Esto produce problemas ambientales y de salud pública generados a partir de las altas concentraciones de material particulado, y problemas sociales derivados de la incapacidad de las familias para mantener un adecuado confort térmico al interior de sus viviendas.
Los sistemas unitarios de calefacción que utilizan leña (con un 75% de eficiencia) son más baratos que los demás sistemas disponibles en la Región de Los Ríos, ya sea en términos de inversión (calefactores) como de su costo operativo. Los sistemas de calefacción eléctricos más eficientes, como la bomba de calor aerotermal, y los calefactores que utilizan pellets, son opciones viables a pesar de su alto costo de inversión, debido a que presentan costos operativos más bajos que los sistemas que utilizan gas licuado, kerosene o electricidad (convencional).

Figura 12
Impacto relativo de los programas en base a criterios sociales, económicos y ambientales

PROGRAMAS	EMISIONES $PM_{2.5}$	CONSUMO DE LEÑA	TEMPERATURA INTERIOR	COSTO IMPLEMENTACIÓN	TOTAL
ALERTAS AMBIENTALES	1	1	1	4	**7**
RECAMBIO CALEFACTORES	2	3	3	2	**10**
CERTIFICACIÓN DE LEÑA	3	2	2	3	**10**
ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO	4	4	4	1	**13**

Nota: el color verde (asociado a un puntaje 4) representa buenos desempeños, seguido por el amarillo (3), mientras que el rojo representa el extremo opuesto (1).
Fuente: elaboración propia.

Durante años la leña ha sido catalogada como un combustible sucio y contaminante, sin considerar que los calefactores donde se utiliza presentan serias deficiencias, ya que no controlan adecuadamente el proceso de combustión ni logran acumular suficiente calor en su estructura. Las emisiones generadas por estos aparatos quedan completamente supeditadas a los hábitos del usuario, lo cual implica un riesgo extremadamente alto.

Por otra parte, los sistemas de calefacción que utilizan gas licuado o kerosene producen menos material particulado que los calefactores a leña (Mena et al., 2012, Reyes et al., 2015) pero su costo operativo es muy superior, lo cual hace inviable su utilización considerando los actuales consumos de energía. Dado que las familias tienen restricciones presupuestarias, la compra de combustibles más caros implica disponer de menor energía, lo que en la práctica reduce la temperatura al interior del hogar. Esto impacta negativamente en la salud de la población.

Si bien, los sistemas de calefacción que utilizan gas licuado y kerosene emiten menos material particulado que los calefactores a leña, generan otros gases contaminantes, como el monóxido de carbono, el cual puede llegar a ser extremadamente peligroso para las personas (Cortés y Radley, 2013). La contaminación intradomiciliaria es uno de los aspectos relevantes que no fueron considerados en este análisis.

Quemar leña con una cantidad adecuada de aire reduce considerablemente las emisiones de material particulado. Sin embargo, la baja eficiencia térmica de las viviendas hace que en estas condiciones el consumo de leña aumente (también el gasto), al igual que la temperatura (cantidad de horas de calefacción por sobre 24ºC). Por lo tanto, el mejoramiento de los sistemas de calefacción a leña debe ir de la mano con el mejoramiento de las viviendas.

Al diseñar políticas públicas se debe considerar el contexto socioeconómico en el que se implementan. Por ejemplo, la alerta ambiental prohíbe el uso de leña, lo que disminuye la concentración de material particulado, pero al mismo tiempo reduce la temperatura al interior de los hogares. Es decir, se atenúa el impacto negativo de la contaminación sobre la salud de las personas, pero se aumenta su exposición a bajas temperaturas y a enfermedades respiratorias.

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 está bajo 18ªC. Esto deja en evidencia que reemplazar la leña por otro combustible, manteniendo los actuales niveles de consumo de energía para calefacción, podría generar graves problemas de salud pública, en la medida que aumentarían las horas de frío a las que están expuestas las personas al interior de sus viviendas.

El programa de certificación de leña, que a la fecha cubre aproximadamente el 3% del mercado (SNCL, 2014), ha producido un aumento en el precio de este combustible. En la medida que la leña certificada realmente cumple con el estándar del 25% de humedad (en base seca), contribuye a disminuir las concentraciones de material particulado.

Sin embargo, si dicho requisito no se cumple, la contribución del programa es cuestionable, generando un impacto social negativo en la medida que aumenta el gasto en calefacción.
El programa de recambio de calefactores, por su parte, tiene un efecto muy difícil de evaluar ya que depende en gran medida del comportamiento del usuario. Los resultados de las encuestas muestran que el hábito de cerrar el tiraje para que la leña "dure más" es mayoritario en las tres ciudades, lo cual puede estar anulando la reducción potencial que los nuevos calefactores certificados tienen sobre las emisiones.
El programa de reacondicionamiento térmico de viviendas es el único que permite reducir de manera significativa la demanda de energía para calefacción, aun cuando se debe considerar el "efecto rebote" asociado a este tipo de medidas. En un escenario de *discomfort* térmico generalizado, como el existente hoy en Valdivia, La Unión y Panguipulli, lo primero que ocurre cuando mejora la eficiencia térmica de la vivienda es un aumento en su temperatura interior (con menos energía, más temperatura). La reducción potencial en el consumo de energía no se expresa por completo, ya que una parte del ahorro se invierte en mayor confort. Estos porcentajes varían según el segmento socio-económico debido a las diferencias en las condiciones de confort en las que viven y en las decisiones a la hora de priorizar entre confort y ahorro.
De esta forma, el programa de reacondicionamiento térmico de viviendas facilita la implementación y efectividad de los programas de mejoramiento de calefactores, certificación de leña, y de alertas ambientales. Si bien el reacondicionamiento térmico no resuelve totalmente la contaminación, presenta el mayor potencial en términos sociales y económicos, pues mejora ostensiblemente la calidad de vida de las personas, favorece el ahorro en combustible, mejora el confort, y potencia los beneficios en la salud pública.
El diseño e implementación de políticas públicas orientadas a resolver el problema de la contaminación atmosférica que afecta a las ciudades de la Región de Los Ríos, y de otras ciudades del 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. Visto de esa forma, el foco de la política pública ya no es sólo reducir la concentración de $MP_{2,5}$, sino generar las condiciones para que las personas vivan en ambientes bien calefaccionados, saludables, donde se minimiza el consumo de energía, el gasto y la contaminación.

Imagen 3
Diferentes sistemas de calefacción. De izquierda a derecha cocina a leña, combustion lenta, bomba de calor aerotermal





6. 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.

Brander M. Sood A., Wylie C., Haughton A., Lovell J., 2011. Ecometrica Technical paper: Electricity-specific emission factors for grid electricity. Free-access en http://ecometrica.com/assets/Electricity-specific-emission-factors-for-grid-electricity.pdf

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

CChC (Cámara Chilena de la Construcción). 2010. Corporación del desarrollo tecnológico. Estudio de usos finales y curva de la oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile. http://antiguo.minenergia.cl/minwww/export/sites/default/05_Public_Estudios/descargas/estudios/Usos_Finales_COC_Sector_Residencial_2010.pdf

CONAMA (Comisión Nacional del Medio Ambiente) , UCT (Universidad Católica de Temuco). 2015. Estudio de secado de leña y equivalencias de unidades de comercialización. http://www.sinia.cl/1292/articles-46039_recurso_1.pdf

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.

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.

Egan, D., 1975. Concepts in Thermal Comfort. Prentice Hall. 203 p.

Environmental Protection Agency of United State (EPA). 2016. National Ambient Air Quality Standards (NAAQS). Disponible en: http://www3.epa.gov/ttn/naaqs/standards/pm/s_pm_index.html

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

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

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. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15952364

Magelli F., Boucher K., Bi H.T., Melin S., Bonoli A. 2009. An environmental impact assessment of exported wood pellets from Canada to Europe. Biomass and Bioenergy, 33: 434-441.

Mena, M., Oliva, E., Saide, P., Spak, S., De la Maza, C., Osses, M., Tolvett, S., Campbell, J.E., Chi-Chung, T., Molina, L. 2012. Estimating the health benefits from natural gas use in transport and heating in Santiago, Chile. Science of the Total Environment 429, pp.257-265.

MINVU (Ministerio de Vivienda y Urbanismo). 2010. Texto Actualizado del Decreto Supremo Nº 255 de 2006. Reglamenta Programa de Protección del Patrimonio Familiar. Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

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). 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 MP 2,5. Disponible en: http://www.mma.gob.cl/transparencia/mma/doc/D12.pdf

MMA (Ministerio de Medio Ambiente). 2012a. Evaluación técnica y económica de viviendas más incidentes en demanda térmica en el radio urbano de la ciudad de Valdivia. Informe Final.

MMA (Ministerio del Medio Ambiente). 2012b. Bases de postulación "Programa de recambio de calefactores en la ciudad de Valdivia". Disponible en http://www.mma.gob.cl/1304/articles-52211_Bases_Valdivia.pdf

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

MMA (Ministerio del Medio Ambiente). 2014b. Revisa norma de emisión de material particulado para los artefactos que combustionen o puedan combustionar leña y derivados de la madera, contenida en el decreto N° 39 de 2011.

MMA (Ministerio del Medio Ambiente). 2015. Guía de calefacción sustentable Temuco, Osorno y Valdivia. Disponible en www.calefaccionsustentable.cl

Moreno, R. 2014. Mesa de calefacción eficiente y dendroenergía, Los Ríos. Mesa de trabajo sesión 1. Universidad Austral de Chile.

OMS (Organización Mundial de la Salud). 1987. Health impact of low indoor temperatures. Report on a WHO meeting. Copenhagen, Denmark, p 36.

OMS (Organización Mundial de la Salud). 2005. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005. 22 p. Disponible en: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69477/1/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf

OMS (Organización Mundial de la Salud). 2006. Housing, Energy and Thermal Comfort: A review of 10 countries within the WHO European Region. World Health Organization for Europe, Copenhagen.

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.

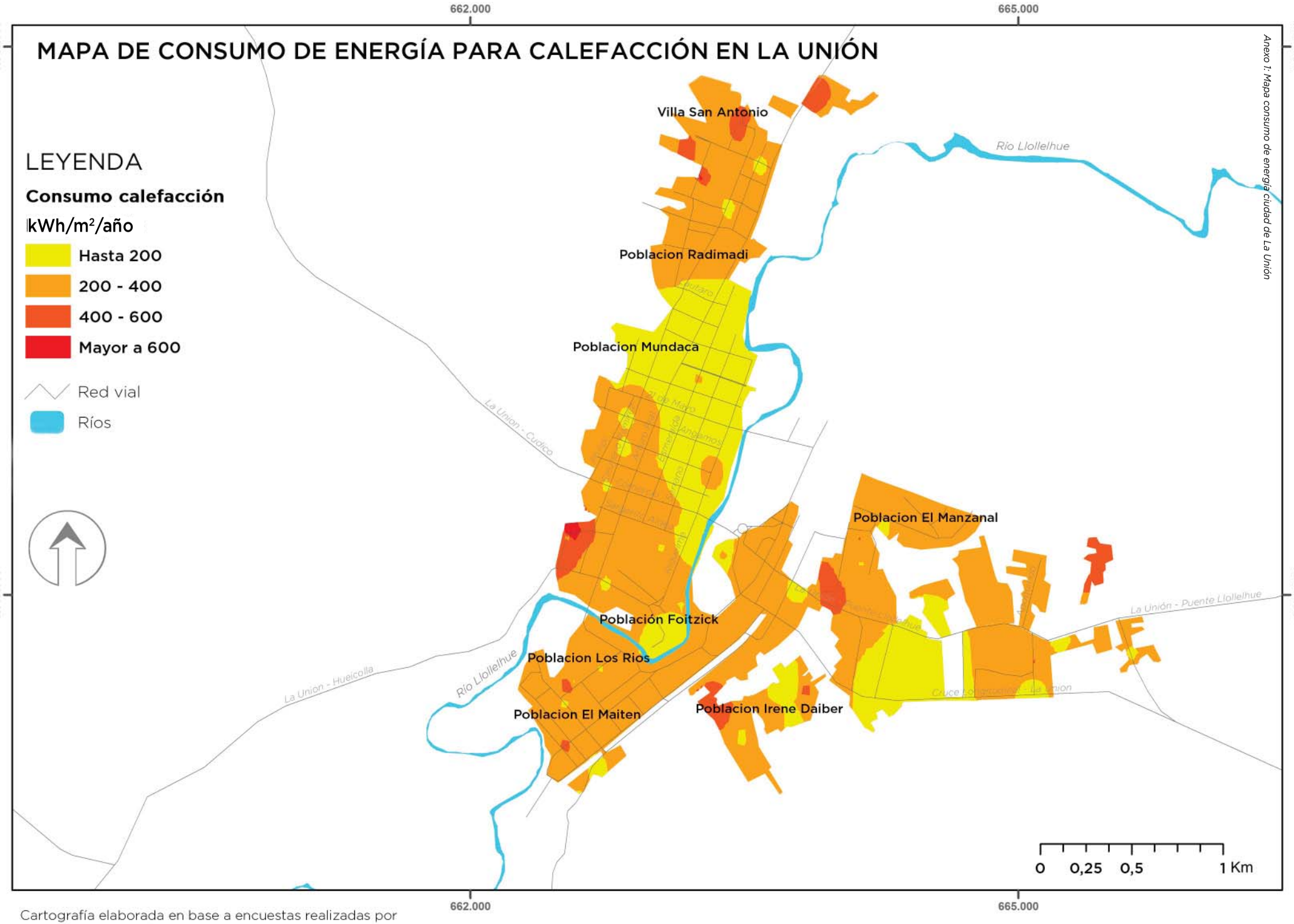
Schueftan, A., González, A. 2013. Reduction of firewood consumption by households in south-central Chile associated with energy efficiency programs. Energy Policy 63(1): 823–832.

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.cricyt.edu.ar/asades/averma.php

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.

SNCL (Sistema Nacional de Certificación de Leña), 2014. Comerciantes certificados en la Región de Los Ríos. Disponible en http://www.lena.cl/region-de-los-rios/

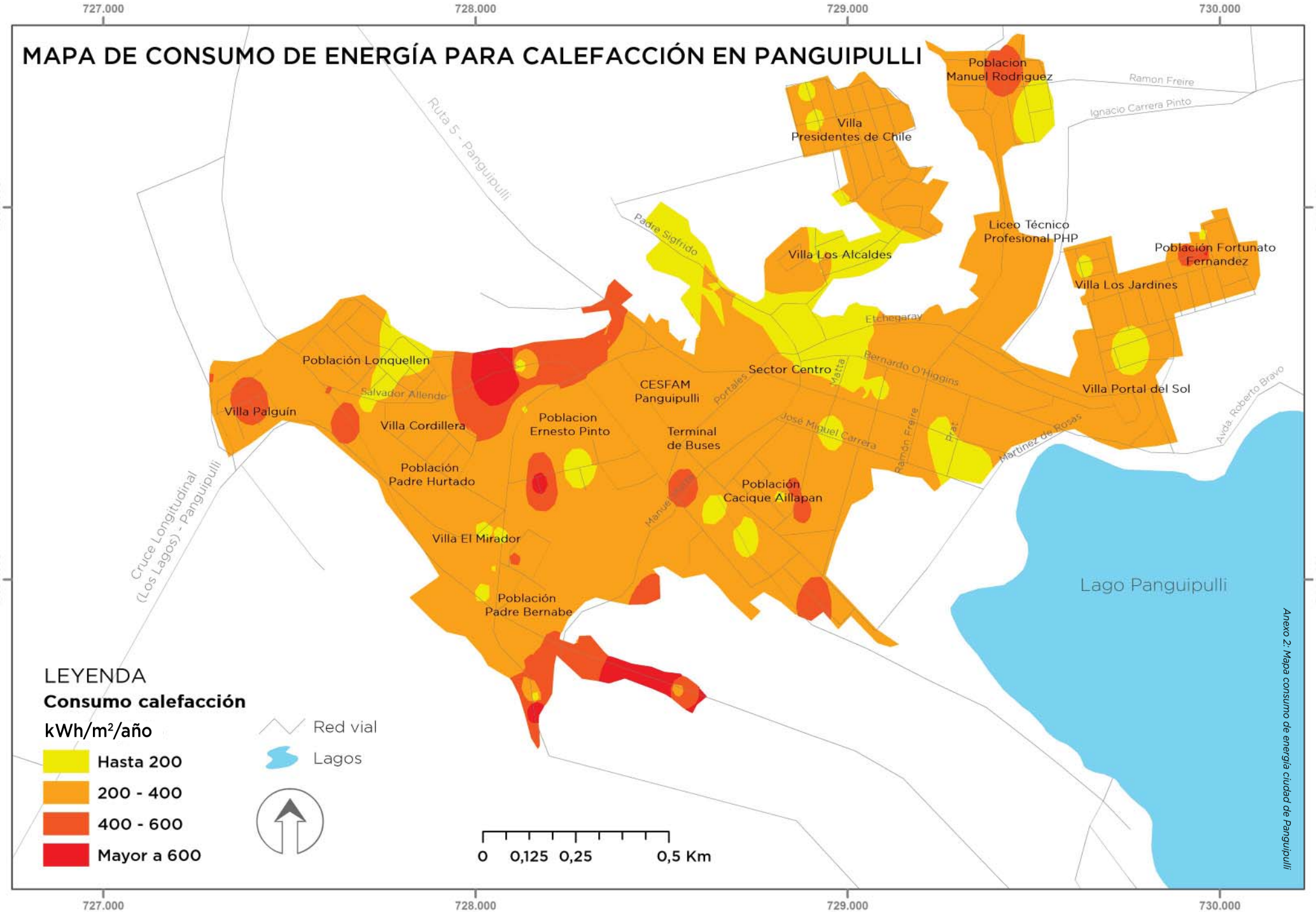
MAPA DE CONSUMO DE ENERGÍA PARA CALEFACCIÓN EN LA UNIÓN



Anexo 1: Mapa consumo de energía ciudad de La Unión

Cartografía elaborada en base a encuestas realizadas por INFOR-OCDM. Escala numérica 1:25.000
Proyección cartográfica: UTM; Datum: WGS 84 huso 18S.
Fuentes mapa base: Red vial: Open Street map; mancha urbana a partir de imagen Landsat 8 (noviembre 2015); Barrios: Wikimapia.org; Ríos: catastro CONAF, 2014.

MAPA DE CONSUMO DE ENERGÍA PARA CALEFACCIÓN EN PANGUIPULLI



Cartografía elaborada en base a encuestas realizadas por INFOR-OCDM. Escala numérica 1:12.500.
Proyección cartográfica: UTM; Datum: WGS 84 huso 18S.
Fuentes mapa base: Red vial: Open Street map; mancha urbana a partir de imagen Landsat 8 (noviembre 2015); Barrios: Wikimapia.org; Lago: catastro CONAF, 2014.

BES

BOSQUES | ENERGÍA | SOCIEDAD

Número 03 | FEB. 2016

Proyecto apoyado por
CORFO
Conaf
Ministerio de Energía
Gobierno de Chile