

000060

CONCEPCIÓN, abril 21 de 2014
IIT UdeC-AT/248/2014

Señorita
María Eliana Vega Fernández
SEREMI DEL MEDIO AMBIENTE, REGION DEL MAULE
Calle 2 Poniente N°1529
Talca


REF.: Envío Informe Final corregido

De mi consideración:

Adjunto a la presente Informe Final corregido, correspondientes a proyecto de
**"LICITACIÓN N°614797-7-LP12 DIAGNOSTICO DE LA CALIDAD DEL AIRE Y
MEDIDAS DE DESCONTAMINACIÓN EN TALCA Y MAULE"**, preparado por nuestro
docente Ing. Jorge Jiménez Del Río.

Incluimos además, **ENCUESTA SATISFACCION CLIENTE** para completar y devolver a
nuestras oficinas, ubicadas en calle Edmundo Larenas 270 (interior) Concepción, vía e-
mail a iit@udec.cl o al Fax 41-225 9190.

Sin otro particular le saluda atentamente,



César Leon González
Profesor Asociado
Director
Instituto de Investigaciones Tecnológicas

c.c.: Correlativo
OT-2013-013-11
CLG/mbh

000061

**DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AIRE Y MEDIDAS DE
DESCONTAMINACIÓN EN TALCA Y MAULE**

2012-614797-7-LP12

Mayo de 2014

EQUIPO DE TRABAJO

Jefe de Proyecto

Jorge Jiménez del Río, *PhD*

Investigadores

Dr. Cristian Mardones Poblete

Dr. Adelqui Fissore Schiappacasse

Dr. Ana María Moraga Palacios

Dr. Patricia González Sánchez

Dr. Claudia Ulloa Tesser

RESUMEN EJECUTIVO

Las comunas de Talca y Maule de la región del Maule presentan elevados niveles de Material Particulado Respirable (MP10, Material Particulado con diámetro aerodinámico $\leq 10 \mu\text{m}$) y Material Particulado Fino (MP2,5, Material Particulado con diámetro aerodinámico $\leq 2,5 \mu\text{m}$). Las mediciones de MP10 registradas entre los años 2004 y 2007 registran valores por sobre la norma diaria en las estaciones de monitoreo de La Florida y UTAL (Universidad de Talca), localizadas en la ciudad de Talca. Además, para la norma promedio anual de MP10 en la estación La Florida se observa una condición de saturación para el periodo 2004-2006 y 2005-2007. Por otro lado, las mediciones también registran valores por sobre la actual norma de calidad primaria de MP2,5, tanto para el caso del promedio diario como para el promedio anual.

De acuerdo a la Ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente, y al reglamento para la dictación de normas de calidad y emisión (D.S. N° 39/2013 Ministerio del MA), para generar un Plan de Descontaminación Ambiental (PDA) en las comunas de Talca y Maule se requiere los antecedentes en los que se sustentan, especialmente los de naturaleza técnica, científica, social, económica y jurídica del PDA.

Así, el objetivo general de este estudio es contar con los antecedentes técnicos y económicos que sirvan de insumo para la elaboración del Borrador del Anteproyecto de Plan de Descontaminación de las comunas de Talca y Maule. Los objetivos específicos son los siguientes:

- **Objetivo 1:** Identificar las medidas de reducción de emisiones incluidas en la estrategia de leña u otras como quemas agrícolas y que se adecuan a la realidad de la zona.
- **Objetivo 2:** Identificar las medidas de reducción de emisiones incluidas en la estrategia de industrias y que se adecuan a la realidad de la zona.
- **Objetivo 3:** Identificar las medidas de reducción de emisiones incluidas en la estrategia de transporte y que se adecuan a la realidad de la zona.
- **Objetivo 4:** Evaluar la factibilidad técnica y económica de la aplicación de las medidas de reducción de emisiones de material particulado necesarias para dar cumplimiento a la normativa vigente MP10 y MP2,5, identificadas en los objetivos anteriores.
- **Objetivo 5:** Proponer alternativas de calefacción residencial a través de energías renovables no convencionales (ERNC) para la zona a estudiar como calefacción distrital, sistemas térmicos solares, entre otras, entregando información económica, técnica y ambiental.
- **Objetivo 6:** Evaluar la costo-efectividad de las medidas identificadas en el objetivo anterior que permitan cumplir con la normativa vigente de MP10 y MP2,5.
- **Objetivo 7:** Evaluar el beneficio social en las comunas de Talca y Maule de aplicar las medidas de reducción de emisiones de MP10 y MP2,5, en la salud humana y recursos naturales de estas comunas.

- **Objetivo 8:** Elaborar una versión borrador del anteproyecto de Plan de Descontaminación Atmosférico (PDA) para las comunas de Talca y Maule, y elaborar el Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) y considerando los antecedentes generados en las etapas anteriores.
- **Objetivo 9:** Proceso de validación y difusión del anteproyecto de PDA a las comunas de Talca y Maule.

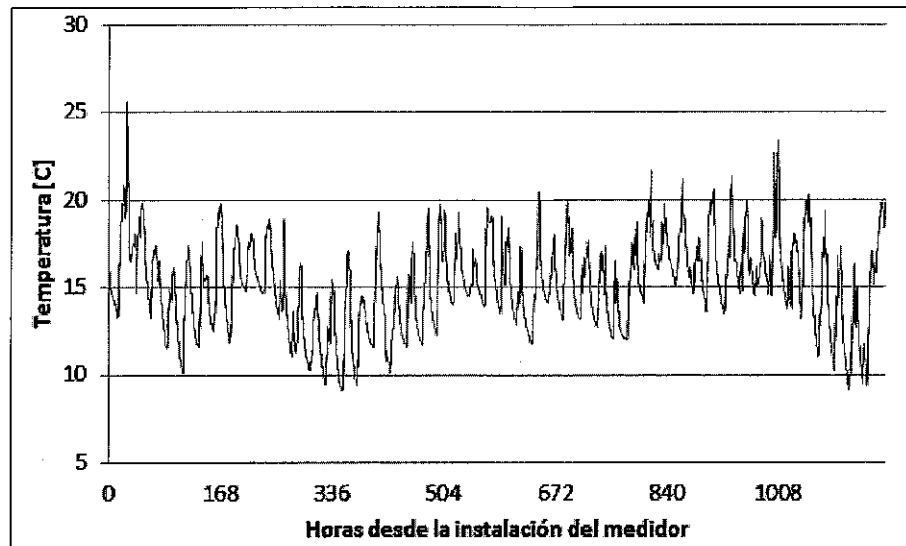
Se estudiaron 40 viviendas en las comunas de Talca y Maule con el fin de caracterizar, desde el punto de vista técnico, la calidad térmica de las viviendas que consumen leña y cuantificar la demanda energética de éstas dentro del radio urbano de las comunas de Talca y Maule. Se consideraron para el análisis viviendas anteriores al año 2000 sin aislación térmica y viviendas posteriores al 2008, correspondientes a viviendas que cumplen con la nueva reglamentación térmica, y en consecuencia poseen aislación térmica.

Para la selección de las viviendas se procedió a hacer un levantamiento de hogares en distintos barrios de Talca. En cada barrio se tomaron dos casas para tener también una medida de la dispersión del consumo de energía entre dos casas similares (incluida el nivel de aislación) teniendo como principal diferenciación las características de la familia que habita la vivienda. También se consideró la diversidad de viviendas en la muestra, diferentes tamaños, materialidades, agrupamiento, número de pisos, etc.

Para determinar el efecto sobre el consumo energético que tendría una mejora en las condiciones de aislación térmica se realizaron se realiza un análisis en base a 2 aproximaciones: mediciones de consumo real y cálculo teórico del consumo de energía. Medir el consumo de energía es complejo ya que cuantificar la energía generada con la leña, es más difícil que cuantificar el aporte energético del gas o la electricidad. Además, no se tiene certeza de la eficiencia de los equipos de combustión utilizados y el efecto del comportamiento humano es mucho más importante para Chile que para los países de Europa, debido a que los sistemas de calefacción no tienen control automático y también debido a que en muchos casos las necesidades de calefacción están muy lejos de estar satisfechas, considerando que en muchos casos no se tiene el dinero suficiente para solventar los gastos en energéticos que esto implica. El error en el cálculo del consumo de energía al no considerar el comportamiento humano puede ir de un 20% hasta 500% o más. Este error aumenta en la medida de que el clima es más benigno y cuando se utilizan energéticos más caros.

Para los análisis se levantó información de consumo de combustibles para calefacción en las 40 casas, y además, se midieron las temperaturas en el interior de las viviendas. Para ello se utilizaron registradores de temperatura (logger). Estos registradores fueron programados para registrar la temperaturas al interior de los hogares cada 30 minutos, durante las 24 horas del día y se dejaron instalados entre uno a dos meses en cada casa durante el periodo de invierno. En general, se instalaron en el radio de acción del calefactor pero no expuesto directamente al calor entregado por el dispositivo.

La figura siguiente muestra como ejemplo las temperaturas medidas en el interior de la vivienda 1 durante 50 días continuos. La vivienda 1 se calefacciona con una cocina a leña y usa como apoyo un calefactor a gas. La cocina a leña la mantiene encendida en nivel de potencia mínimo durante un promedio de 11 horas al día y durante 4 meses del año.



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 1. TEMPERATURAS INTERIORES MEDIDAS EN LA VIVIENDA 1 ENTRE EL 6/6/2013 AL 23/7/2013.

La figura anterior, representan la condición típica de la variación de temperaturas en una vivienda que se calefacciona utilizando un equipo a leña sin control automático. Si se tuviera un control automático se tendría un valor constante de 20 a 21 grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$) durante todo el período. Sin embargo, se puede observar que las temperaturas oscilan desde valores de 9°C durante la noche con la calefacción apagada a valores de cerca de 25°C durante el día. Por otra parte, las temperaturas varían considerablemente de un día a otro, lo cual depende de las actividades que se realizan en la vivienda, del control de los sistemas y de las condiciones climáticas del exterior.

La variabilidad en la temperatura que se observó en cada una de las viviendas está condicionada en gran medida por el consumo de energía, al tiempo en que permanece encendido el calefactor y al número de meses en que está disponible la calefacción. Las horas en que es necesario el uso de un calefactor dependen de la calidad térmica de la envolvente, pero también depende en forma muy importante del tiempo en que la casa está ocupada. En algunos casos los moradores estuvieron todo el día fuera de la vivienda por motivos de trabajo y en otros casos, la vivienda permanecía ocupada durante todo el día, en particular cuando habitaban bebés y/o ancianos. También tienen un impacto en el consumo de energía factores como la edad de los ocupantes, de la tolerancia al estrés térmico por frío y del nivel socioeconómico. Todos estos factores afectan directamente el consumo de energía en una vivienda, y por eso es que es tan difícil determinar el consumo real para un caso específico. Sin embargo, esta variabilidad se puede controlar al obtener valores promedios de un número mayor de viviendas en estudio, ya que se pueden aplicar patrones de uso conocidos los cuales fueron determinados en este estudio.

Para cada vivienda estudiada, se aplicó el procedimiento de la calificación energética de viviendas. Solo se simplificó en el aspecto relacionado con las ganancias solares y los factores de sombra de las ventanas, ya que para este tipo de viviendas no es muy significativo este efecto. Para ello, se tomó un valor promedio de 0,70 y el consumo de energía se obtuvo

dividiendo la demanda por 0,65, el cual es considerado el rendimiento referencial para el sistema de calefacción. Los resultados de los consumos de energía para calefacción para todas las viviendas estudiadas se muestran en la tabla siguiente:

TABLA 1. CONSUMO FINAL DE ENERGÍA EN CALEFACCIÓN OBTENIDO MEDIANTE LA HERRAMIENTA DE LA CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DE VIVIENDAS

Vivienda	consumo ideal de energía [kWh/m ² año]	Vivienda	consumo ideal de energía [kWh/m ² año]
1	588	21	294
2	608	22	298
3	586	23	360
4	566	24	268
5	405	25	294
6	408	26	317
7	397	27	291
8	415	28	283
9	298	29	251
10	368	30	209
11	435	31	183
12	571	32	186
13	535	33	209
14	272	34	229
15	314	35	269
16	349	36	218
17	354	37	231
18	523	38	234
19	488	39	174
20	254	40	174
		41	180

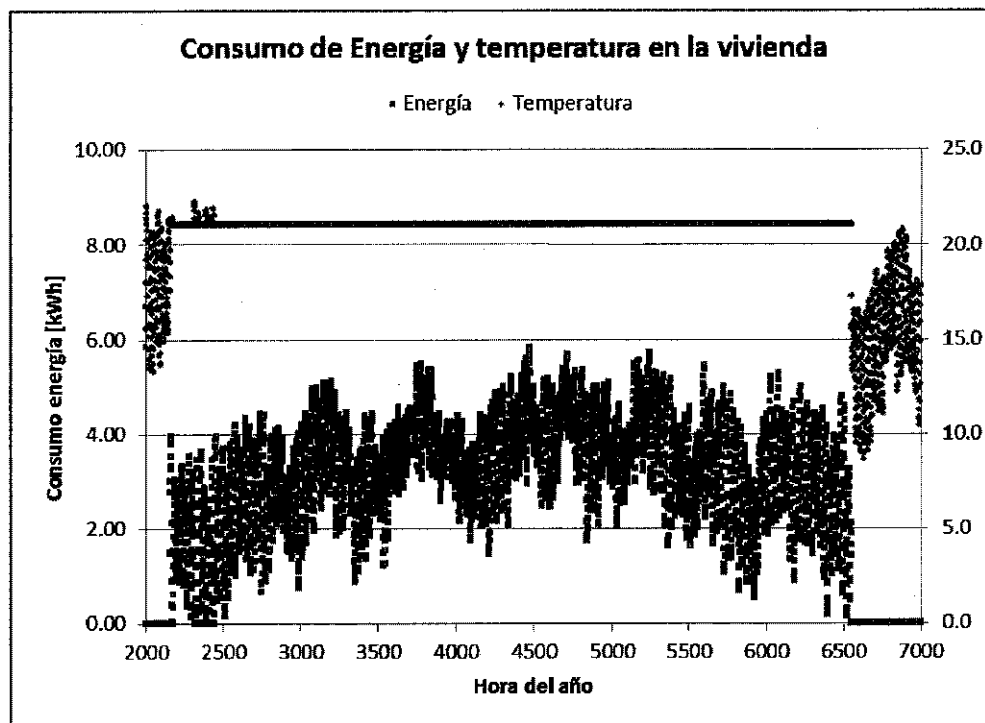
Fuente: Elaboración propia

La tabla anterior muestra los consumos ideales de energía para calefacción donde se mantiene la temperatura interior constante. Se puede observar la dispersión en los resultados, debido a que existen muchos factores que afectan el consumo de energía, entre ellos el uso de los equipos de calefacción y el porcentaje de uso de ellos. Otro efecto identificado en estudios anteriores¹ es que el perfil de los usuarios de viviendas más nuevas es diferente al de las viviendas más antiguas y en general los usuarios de viviendas más nuevas tienden a un mayor consumo de energía que los moradores de viviendas más antiguas. Por lo tanto, resulta aún más complejo estimar la reducción del consumo de energía comparando viviendas construidas antes y después de la reglamentación térmica, ya que el sesgo del perfil de usuario es más importante que el efecto de la aislación. Cabe señalar, que el efecto de la aislación térmica

¹ Estudio de Usos Finales y Curva de Oferta de Conservación de la Energía en el Sector Residencial de Chile. Ministerio de Energía de Chile.

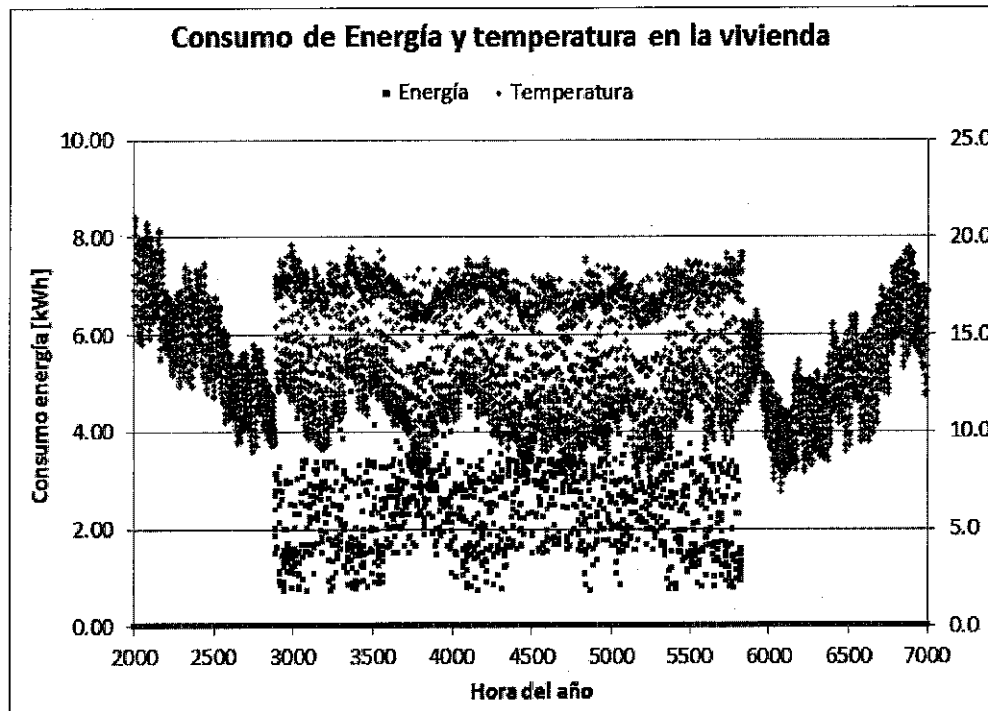
genera diferencias en la demanda de energía del orden de 40%, mientras que el del perfil de usuario podría generar diferencias en el orden del 300%. Es por ello que se optó por comparar consumos reales en viviendas con y sin medidas de aislación térmica, considerando el mismo perfil de usuarios y equipos de calefacción.

De todo lo anterior se puede concluir que tanto los resultados del presente estudio como el resto de las evidencias que se tienen a nivel nacional, muestran que si bien es cierto que se puede lograr un ahorro efectivo del consumo de energía mediante la aislación térmica de la vivienda, dada las condiciones de borde del presente proyecto, la única forma de estimar el ahorro de energía sería mediante la implementación de un modelo teórico, que por un lado represente fielmente la realidad, y por otro lado permita aislar el resto de las variables que generan dispersión en los resultados. Este modelo se ha venido desarrollando desde hace algunos años por el equipo de consultores, y se ha generado una versión actualizada, adaptada y validada especialmente para las condiciones de las viviendas de Talca y Maule (zona norte de la comuna). El modelo consistió en incluir el efecto de las personas sobre el consumo de energía en una vivienda. El modelo usado se basa en el programa de simulación TRNSYS, al cual se le ha acoplado el modelo de comportamiento humano.



Fuente: Elaboración propia en base a TRNSYS

FIGURA 2. DEMANDA DE ENERGÍA Y TEMPERATURAS EN EL INTERIOR DE LA VIVIENDA 1. MODELO IDEAL



Fuente: Elaboración propia en base a TRNSYS

FIGURA 3. DEMANDA DE ENERGÍA Y TEMPERATURAS EN EL INTERIOR DE LA VIVIENDA 1. MODELO INCLUIDO EL COMPORTAMIENTO HUMANO.

El modelo simula la forma en que el usuario maneja el sistema de calefacción en base a diferentes parámetros y variables, entre ellas hora del día, tipo calefacción, potencia del sistema de calefacción, temperaturas para cada nivel de potencia, y preferencia del nivel de potencia disponible. Los resultados se compararon con las sensaciones de confort declaradas por las personas que habitan las viviendas estudiadas, las temperaturas medias calculados en la etapa anterior (a partir de las encuestas) y los consumos de energía declarados. Esto permitió sintonizar y validar el modelo para cada una de las viviendas estudiadas.

TABLA 2. COMPARACIÓN DE RESULTADOS MEDIDOS Y CALCULADOS

Casa	Consumo calculado (kWh/año)	Consumo medido (kWh/año)	% diferencia en consumo	T media calculada (°C)	T media medida (°C)	Diferencia de temperaturas (°C)
1	10.351	6.957	-49%	12,6	14,5	-1,9
2	7.303	7.149	-2%	12,1	15,9	-3,8
3	12.497	12.618	1%	12,2	14,8	-2,6
4	11.829	11.846	0%	13,3	16,6	-3,2
5	13.850	8.440	-64%	14,6	15,4	-0,9
6	15.647	10.569	-48%	16,6	17,9	-1,3
7	19.635	11.916	-65%	17,3	16,2	1,1
8	10.384	11.916	13%	13,7	16,3	-2,6
9	10.717	20.612	48%	15,5	17,2	-1,7
10	7.856	7.884	0%	18,9	15,5	3,3
11	16.751	9.533	-76%	16,8	17,3	-0,5
12	6.058	6.046	0%	10,8	13,6	-2,8
13	15.602	14.299	-9%	16,2	18,5	-2,3
14	3.530	3.557	1%	12,6	15,5	-2,9
15	16.103	28.598	44%	17,8	18,5	-0,6
16	6.132	7.149	14%	14,3	18,5	-4,1
17	4.981	3.463	-44%	12,8	19,6	-6,9
18	8.229	4.766	-73%	12,6	13,4	-0,8
19	8.802	11.916	26%	12,6	15,3	-2,6
20	11.832	11.916	1%	18,7	17,2	1,5
21	8.265	4.766	-73%	15,9	16,9	-0,9
22	13.776	11.439	-20%	19,1	18,1	1,0
23	4.557	4.290	-6%	13,8	16,7	-2,9
24	8.194	9.533	14%	14,2	14,2	0,0
25	17.797	18.588	4%	15,4	18,3	-2,9
26	12.851	24.658	48%	14,8	15,6	-0,8
27	13.469	4.719		16,3	17,1	

CONTINUACIÓN TABLA 2...

Casa	Consumo calculado (kWh/año)	Consumo medido (kWh/año)	% diferencia en consumo	T media calculada (°C)	T media medida (°C)	Diferencia de temperaturas (°C)
28						
29	8.465	9.790	14%	16,1	16,7	-0,7
30	8.621	12.367	30%	12,5	16,3	-3,9
31	7.754	6.314	-23%	16,7	16,9	-0,2
32	8.256	14.299	42%	17,1	18,8	-1,7
33	13.878	13.107	-6%	19,0	19,4	-0,3
34	13.806	11.916	-16%	18,5	18,7	-0,3
35	7.087	14.299	50%	13,7	16,1	-2,4
36	10.195	11.916	14%	16,7	16,9	-0,2
37	6.902	7.149	3%	17,2	16,6	0,6
38	7.208	11.868	39%	13,4	16,2	-2,7
39	6.133	4.766	-29%	14,1	16,1	-2,0
40	16.403	18.588	12%	18,2	18,5	-0,3
41	3.832	14.299	73%	12,2	14,7	-2,5
Promedio			-3%	Promedio		-1,5

Fuente: Elaboración Propia

Como se mencionó previamente, este modelo se estableció para determinar los valores promedio para un grupo de viviendas. El error promedio estimado fue de 3%, por lo que permite validar el modelo que fue utilizado para estimar los ahorros potenciales de energía a partir del cálculo teórico. Cabe señalar, que el promedio de las temperaturas medidas fue de 1,5 °C más alta que la calculada. Esto se debe a que la temperatura medida está influenciada más directamente el calor de del calefactor, por ello, en la práctica el valor calculado representa en mejor medida el valor promedio de temperatura de toda la vivienda.

El análisis anterior permite validar el modelo teórico de cálculo de consumo energético con lo que fue posible utilizarlo para estimar valores de ahorro en función de algunas mejoras específicas que se le realicen a la vivienda. Con estas medidas, las viviendas deberían quedar aproximadamente en un rango entre los niveles D y B de la calificación energética de viviendas, dependiendo de las particularidades de cada vivienda. La mayoría debería quedar en un nivel cercano a C.

Los escenarios de aislación evaluados para las viviendas existentes son los siguientes:

- **Escenario 1.** A las casas antiguas (construcciones previas al año 2000) se le agrega aislación en el techo (12 cm) y en los muros (6 cm).
- **Escenario 2:** A las casas antiguas (construcciones previas al año 2000) se le agrega aislación en el techo (12 cm), en los muros (6 cm) y se cambia las ventanas por ventanas de termopanel.

Los escenarios de aislación evaluados para las viviendas existentes son los siguientes:

- **Escenario 3.** Se le agrega aislación en los muros (6 cm) y se utiliza ventana termopanel. Se les lleva al nivel C aproximadamente.
- **Escenario 4:** Se le agrega aislación mejorada en los muros (8 cm) techo (5 cm extra por sobre la reglamentación) y se utiliza ventana termopanel. Se les lleva sobre el nivel C.

Los cálculos se obtienen a partir de la aplicación directa del modelo teórico para las 20 viviendas de construcción previa al 2000, y considerando las mejoras indicadas en cada escenario. Para las viviendas nuevas, el ahorro se calcula en base a la metodología de cálculo de la calificación energética, pero como se sabe que el método de la calificación energética, para las condiciones actuales de las viviendas de Talca sobrestima los ahorros reales, se hace una corrección para tener una estimación de los ahorros reales.

TABLA 3. RESUMEN DE AHORROS Y COSTOS

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
% de ahorro energético	42	52	30	34
Consumo medio de energía (kWh/año)	11.051	11.051	5.651	5.651
Ahorro energético (kWh/año)	4.641	5.746	1.695	1.921
Ahorro promedio en emisiones (kg MP10/año por vivienda).	19,6	24,2	7,1	8,1
Inversión en techo (\$)	433.000	433.000	0	194.000
Inversión en muro (\$)	1.028.000	1.028.000	646.000	776.000
Inversión en ventanas (\$)	0	1.315.000	311.000	311.000
Inversión total (\$)	1.461.000	2.776.000	957.000	1.281.000

Fuente: elaboración propia

Las medidas evaluadas en cada escenario en no son significativamente rentables en su conjunto. Esto se debe principalmente a que el costo de la energía es muy bajo (costo referencial con leña). Si se considera un escenario en que no se pueda utilizar leña, la alternativa sería el gas, el kerosene o la electricidad. En este caso las rentabilidades de las mejoras serían mayores.

Se puede constatar que existe un potencial de ahorro energético entre un 30% a un 50% con paquetes de medidas de mejoras en la aislación térmica de las viviendas. Si bien es cierto, que en la actividad de construcción de viviendas se tienden a generar paquetes de medidas, con el fin de abaratar costos en la instalación de faenas y administración de la obra, hay que ser

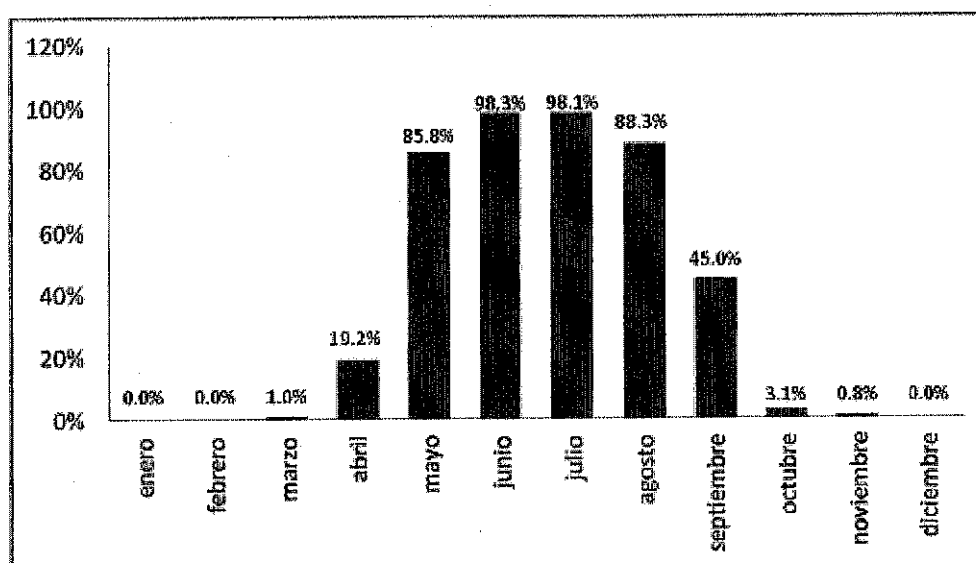
muy cuidadosos, ya que algunas medidas con alta rentabilidad pueden estar subsidiando medidas no rentables dentro de un mismo paquete.

Claramente, las medidas más ventajosas son las incluidas en el escenario 1 para las viviendas existentes y el escenario 3 para las viviendas nuevas. El cambio de ventanas en viviendas existentes por ahora no es recomendable debido a su alto índice de costo-efectividad. Es preferible focalizar recursos a las medidas del escenario 1 que tienen más impacto y menores costos de inversión. Eventualmente, la instalación de ventanas DVH puede hacerse después, independiente de una intervención a pisos y muros. Esto debido a que existen empresas consolidadas que se dedican al cambio de ventanas, lo hacen en forma rápida y eficiente. Por tanto, para esta partida no es tan necesario hacerla junto con el resto de las mejoras.

Dado que una de las principales fuentes de contaminación en las comunas de Talca y Maule proviene de la combustión residencial de leña, en este estudio se realiza un análisis del mercado de la leña. Se realizó una caracterización del consumo de leña en las viviendas de las zonas urbanas de las comunas de Talca y Maule mediante la aplicación de una encuesta diseñada para el sector residencial. A continuación se entregan los principales resultados del levantamiento de encuestas realizados a 755 hogares de la comuna de Talca y 59 en la comuna de Maule. El instrumento aplicado tuvo como objetivo caracterizar la demanda de leña, equipos de calefacción, especies de leña, contenido de humedad, precios, características de los hogares y sus viviendas. Adicionalmente, la encuesta busca enfrentar a las personas entrevistadas a preguntas situacionales, con el fin de evaluar la disposición de los hogares que actualmente utilizan un equipo de calefacción a leña al cambio por otro equipo menos contaminante.

Considerando solamente los hogares que consumen leña se estimó un consumo promedio de leña por hogar de 1.615 kg/año ($4,5 \text{ m}^3/\text{año}^2$) en Talca y 1.588 kg/año ($4,4 \text{ m}^3/\text{año}$) en Maule. Combinando los datos de los hogares encuestados con datos observacionales de la cuadra en la cual se ubicaba el hogar, se puede estimar una penetración de 50% en Talca y 61% en Maule. La frecuencia relativa en que los hogares de Talca comienzan a utilizar leña por mes se muestra en la figura siguiente. Cabe señalar, que el comportamiento temporal del consumo de leña en los hogares de la comuna de Maule es similar al comportamiento observado en los hogares de Talca.

² Metro cúbico estéreo de leña



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4. PORCENTAJE DE HOGARES EN TALCA QUE UTILIZAN LEÑA SEGÚN MES DEL AÑO

Los motivos por los cuales los hogares utilizan la leña como energético para calefacción radica principalmente en que es un combustible más económico y porque existe una sensación de que la leña calienta más. En el estudio se detectó que la unidad de compra de leña predominante en los hogares urbanos de Talca y Maule corresponde al metro cúbico, m³ (m³ estéreo, tirado o a granel), siendo esta unidad de compra la utilizada en el 92,8% de los hogares que consumían leña. La especie más consumida corresponde al eucaliptus y en menor medida se consume leña de las especies aramo y hualle. El periodo en el cual se utiliza más intensivamente la leña es entre los meses de mayo y agosto.

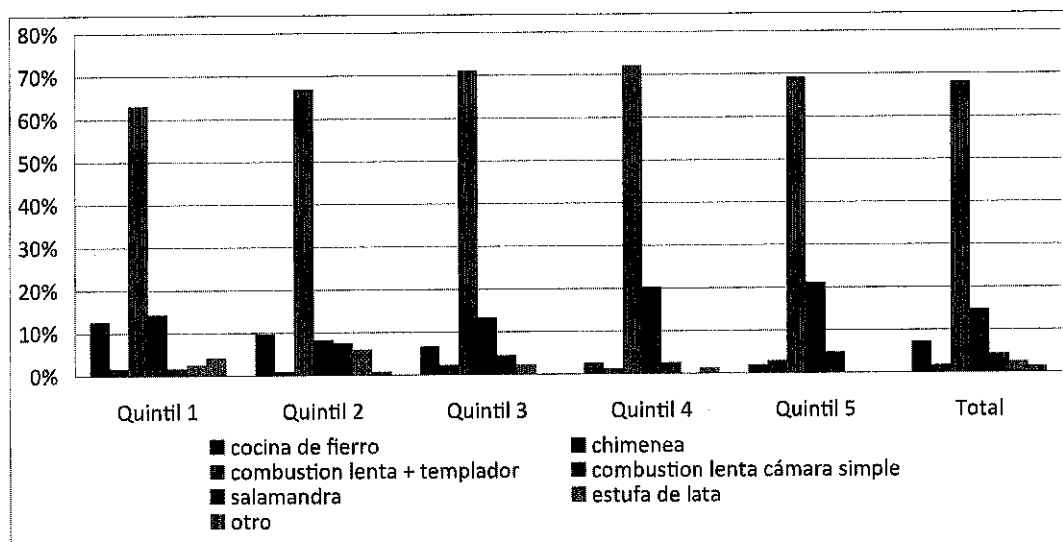
A partir de la información generada en la encuesta de consumo de leña, combinada con la proyección de la población y penetración de equipos por comuna, es posible generar una extrapolación del número total de artefactos a leña para las comunas de Talca y Maule que se presenta a continuación.

TABLA 4. ESTIMACIÓN DE ARTEFACTOS A LEÑA POR COMUNA

Tipo de Equipo/ comuna	Talca	Maule
Combustión lenta cámara simple con templador	20.374	3.862
Combustión lenta cámara simple s/n templador	4.801	306
Cocina de fierro	2.431	0
Salamandra	1.416	100
Estufa de lata	1.139	100
Chimenea	585	0

Fuente: Elaboración propia

La proporción de tenencia de equipos de calefacción en los hogares es relativamente homogénea por quintil de ingreso existiendo una alta participación de equipos de combustión lenta de cámara simple con templador en los hogares de todos los quintiles de ingreso. Sin embargo, los hogares de los quintiles más pobres tienen una presencia mayor de cocinas a leña.



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 5. PROPORCIÓN DE EQUIPOS A LEÑA UTILIZADOS PARA COCINA Y CALEFACCIÓN EN TALCA Y MAULE SEGÚN QUINTIL DE INGRESO

A partir de la información sobre hora de inicio y fin de utilización de los equipos bajo ciertos supuestos se puede generar un factor de intensidad de uso por hora, determinándose que la mayor utilización se genera entre las 17 hrs. y 23 hrs. Un 86,2% de los hogares compra la leña que utiliza, un 8,4% afirma que una parte de la leña es regalada, un 4,9% señala que una parte de la leña la recolecta o es de su propiedad y un 0,6% de los hogares señala que una parte de la leña es obtenida por otro medio.

Un aspecto relevante de los resultados de la encuesta es la percepción sobre el contenido de humedad de la leña. El 94,0% de los hogares declara que la leña que adquiere se encuentra seca, un 5,1% semihúmeda y un 0,9% argumenta que la leña se encuentra húmeda. Para determinar si la percepción de las personas efectivamente tiene relación con las mediciones de humedad de la leña se midió el contenido de humedad de la leña con un xilohigrómetro en el 18,7% de los hogares encuestados, y luego se comparó con respecto a la percepción subjetiva que tenía el hogar con respecto al contenido de humedad de la leña que adquiriría. Los resultados nos permiten afirmar que los hogares pueden discriminar la leña seca, semihúmeda y húmeda. Además, las mediciones con el xilohigrómetro permiten afirmar que al momento de utilizar la leña en el calefactor, esta tiene un contenido de humedad promedio de 17,3% en los hogares de la comuna de Talca y un 16,1% en los hogares de la comuna de Maule (zona norte adyacente a la comuna de Talca). Al consultar por la preferencia de

humedad de la leña, el 99,1% de los hogares entrevistados declaró que prefiere la leña seca y un 0,9% prefiere la leña semihúmeda.

En promedio el 70,1% de los hogares de Talca y Maule se abastece de leña una vez al año, un 21,1% se abastece dos a cuatro veces al año, un 5,7% se abastece una vez al mes, un 1,9% se abastece semanalmente. Sólo el 0,6% de los hogares se abastece de leña dos o tres veces por semana.

Con respecto a las características de las viviendas encuestadas, el 87,0% a casas corresponde a viviendas pareadas, el 8,8% corresponde a casas aisladas, el 4,1% a casas en filas, y 0,1% correspondían a mediaguas. El tamaño promedio de las viviendas encuestadas en Talca fue 68,4 m² y en Maule 68,9 m², mientras los metros cuadrados a calefaccionar en cada vivienda son en promedio 43,7 m² en Talca y 54,1 m² en Maule.

El precio promedio pagado en la zona de estudio independiente de la unidad de comercialización es \$25.193 por m³ (metro cúbico estéreo). A los encuestados se les consultó por un escenario hipotético en el cual tuvieran la posibilidad de comprar leña certificada. Los encuestados estarían dispuestos a pagar en promedio \$26.604 por un m³, y aquellos que compraban por sacos (25 kg) un precio de \$3.260. Los datos a nivel descriptivo reflejan una menor disposición a pagar por leña certificada en los hogares de los quintiles de ingresos más bajos (quintil 1 y quintil 2). Se consultó además por la disposición de los hogares encuestados para cambiar su equipo de calefacción a través de un programa de recambio. Bajo distintos escenarios de subsidios se pudo determinar que un 75,3% de los hogares estaría dispuesto a participar en el programa, siendo este nivel de participación similar en los hogares de todos los quintiles de ingreso.

Para caracterizar la oferta de leña en las comunas de Talca y Maule se usó la recopilación de datos primarios a través de entrevistas con comerciantes de leña establecidos en la ciudad de Talca durante el mes de enero de 2013 y posteriormente en los meses de julio y agosto de 2013. En las actividades de terreno se identificaron 21 oferentes de leña, entre ellos productores, distribuidores y/o comerciantes.

El ciclo de comercialización de leña se inicia desde los productores, que son los encargados de generar la leña a través de especies arbóreas provenientes de bosques propios y/o comprados en las localidades de Duao, Curepto, Empedrado, Batuco, Pelarco, Cumpeo y Ancoa. Los productores venden la leña a los distribuidores y/o intermediarios que se encargan de transportar la leña desde los productores a los centros de consumo, donde participan los comerciantes. Además, existen algunos intermediarios que compran la leña a los productores y la venden directamente en diferentes localidades de la ciudad a los consumidores finales (hogares) a través de una venta informal.

El tiempo declarado por los oferentes para almacenar la leña luego de producirla hasta el momento que se ofrece a la venta es de 4 meses, con una desviación estándar de 2 meses, lo que permitiría inferir que la leña se encuentre con un menor contenido de humedad al momento de ser comercializada dada las condiciones climáticas de la zona y el tiempo de almacenamiento. Esto se evidenció con mediciones del contenido de humedad tanto a la leña comercializaba, como a la leña existente en los hogares al momento de ser utilizada el calefactor.

La principal especie que se comercializa corresponde al eucalipto³, representando el 90% del total de leña ofertada como primera especie. Esta información es coincidente con la principal especie utilizada en los hogares de Talca y Maule. A esta especie le sigue el aramo y el resto corresponde a especies arbóreas como el roble, álamo, sauce, pino y otras especies nativas. Los meses donde la leña tiene la mayor demanda están entre mayo y agosto donde se genera el mayor consumo de este energético en los hogares de Talca y Maule.

El 38% de los oferentes encuestados indican tener camioneta $\frac{3}{4}$, de éstos el 83,3% corresponden a comerciantes y distribuidores, ya que estos venden en el local y también entregan a domicilio. El 19% de los oferentes indicó no ocupar vehículo, de éstos el 50% corresponden a productores y comerciantes, y su función es entregar la leña puesta en el local, por último, el 14% restante de los oferentes indicaban tener un camión de un solo eje para transportar la leña.

Se obtuvieron datos muy variables de los volúmenes de venta de los oferentes, esto se puede deber a que no llevaban un control de sus ventas y, además muchos comerciantes no querían entregar mucha información del negocio propiamente tal. El volumen total estimado para la comercialización de leña por parte de los oferentes encuestados correspondió a 8.715 m³/año. Sin embargo, de acuerdo a las estimaciones de la cantidad total de consumo a partir de la encuesta en los hogares de Talca y Maule se comercializan aproximadamente 156.000 m³/año de leña, de este total 44.000 m³/año serían comercializados por vendedores ambulantes y transportistas, 63.000 m³/año por productores, 47.000 m³/año por comerciantes establecidos y el resto por otros medios.

Los precios de la leña ofertada varían según la estación del año y el volumen de compra. Para el periodo de invierno del año 2013 se observó un alza de 5,9% en el precio de la leña de eucalipto, en comparación con el año anterior, alcanzando un valor promedio de \$30.294 el m³. El promedio del contenido de humedad de la leña de eucaliptus, fue de 17,7% y 16,1% (base seca) para la leña medida en el periodo de verano e invierno, respectivamente. Esto implica que la leña se encuentra principalmente seca al momento de ser comercializada.

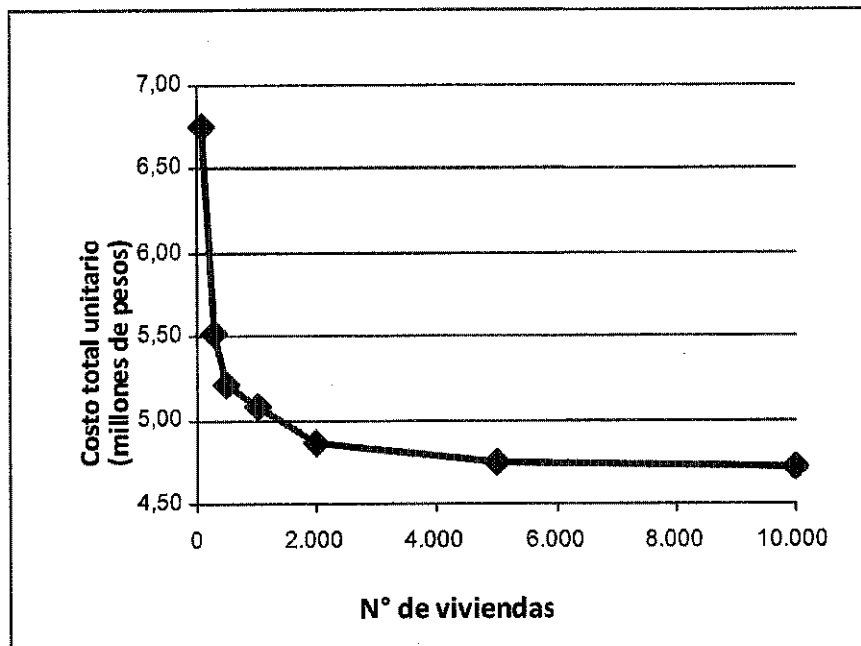
Como alternativa a la leña para calefacción, este estudio también analiza la factibilidad técnico-económica de instalar una planta de pellets para abastecer de este combustible a la zona de Talca y Maule. Por su cercanía a las materias primas y centros de distribución se identificó justamente en la Región del Maule, provincia de Cauquenes el emplazamiento para planta de producción de pellets.

El monto total de inversión del proyecto se estima en \$ 386.768.500, siendo la distribución mayor de este monto para los costos asociados a infraestructura y compra de maquinaria. La evaluación económica del proyecto se realizó para un proyecto puro, con una tasa de descuento del 10% obteniéndose un Valor Actual Neto (VAN) de \$ 81.082.325 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 13,3%, considerando un precio de venta del pellets de \$155/kg. Cabe señalar, que este precio es menor al precio del pellet comercializado actualmente en el mercado nacional el cual se encuentra en el orden de los 190 \$/kg para la compra minorista.

³ Principalmente la especie *Eucaliptus globulus*

En base al análisis desarrollado con una línea de producción y sólo un turno de trabajo, se puede llegar a producir solamente 2.073 ton/año de pellets en la planta, esto equivale a satisfacer sólo el 6,7% de la demanda, en el caso que todos los hogares quisieran cambiarse a este combustible. Para ampliar la producción local de pellets las alternativas son varias, desde instalar una segunda línea, doblar el turno o proyectar una nueva planta. Una buena opción es instalar una segunda línea de producción y a la vez doblar el turno, lo que llevaría a una producción anual del orden de 8.300 toneladas al año lo que corresponde a más del 26% de la demanda total.

Otra alternativa de aprovechamiento energético de la biomasa disponible en la región sería a través de la implementación de proyectos de calefacción distrital en barrios existentes y nuevos conjuntos inmobiliarios de la ciudad de Talca. Por ello se realizó un estudio para evaluar la prefactibilidad Técnica y Económica de desarrollar proyectos de calefacción distrital en el área de estudio. El levantamiento de fuentes de biomasa disponibles en la región indica que existe suficiente oferta en la zona como para alimentar varias plantas de generación de calor. En cuanto a los costos de inversión y operación son sensibles al número de viviendas conectadas al sistema de distribución de calor. A partir de las 2 mil viviendas, el costo tiende a estabilizarse en 4,7 millones para el costo de inversión por vivienda. El gasto anual en calefacción de este sistema de distribución sería en el orden de los 130 mil por viviendas. Al descontar los flujos futuros relacionados a los costos de operación y compararlos con los montos de inversión inicial, se observa de la evaluación económica que en el Valor Actual de los Costos (VAC) la inversión corresponde a un 80% del costo total, mientras que el costo de operación corresponde al 20% restante.



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 6. COSTO TOTAL DE INVERSIÓN POR VIVIENDA SEGÚN EL NÚMERO DE VIVIENDAS CONECTADAS

Un programa de subsidio para el fomento de la calefacción distrital con biomasa como medida de reducción de emisiones de material particulado, debería contemplar el financiamiento público de la red de distribución primaria de calor y de los elementos de distribución al interior de las viviendas. De esta forma, el costo del programa por cada vivienda conectada, sería de aproximadamente 3,5 millones de pesos, independientemente del número de viviendas conectadas. El costo privado en los estudios de preinversión y de la central térmica, se ven favorecidos por economías de escala, lo que debiera fomentar el desarrollo de proyectos grandes.

Por otro lado, el estudio también aborda la evaluación económica correspondiente al reemplazo de artefactos de combustión a leña de los hogares por distintas alternativas basadas en energías renovables no contaminantes. Se describen 3 casos: 1) reemplazo de estufas de cámara simple y cámara simple con templador, 2) reemplazo de salamandras y 3) reemplazo de calderas a leña.

Los costos de inversión y operación para el remplazo de un calefactor a leña por una de las medidas propuestas se presenta en la tabla siguiente.

TABLA 5. COSTOS DE OPERACIÓN E INVERSIÓN DE DISTINTAS ALTERNATIVAS DE CALEFACCIÓN MEDIANTE ERNC

Alternativa	Inversión Total (\$)	Costo consumo de combustible (\$/año)	Costo de Mantenición (\$/año)	Costo de Operación Total (\$/año)	Costo Marginal (\$/año)
Caso 1. Reemplazo de Estufas de combustión lenta					
Estufa pellets	1.410.000	176.000	98.700	274.700	64.000
Estufa leña (DS N° 39/2011)	640.000	89.600	44.800	134.400	-22.400
Bomba de calor aerotérmica	1.600.000	167.4801	98.000	265.480	55.480
Caso 2. Reemplazo de Salamandras					
Estufa pellets	1.410.000	102.667	98.700	201.367	-9.333
Estufa leña (DS N° 39/2011)	640.000	52.267	44.800	97.067	-59.733
Bomba de calor aerotérmica	1.600.000	97.697	98.000	195.697	-14.303
Caso 3. Reemplazo de Calderas a leña					
Caldera a pellets	5.350.000	495.000	374.500	869.500	285.000
Sistema Térmico Solar	7.600.000	157.500	532.000	689.500	-52.500
Bomba de calor geotérmica	10.900.000	293.9001	762.190	1.056.090	83.090

Notas: ¹ El consumo de una bomba de calor es eléctrico

Fuente: Elaboración propia

Los resultados muestran que la alternativa más costo-efectiva es el recambio de los actuales calefactores a leña por una estufa a leña menos contaminante y que cumpla con las emisiones de material particulado establecidas en el D.S. N° 39/2011. Las otras alternativas como estufas a pellets y aerobombas involucran costos mayores para lograra los mismos niveles de reducción de emisiones de MP10. Sin embargo, hay que estar conscientes que

estufas muy similares a las que han participado en los recientes programas de recambio financiados por el Estado y cuyas licitaciones han sido adjudicadas en base a calefactores a leña convencionales que actualmente están en el mercado nacional. Esto no lograría los efectos esperados en la reducción de emisiones debido a que su desempeño esta sujeto a la manipulación por parte del usuario, lo que podría incrementar significativamente las emisiones de humo del calefactor si este es operado en forma inadecuada, o sin las condiciones ideales del combustible, en cuanto al tamaño, contenido de humedad y orientación dentro de la cámara de combustión.

Si se considera la situación de que se está obligado a optar por un sistema alternativo de calefacción a la leña o biomasa, las alternativas de energías renovables no contaminantes de menor costo total para remplazar a la leña son las bombas de calor, siendo de todas formas la más conveniente la bomba VRF (Flujo Variable de Refrigerante). Además, esta última tiene la ventaja que su costo de inversión es más bajo, por lo que también es atractiva en el corto plazo. La alternativa de la bomba de calor geotérmica tiene la desventaja de que requiere una superficie de patio muy grande, lo cual limitaría en forma importante la penetración de una medida como esta en las viviendas de Talca.

En este informe también se analizaron medidas para reducir las emisiones generadas por las quemas agrícolas. Estas prácticas agrícolas contribuyen a las concentraciones de material particulado respirable y fino en las zonas pobladas de Talca y Maule. Específicamente, se estudiaron tres métodos alternativos para el control de heladas con el objetivo de determinar un indicador de costo-efectividad para la reducción de emisiones por material particulado debido a estas prácticas. A partir de los antecedentes generados, es posible construir una tabla que resume las características de costos y reducción de emisiones de las alternativas para el control de heladas. Las distintas alternativas propuestas pueden ser escalables a distintos tamaños de agricultores, sin embargo los costos anualizados que involucran pueden hacerlas prohibitivas para muchos agricultores.

TABLA 6. ESPECIFICACIONES MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA EL CONTROL DE HELADAS

Indicador/Técnica	Riego por Aspersión	Calefacción de Predios	Ventiladores Mecánicos
Costo Anualizado, VAUE \$/año	3.940.528	19.091.799	7.192.701
Reducción de MP10, ton/año	1,7	1,7	10,7
Costo Anual, \$/ton MP10	2.291.005	11.197.536	670.961

Fuente: Elaboración Propia

Además, las prácticas de manejo de cultivos tienden a promover un manejo más sustentable de las labores de sembradío. Prácticas como la incorporación de rastrojos, cero labranza, vermicompostaje u otras alternativas surgen como una buena opción para la limpieza y preparación de los predios agrícolas evitando la quema de rastrojos y los problemas de contaminación al aire por material particulado.

A partir de los antecedentes generados es posible construir una tabla que resume las características de costos y reducción de emisiones de las alternativas para evitar las quemas de desechos agrícolas. Algunas alternativas propuestas pueden ser escalables a distintos tamaños de agricultores, lo que permitiría incluso construir un ranking de las menos costo-efectivas.

TABLA 7. ESPECIFICACIONES MÉTODOS ALTERNATIVOS A LA QUEMA DE DESECHOS AGRÍCOLAS

Indicador/Técnica	Incorporación de Rastrojos Agrícola Pequeño	Incorporación de Rastrojos Agrícola Mediano	Cero Labranza Gran Agrícola	Combustión de Biomasa	Vermicompostaje	Compostaje en Pilas de Volteo
Costo Anualizado, VAUE \$/año	1.584.920	1.4061.200	443.800	74.166.264	47.248.365	-4.614.000
Reducción de MP10, ton/año	0,240	2,400	0,024	10,640	0,017	6,600
Costo Anual \$/ton de MP10	6.603.833	5.858.833	18.491.667	6.970.514	2.779.315.588	-699.091

Fuente: Elaboración Propia

Además, se actualizó el inventario de emisiones de fuentes industriales y comerciales al año 2012 para las comunas de Talca y Maule de la Región del Maule, considerando la información de tipos de fuentes, combustibles, tasas de actividad, junto con el uso de factores de emisión para estimar las emisiones atmosféricas de MP10, MP2,5, CO, NOx, SOx, COV y NH₃.

En la tabla siguiente se presenta el resumen de las emisiones atmosféricas estimadas para Talca y Maule, según tipo de fuente y con base al año 2012. Como se puede apreciar, las emisiones atmosféricas de MP10 y MP2,5 estimadas para las fuentes industriales y comerciales de Talca y Maule son 187,75 ton/año y 134,22 ton/año, respectivamente. El aporte total de emisiones de las fuentes industriales y comerciales del año 2012, son mayores a las estimaciones realizadas en el inventario de emisiones desarrollado para Talca (AMBIOSIS, 2009) y con base año 2006.

TABLA 8. RESUMEN DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS DE LAS FUENTES INDUSTRIALES Y COMERCIALES PARA LAS COMUNAS TALCA Y MAULE, AÑO BASE 2012

		Emisiones atmosféricas (ton/año)						
		MP10	MP2,5	NOx	CO	COV	NH ₃	SOx
Talca	CA	33,46	28,23	9,66	80,06	1,31	12,94	0,88
	EL	7,11	1,71	201,93	43,61	16,03	0,36	10,71
	IN	78,40	55,44	74,66	146,28	5,17	26,11	462,87
	PA	0,04	0,04	1,11	0,23	0,04	0,01	0,00
	PC	0,02	0,02	0,59	0,10	0,01	0,01	0,04
	Subtotal	119,03	85,45	287,94	270,29	22,56	39,43	474,51
Maule	CA	48,67	41,06	12,89	114,95	1,86	18,60	1,00
	EL	0,24	0,06	6,86	1,48	0,54	0,01	0,36
	IN	19,35	7,32	24,51	19,61	0,20	5,63	360,17
	PA	-	-	-	-	-	-	-
	PC	0,45	0,33	2,38	0,21	0,21	0,04	8,33
	Subtotal	68,72	48,77	46,65	136,25	2,82	24,28	369,86
Total		187,75	134,22	334,59	406,54	25,37	63,71	844,37

CA: Calderas; EL: Equipos electrógenos; IN: Calderas Igneotubulares; PA: Panaderías Industriales; PC: Procesos con combustión

Fuente: Elaboración propia

TABLA 9. RESUMEN INVENTARIO DE EMISIONES, FUENTES INDUSTRIALES DE TALCA, AÑO BASE 2006

Categoría de Fuente	Emisiones atmosféricas (ton/año)						
	MP10	MP2,5	CO	NOx	COV	SOx	NH ₃
Fijas Combustión	68,97	26,72	439,07	147,37	8,06	398,37	71,52
Fijas Procesos+ Evap.	7,56	1,81	32,43	6,72	0,57	2,22	5,18
Total	76,56	28,53	471,50	154,42	8,63	400,59	76,70

Fuente: Adaptado de CONAMA VII Región-AMBIOSIS (2008)

Las emisiones atmosféricas de MP10 y MP2,5 de las fuentes industriales y comerciales provienen principalmente de 15 fuentes que emiten más de una tonelada de MP10 al año, entre ellas, empresas de alimentos, rubro forestal y agroindustrias. En total, estas 15 fuentes representan el 90,3% y 92,9% del total de las emisiones totales de MP10 y MP2,5 para el año 2012.

Considerando que la realidad de la zona de Talca y Maule refleja una pequeña participación de emisiones industriales y comerciales pero que se requiere que no aumente a través del tiempo se propone un sistema de compensación de emisiones que puede ser por un 120% de las nuevas fuentes de combustión o fugitivas. También se sugiere implementar una norma de emisión industrial para las fuentes existentes que las obligue a la reducción de emisiones atmosféricas mediante la implementación de tecnologías de fin de tubo, y/o el uso de combustibles limpios.

Las emisiones atmosféricas de material particulado generadas por los vehículos particulares y transporte público para Talca, según el inventario de emisiones de la comuna de Talca desarrollado por Ambiosis (2009) y con año base 2006, las fuentes móviles generan emisiones atmosféricas de material particulado de 23,4 ton/año de MP10 y 22,4 ton/año de MP2,5. A partir de estos datos se concluye que las emisiones de fuentes móviles de la comuna de Talca representan solo un 2,2% del total de emisiones atmosféricas de MP10 y un 1,8% del total de emisiones de MP2,5.

La actualización de las emisiones atmosféricas de las fuentes móviles de las comunas de Talca y Maule al año 2012 considerando el número de vehículos según información INE 2012. Se observó una tasa de crecimiento anual del parque automotriz de Talca de un 10,3%. El resumen de las emisiones atmosféricas de las fuentes móviles de las comunas de Talca y Maule para el año 2012 se muestra en la tabla siguiente.

TABLA 10. EMISIONES ATMOSFÉRICAS ESCENARIO PARA EL TRÁNSITO VEHICULAR AÑO 2012 TALCA Y MAULE

Comuna	Emisiones, ton/año					
	MP10	MP2,5	CO	SO ₂	NOx	HCT
Talca	27,4	21,6	245,4	0,9	472,6	97,4
Maule	5,4	4,3	40,8	0,2	96,2	17,5
Total	32,8	25,9	286,2	1,1	568,7	114,9

Fuente: Elaboración propia en base a AGIES RM (2008)

Las emisiones totales de material particulado respirable (MP10) de las fuentes móviles de la comuna de Talca ha experimentado un crecimiento de un 17,1%. Sin embargo, las emisiones de material particulado fino (MP2,5) experimentaron una reducción de 3,5% en igual periodo. Esto se puede explicar con la incorporación de vehículos nuevos al parque automotriz y la salida de vehículos más antiguos.

Considerando que la realidad de la zona de Talca y Maule refleja una menor participación de emisiones móviles pero que por el aumento del parque vehicular y congestión pudiera crecer en el futuro problemas locales, se sugieren las siguientes medidas que se complementan con diversas normativas a nivel nacional cuyo objetivo es la reducción de emisiones de fuentes móviles a través de estándares más exigentes para los nuevos vehículos que ingresan al país. Recientemente entró en vigencia la norma Euro V para los vehículos motorizados con motores que utilizan petróleo diesel. La disminución de emisiones de esta tecnología se debe a una combinación de bajo contenido de azufre (15 ppm) el combustible (petróleo) y la incorporación de filtro de partículas, que atrapa y quema las emisiones de hollín generada por los motores diesel.

Dentro de las medidas específicas para la zona de Talca y Maule se puede mencionar la introducción de indicadores ambientales en futuras licitaciones del transporte público que favorezca una renovación del parque de buses de transporte urbano, así como también la creación de programas de recambio voluntario de camiones antiguos a través de fondos FNDR.

A partir de todos los antecedentes generados se obtuvo una actualización de las emisiones al año 2012 que incluye a las fuentes residenciales por combustión de leña, quemas agrícolas, fuentes móviles en ruta, y fuentes industriales y comerciales, mientras las emisiones por incendios forestales provienen del estudio de Ambiosis (2009).

TABLA 11. INVENTARIO DE EMISIONES DE TALCA Y MAULE EN ESCENARIO BASE 2012

Tipo de Fuente	MP10 ton/año	MP2,5 ton/año
Fuentes Fijas	187,7	134,2
Calefacción residencial leña	974,6	947,9
Incendios Forestales	7,5	6,6
Quemas Agrícolas	67,6	57,3
Caminos Sin Pavimentar	817,5	81,7
Fuentes Móviles	32,8	25,9
Total	2.087,7	1.253,6

Fuentes: Inventario de Emisiones Atmosféricas Ambiosis (2009) y Elaboración Propia

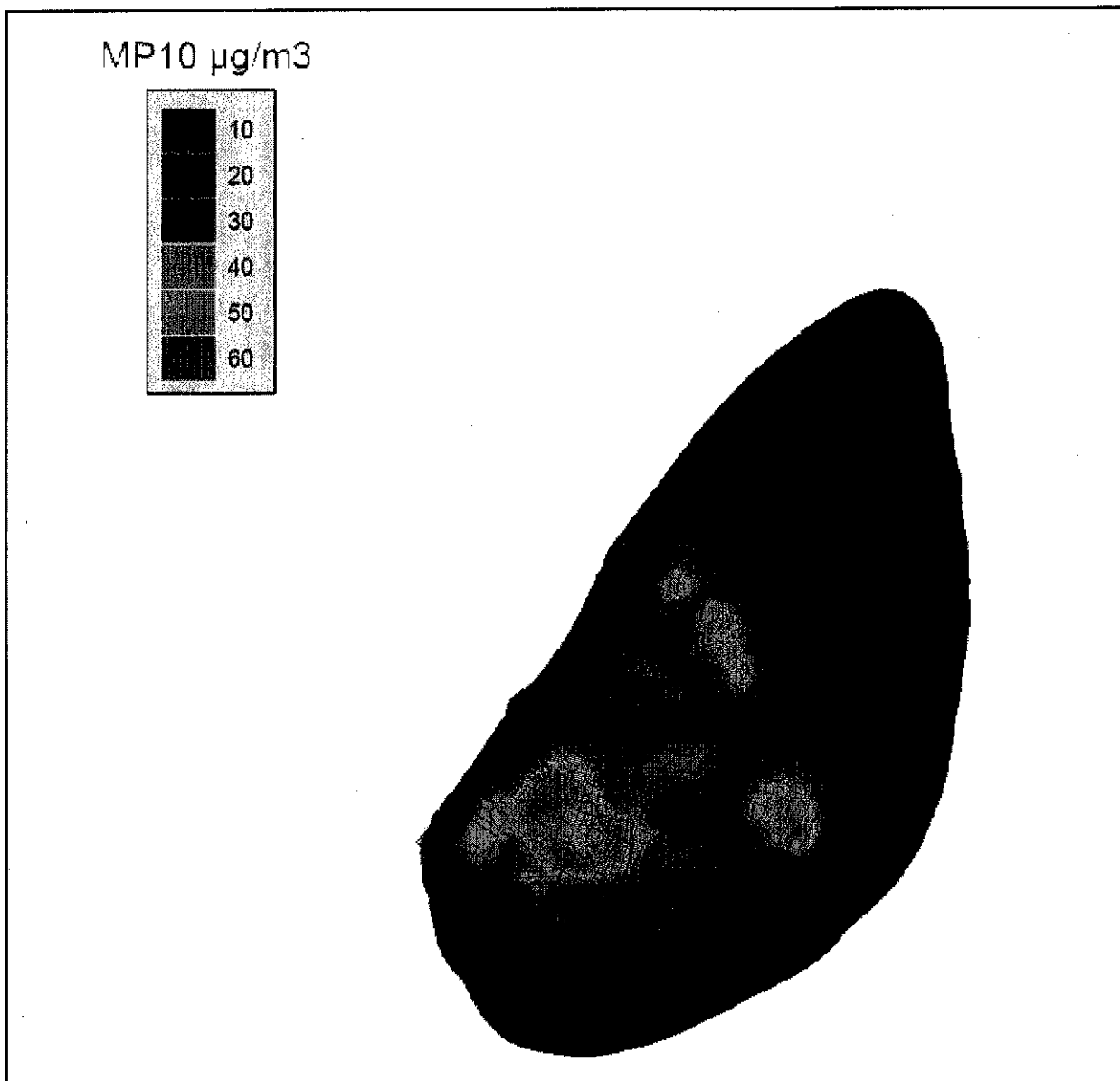
Este inventario sirvió para generar un escenario base en la modelación de la concentración ambiental de MP10, MP2,5 emitidos en las comunas de Talca y Maule (zona norte adyacente a Talca). Para efectos de simulación y distribución de las emisiones de MP10, MP2,5 y otros contaminantes emitidos por la combustión residencial de leña y las fuentes móviles de Talca, se consideraron emisiones distribuidas como una fuente de área. Para el caso de la simulación de las emisiones atmosféricas de las fuentes industriales de la zona de

influencia, se consideraron estas emisiones como fuentes puntuales (emisión desde una chimenea). Para el caso de las quemadas agrícolas, se distribuyeron aleatoriamente fuentes de áreas (polígonos) en las zonas rurales de las comunas de Talca y Maule para evaluar el efecto de las quemadas agrícolas en la calidad del aire en las zonas urbanas de las comunas bajo estudio.

La estimación del aporte de material particulado a las concentraciones ambientales observada en los sitios de interés se evalúa considerando que las fuentes que emiten MP10 y MP2,5 se encuentran distribuidas espacialmente (coordenadas geográficas) de acuerdo a la ubicación declarada en el inventario (fuentes industriales) y para el caso de la combustión residencial de leña, se distribuyeron polígonos las zonas más densamente pobladas (combustión residencial de leña), agrupando contando el número de viviendas en cada uno de ellos. Esto permitiría distribuir las emisiones según densidad de viviendas.

La modelación considero la variación estacional y horaria de las emisiones de material particulado. Para ello se establece las condiciones de consumo de leña en los hogares y la intensidad horaria del uso de los artefactos a combustión durante el periodo de invierno utilizando la información generada para Talca y Maule como parte de este estudio. Para el caso de las fuentes industriales y quemadas agrícolas se estima el perfil de emisiones en función de la tasa de actividad reportada para estas fuentes en la declaración del D.S. N° 138.

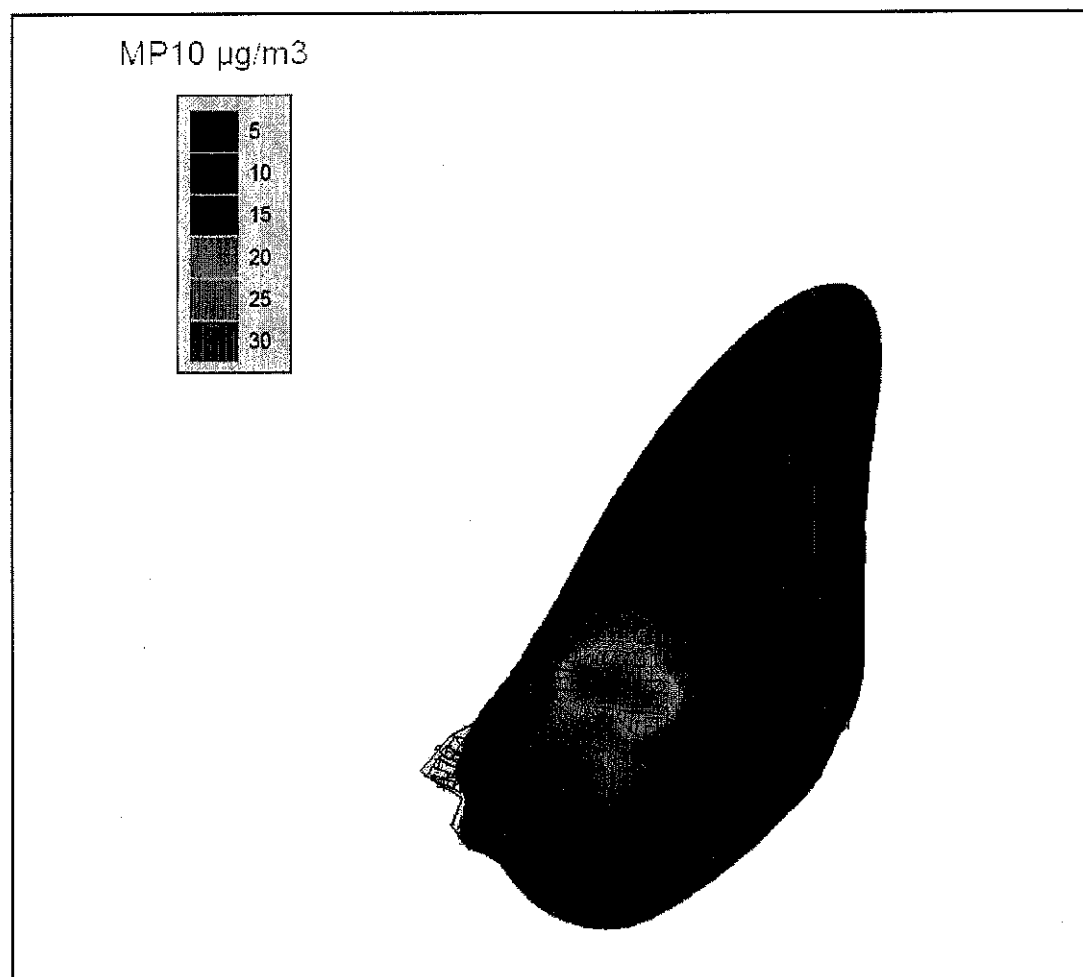
Los resultados del aporte de MP10 y MP2,5 desde las fuentes industriales, combustión residencial de leña, fuentes móviles en ruta y quemadas agrícolas a los receptores seleccionados en las zonas urbanas de la comuna de Talca y zona norte de la comuna de Maule se muestran en las figuras siguientes.



Fuente: elaboración propia

FIGURA 7. APOORTE PROMEDIO ANUAL DE LA COMBUSTIÓN RESIDENCIAL DE LEÑA A LOS NIVELES AMBIENTALES DE MP10 EN LAS ZONAS URBANAS DE LA COMUNA DE TALCA Y ZONA NORTE DE LA COMUNA DE MAULE

Se puede observar que el modelo predice que los mayores niveles de contaminación producto de la combustión de leña estarían ocurriendo en la zona sur poniente de la ciudad de Talca.

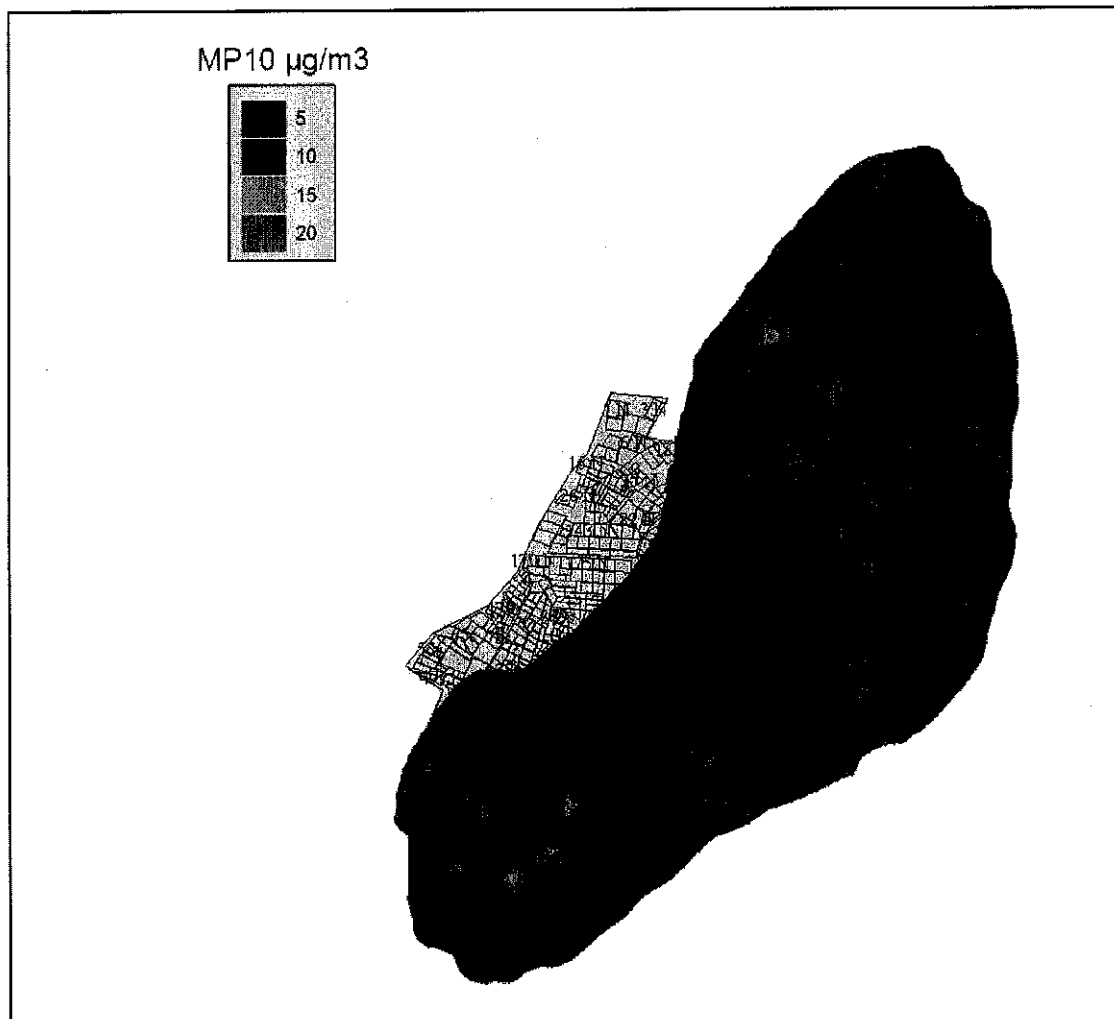


Fuente: elaboración propia

FIGURA 8. APOORTE PROMEDIO ANUAL DE LAS FUENTES MÓVILES EN RUTA A LOS NIVELES AMBIENTALES DE MP10 EN LAS ZONAS URBANAS DE LA COMUNA DE TALCA Y ZONA NORTE DE LA COMUNA DE MAULE

En la figura anterior se muestra las curvas de isoconcentración para el aporte promedio anual de las fuentes móviles en ruta (tránsito vehicular en la ciudad) a los niveles ambientales de MP10. Se puede observar que el modelo predice que los mayores niveles de material particulado MP10 producto de las emisiones fugitivas de los vehículos estaría ocurriendo en la zona central de la ciudad, condición que es consistente con las zonas de mayor flujo de vehículos.

La figura siguiente se muestra la variabilidad espacial de las quemas agrícolas a los niveles ambientales de MP10.



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 9. APOORTE PROMEDIO ANUAL DE QUEMAS AGRÍCOLAS A LOS NIVELES AMBIENTALES DE MP10 EN LAS ZONAS URBANAS DE LA COMUNA DE TALCA Y ZONA NORTE DE LA COMUNA DE MAULE

A partir de los antecedentes recopilados en los estudios desarrollados para la zona saturada de Talca y Maule se generó una revisión y clasificación de potenciales medidas de reducción material particulado y sus precursores para ser consideradas en el Anteproyecto de Plan de Descontaminación Atmosférico (PDA) de Talca y Maule. En consecuencia, según este análisis se diferencian medidas con potencial de reducción, instrumentos económicos y programas complementarios.

Específicamente, en el caso de las medidas con potencial de reducción se realiza una jerarquización de las medidas atribuibles al plan. A partir de los índices de costo-efectividad calculados para el MP2,5 se concluye que aquellas medidas asociadas a la combustión de leña en los hogares como RLEÑA, CEQUIPOS y PCHIMENEAS son las más atractivas en términos de costo-efectividad, les sigue la medida COMPEMIND asociada a las fuentes industriales, y después vuelven a aparecer como atractivas otras medidas enfocadas al consumo de leña residencial como TERMICOVIV NUE, TERMICOVIV ANT, TERMICOPLUS, SUBSGAS, SUBCALALT y PROHIBLEÑA. Las medidas menos atractivas en términos de costo-efectividad corresponden a PAVIMENFUG, AREASVERDES y PQUEMAS. El ordenamiento de las medidas basada en los indicadores de costo-efectividad se modifican levemente para el contaminante MP10, esto ocurre especialmente en el caso de las medidas AREASVERDES y PAVIMENFUG, las cuales se vuelven más atractivas en términos económicos.

Para sensibilizar los resultados en el horizonte de evaluación del Plan se generaron tres escenarios (Cumplimiento de Plan, Pasivo y Agresivo) con su correspondiente potencial reducción de emisiones producto de las medidas implementadas. Las simulaciones arrojan que al año final de evaluación del plan las medidas CEQUIPOS, PAVIMENFUG, PQUEMAS, SUBSGAS y NEQUIPOS, son las que más aportan a la reducción de emisiones (respecto a las emisiones totales del escenario base al año 2030) y también a la reducción de concentraciones. Otras medidas que aportan son COMPEMIND, TERMICOANT, TERMICONUE, PROHIBLEÑA y RLEÑA. Las medidas enfocadas al sector industrial, quemas agrícolas y transporte aportan de forma marginal a la solución del problema en la zona de estudio. También se concluye que los escenarios cumplimiento de plan y agresivo permiten salir de la zona de saturación y latencia para el MP10.

Sin embargo, los resultados difieren para el contaminante MP2,5, ya que al año final de evaluación del plan la medida CEQUIPOS se transforma por lejos en la más relevante para reducir las emisiones y concentraciones del material particulado fino. La medida PAVIMENFUG es desplazada por otras medidas con mayor efectividad en la reducción de este contaminante, como por ejemplo SUBSGAS, SUBCALALT, NEQUIPOS, PROHIBLEÑA, TERMICOANT, TERMICONUE y RLEÑA. En el caso de este contaminante las medidas enfocadas al sector industrial, transporte y prohibición de quemas agrícolas también aportan de forma marginal a la solución del problema en la zona de estudio. Finalmente, se concluye que solo a través de la implementación de las medidas propuestas bajo el escenario agresivo se lograría cumplir la norma anual de concentraciones para el MP2,5.

Diversos estudios internacionales y nacionales han analizado los problemas en la salud generados por la concentración de contaminantes en el aire, específicamente el material particulado respirable MP10 y material particulado fino MP2,5. Así, surge la importancia de identificar y cuantificar los impactos particulares de estos contaminantes en la salud de la población que habita en las comunas de Talca y Maule a través de un estudio epidemiológico, cuya metodología y resultados se describen a continuación.

La metodología aplicada se basa en el desarrollo de modelos estadísticos que asocian efectos en salud (mortalidad y morbilidad) con distintos niveles de concentraciones de MP10 y MP2,5 registradas en las estaciones de monitoreo de la ciudad de Talca. El procesamiento de la información sobre los impactos en la salud, consiste en contabilizar los casos diarios de mortalidad y morbilidad asociados a causas respiratorias y cardiovasculares provenientes de las bases de datos del Ministerio de Salud para las comunas de Talca y Maule.

Específicamente, la información corresponde a las muertes diarias durante el periodo comprendido entre 2004 y 2008. Dentro de las muertes por causa cardiovascular se incluyeron todas las codificadas con letra I del ICD-10, las muertes respiratorias (neumonías, EPOC) incluyen todas las codificadas en la letra J del IDC-10 y las digestivas (letra K del ICDF-10), utilizadas como control. Dentro de las causas de las enfermedades se consideran las cardiovasculares que incluye todas las codificadas con letra I del ICD-10, las enfermedades respiratorias (neumonías, EPOC) incluyen todas las codificadas en la letra J del IDC-10, y las digestivas (letra K del ICDF-10). Los ingresos hospitalarios fueron clasificados por grupo de edad (total, mayor y menor de 65 años). Finalmente, las bases de mortalidad y morbilidad se estructuraron contabilizando para cada día, el número de admisiones hospitalarias por causa y grupo de edad.

Además, de las mediciones de concentraciones de MP10 y MP2,5 se utilizan una serie de variables confundentes para tratar de aislar los efectos en la salud asociados solamente a la contaminación, por ejemplo se incluyen datos meteorológicos y variables que permiten condicionar por efectos estacionales. Estas bases de datos son posteriormente depuradas y procesadas con tal de analizar datos faltantes y explorar la posibilidad de desarrollar algún algoritmo para rellenar las observaciones faltantes en algunas variables asociadas a la contaminación. Una vez terminado este proceso se obtiene una base de datos diaria de todas las variables que se utilizan posteriormente con los modelos de regresión estadística.

De todos los modelos estadísticos evaluados, se encontraron relaciones significativas para muertes por causa cardiovascular para MP10 y MP2,5. Sin embargo, no se encontraron modelos estadísticamente significativos que relacionaran las muertes por causas respiratorias con estos contaminantes. Al igual que en el caso anterior, en los modelos de ingresos hospitalarios se observan resultados estadísticamente significativos para las enfermedades cardiovasculares, pero no para las enfermedades respiratorias.

El estudio también estima los potenciales beneficios sobre la salud ante la reducción en la contaminación por material particulado. En el caso de reducción en las enfermedades, se utiliza el enfoque del costo evitado al costear los días cama más la consulta médica para cada enfermedad, mientras para la valoración de la reducción en la probabilidad de muerte se utiliza el valor medio por vida estadística utilizado en el "AGIES de la norma de calidad del aire por MP2,5".

La población expuesta considerada corresponde a los habitantes de la comuna de Talca y Maule, pero el segmento más afectado por los efectos de la contaminación de material particulado fino y respirable corresponden a personas mayores de 65 años que alcanzan según proyecciones basadas en datos del INE a 39.158 personas para el año 2014.

Los coeficientes Concentración-Respuesta utilizados corresponden a los efectos del MP2,5 sobre la mortalidad y morbilidad de las funciones estimadas para las personas mayores a 65 años en Talca y Maule entre los años 2004 y 2008. Mientras las tasas de efectos base en salud que son proyectadas en Talca y Maule son calculadas a partir de los datos de mortalidad y morbilidad asociados a enfermedades respiratorias y cardiovasculares a partir de las estadísticas del Ministerio de Salud.

Con todos estos antecedentes se utiliza el método de la función de daño, es decir, se evalúa cómo la reducción de las emisiones de MP2,5 a través de las distintas medidas

presentadas en este informe, por medio de los factores de emisión- concentración (FEC). Se utilizan las potenciales reducciones en concentraciones de MP2,5, las cuales a su vez, permiten cuantificar el número de enfermedades y muertes evitadas, para finalmente determinar el beneficio en términos económicos.

Los beneficios para la salud totales para cada uno de los escenarios planteados en el informe se presentan a continuación. Si se consideran los coeficientes C-R locales el VAN social asociado al escenario de cumplimiento de plan alcanza un valor de \$13.730 millones, mientras el VAN social asociado al escenario pasivo un valor de \$7.584 millones. En el escenario agresivo, los beneficios totales en salud generan un VAN social de \$19.829 millones. Si se consideran los coeficientes C-R basados en estudios internacionales el VAN social de los beneficios en salud asociado al escenario de cumplimiento de plan alcanza un valor de \$767.856 millones, mientras el VAN social asociado al escenario pasivo un valor de \$425.702 millones, finalmente en el escenario agresivo los beneficios totales en salud generan un VAN social de \$1.115.060 millones. Cabe destacar que estos beneficios son directos en salud, y no consideran otros posibles beneficios indirectos para la población, los cuales si bien es cierto aumentarían el beneficio de la descontaminación, no son tan significativos en su valoración económica como los costos evitados en salud.

Los aportes específicos que tiene cada medida sobre los beneficios totales en salud varían de acuerdo al escenario propuesto, pero en términos generales se puede señalar que las medidas CEQUIPOS, PROHIBLENA, NEQUIPOS, RLEÑA, TERMICOANT y TERMICONUE son las más relevantes. En el escenario agresivo la medida SUBSGAS se torna muy importante y cambia el peso relativo de las medidas anteriormente evaluadas.

Específicamente, las medidas con potencial reducción evaluadas en el informe y los organismos responsables de su implementación, coordinación y fiscalización son las siguientes:

TABLA 12. RESUMEN DE MEDIDAS PROPUESTAS PARA EL ANTEPROYECTO DEL PDA DE TALCA Y MAULE

N°	Nombre	Descripción	Actividad y Contaminantes Afectados
1	NEQUIPOS	Exigencia en el cumplimiento de norma de emisión (D.S. N° 39/2011) para calefactores nuevos de combustión a leña.	<p>Actividad: residencial</p> <p>Contaminantes: MP10, MP2,5, SO₂, CO y COV</p> <p>Potencial máximo de reducción: 4,4% de total MP10 y 6,2% de total MP2,5</p> <p>Organismo responsable: <i>Implementación:</i> Seremi MMA <i>Coordinación:</i> Seremi MMA <i>Fiscalización:</i> - Municipalidades de Talca y Maule - Esta norma la fiscaliza la SEC Art. 5° DS 39/2011 y Ley 18.410 Art. 3°</p>

CONTINUACIÓN TABLA 12...

N°	Nombre	Descripción	Actividad y Contaminantes Afectados
2	RLEÑA	Regular el mercado de la leña en las zonas circundantes a las comunas de Talca y Maule para dar cumplimiento a la NCh 2907 del INN (leña seca) y dar cumplimiento a la ordenanza de leña para la comuna de Talca.	<p>Actividad: residencial, comerciantes y productores de leña</p> <p>Contaminantes: MP10, MP2,5, CO y COV</p> <p>Potencial máximo de reducción: 2,5% de total MP10 y 5,6% de total MP2,5</p> <p>Organismo responsable: <i>Implementación:</i> Municipalidad de Talca y Maule <i>Coordinación:</i> Seremi de MMA <i>Fiscalización:</i> - Seremi de Salud - Carabineros, y SII - CONAF. - Se sugiere la SEC.</p>
3	CEQUIPOS	Recambio de calefactores a leña antiguos por nuevos equipos más limpios de parte del Estado. Se evaluarán equipos que cumplen con el D.S.N° 39/2011 vs equipos a pellets.	<p>Actividad: residencial</p> <p>Contaminantes: MP10, MP2,5, CO y COV</p> <p>Potencial máximo de reducción: 19,4% de total MP10 y 27,6% de total MP2,5</p> <p>Organismo responsable: <i>Implementación y coordinación:</i> Seremi MMA <i>Fiscalización:</i> Esta norma la fiscaliza la SEC Art. 5° DS 39/2011 y Ley 18.410 Art. 3 <i>Financiamiento:</i> FNDR</p>
4	PCHIMENEAS	Prohibición de uso de chimeneas abiertas en zona urbana.	<p>Actividad: residencial</p> <p>Contaminantes: MP10, MP2,5, SO₂, CO y COV</p> <p>Potencial máximo de reducción: 0,6% de total MP10 y 0,7% de total MP2,5</p> <p>Organismo responsable: <i>Implementación y coordinación:</i> Seremi MMA <i>Fiscalización:</i> Seremi Salud - Inspectores municipales - Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) - Denuncias ciudadanas</p>

CONTINUACIÓN TABLA 12...

N°	Nombre	Descripción	Actividad y Contaminantes Afectados
5	CONGEQUIPOS	Se prohíbe la comercialización e instalación de nuevos calefactores a biomasa a menos que sean equipos a pellets.	Actividad: residencial Contaminantes: MP10, MP2,5, SO ₂ , CO y COV Potencial máximo de reducción: 0,7% de total MP10 y 1,0% de total MP2,5 Organismo responsable: <i>Implementación y coordinación:</i> Seremi MMA <i>Fiscalización:</i> Seremi Salud - SMA
6	PROHIBLEÑA	Restricción de uso para todo artefacto a leña en cualquier episodio crítico de contaminación por MP2,5. - Emergencia: Restricción total a partir del año inicial del PDA - Preemergencia: Restricción total a partir del 3er año del PDA	Actividad: residencial Contaminantes: MP10, MP2,5, SO ₂ , CO y COV Potencial máximo de reducción: 3,0% de total MP10 y 4,2% de total MP2,5. Organismo responsable: <i>Implementación y coordinación:</i> Seremi MMA <i>Fiscalización:</i> Seremi Salud - SMA
7	TERMICOVIV	Mejoramiento térmico de las viviendas nuevas y existentes.	Actividad: residencial Contaminantes: MP10, MP2,5, SO ₂ , CO y COV Potencial máximo de reducción: 2,8% y 2,4% de total MP10 y 4,0% y 3,7% de total MP2,5, para existentes y nuevas, respectivamente. Organismo responsable: <i>Implementación y coordinación:</i> Seremi MINVU <i>Fiscalización:</i> - SMA
8	TERMICOPLUS	Elevar el estándar de aislación térmica para nuevos proyectos inmobiliarios por sobre los requerimientos actuales como medida de compensación de los nuevos proyectos inmobiliarios.	Actividad: construcción Contaminantes: MP10 y MP2,5 Potencial máximo de reducción: 0,3% de total MP10 y 0,5% de total MP2,5. Organismo responsable: Seremi MINVU y Seremi MMA

CONTINUACIÓN TABLA 12...

N°	Nombre	Descripción	Actividad y Contaminantes Afectados
9	NORMAIND	Establecimiento de límites de emisión para calderas y hornos industriales que se encuentran operando dentro de la zona declarada saturada	<p>Actividad: Industrial</p> <p>Contaminantes: MP10, MP2,5, NOx y SOx</p> <p>Potencial máximo de reducción: 6,0% de total MP10 y 6,4% de total MP2,5.</p> <p>Organismo responsable: <i>Implementación:</i> Seremi MMA <i>Coordinación:</i> Seremi Salud <i>Fiscalización:</i> - SMA</p>
10	COMPEMIND	Las nuevas emisiones de MP deben ser compensadas en un 120%.	<p>Actividad: Industrial</p> <p>Contaminantes: MP10 y MP2,5</p> <p>Potencial máximo de reducción: 3,8% de total MP10 y 4,0% de total MP2,5.</p> <p>Organismo responsable: <i>Implementación y Coordinación:</i> Seremi MMA <i>Fiscalización:</i> - SMA</p>
11	EMINDFUG	Incorporación de medidas para reducir y minimizar emisiones fugitivas e implementar un programa de buenas prácticas de operación.	<p>Actividad: Industrial</p> <p>Contaminantes: MP10 y MP2,5</p> <p>Potencial máximo de reducción: ya incorporadas en COMPEMIND.</p> <p>Organismo responsable: <i>Implementación y Coordinación:</i> Seremi MMA <i>Fiscalización:</i> SMA</p>
12	SUBSGAS	Subsidio al precio del gas, con el objetivo de reducir la penetración de la leña elevando su precio relativo por kilocaloría.	<p>Actividad: residencial</p> <p>Contaminantes: MP10, MP2,5, SO₂, CO y COV</p> <p>Potencial máximo de reducción: 8,0% de total MP10 y 11,4% de total MP2,5.</p> <p>Organismo responsable: <i>Implementación:</i> Seremi MMA <i>Coordinación:</i> Seremi MMA y FNDR (financiamiento). <i>Fiscalización:</i> - SMA</p>

CONTINUACIÓN TABLA 12...

N°	Nombre	Descripción	Actividad y Contaminantes Afectados
13	SUBCALALT	Subsidio a equipos con tecnologías de combustión alternativas del tipo ERNC. Esta medida apunta a un programa piloto que puede eventualmente sustituir a CEQUIPOS si los equipos comercializados no pueden cumplir factores de emisión establecidos en el D.S.N° 39/2011.	<p>Actividad: residencial</p> <p>Contaminantes: MP10, MP2,5, SO₂, CO y COV</p> <p>Potencial máximo de reducción: 1,6% de total MP10 y 2,3% de total MP2,5.</p> <p>Organismo responsable: Se sugiere y <i>Implementación y Coordinación</i>: Seremi MMA Financiamiento: FNDR <i>Fiscalización</i>: SMA (Se sugiere como organismo Subprogramado a la SEC)</p>
14	TRANSPUB	Establecimiento de condiciones mínimas para que buses presten servicio, incentivo para ingreso de buses con filtro de partículas-y/o norma Euro V.	<p>Actividad: transporte</p> <p>Contaminantes: MP10, MP2,5, SO₂, CO, NOX y NH₃</p> <p>Potencial máximo de reducción: 0,0% de total MP10 y 0,0% de total MP2,5.</p> <p>Organismo responsable: <i>Implementación y coordinación</i>: Seremi Transporte <i>Fiscalización</i>: La Municipalidad al controlar los permisos de circulación / SMA.</p>
15	TRANSCARGA	Programa voluntario de retiro de camiones antiguos que carecen de sistemas de certificación de emisiones, a través de la utilización de distintos fondos públicos. Fiscalizar el cumplimiento de normativa que impide circulación de camiones con más de 28 años. Establecimiento de norma para camiones nuevos que cumplan con estándar Euro V o filtros de partículas.	<p>Actividad: transporte</p> <p>Contaminantes: MP10, MP2,5, SO_x, CO, NOX y NH₃</p> <p>Potencial máximo de reducción: 0,0% de total MP10 y 0,0% de total MP2,5.</p> <p>Organismo responsable: <i>Implementación y coordinación</i>: Seremi Transporte <i>Fiscalización</i>: La Municipalidad al controlar los permisos de circulación /SMA</p>

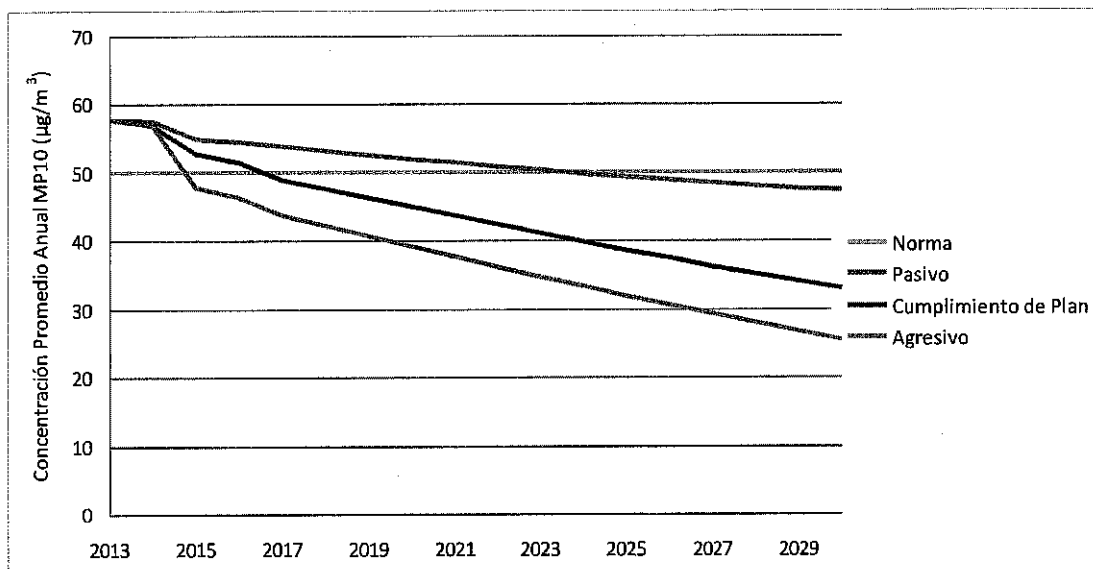
CONTINUACIÓN TABLA 12...

N°	Nombre	Descripción	Actividad y Contaminantes Afectados
16	PAVIMENFUG	Pavimentación de calles para evitar emisiones fugitivas de MP10	Actividad: transporte Contaminantes: MP10 y MP2,5 Potencial máximo de reducción: 20,9% de total MP10 y 3,1% de total MP2,5. Organismo responsable: <i>Implementación y Coordinación:</i> MOP y el MINVU <i>Financiamiento:</i> FNDR Fiscalización: SMA
17	PQUEMAS	Prohibición de quemas agrícolas y forestales en toda la zona saturada	Actividad: productores agrícolas Contaminantes: MP10, MP2,5, SO ₂ , CO, NOx y COV Potencial máximo de reducción: 4,5% de total MP10 y 5,5% de total MP2,5. Organismo responsable: <i>Implementación:</i> SAG <i>Coordinación:</i> CONAF <i>Fiscalización:</i> CONAF y Carabineros de Chile/ SMA
18	AREASVERDES	Elevar estándar de m ² de áreas verdes por habitante para nuevos proyectos inmobiliarios. Aumento y mantenimiento de áreas verdes públicas.	Actividad: construcción y municipios Contaminantes: MP10 y MP2,5 Potencial máximo de reducción: 1,0% de total MP10 y 0,1% de total MP2,5. Organismo responsable: <i>Implementación:</i> MINVU <i>Coordinación:</i> Municipalidades Fiscalización: SMA <i>Financiamiento:</i> FNDR.

Fuente: Elaboración Propia

A partir de los antecedentes generados con la actualización del inventario de emisiones y algunos supuestos sobre su evolución temporal se establece un escenario base, el cual contempla la situación proyectada sin la existencia del Plan, y adicionalmente se generan tres escenarios (cumplimiento de plan, pasivo y agresivo) con su correspondiente potencial de reducción de emisiones producto de las medidas implementadas en el Plan. Así, es posible simular las emisiones totales bajo cada escenario para determinar a través de los FEC modelados por tipo de fuente el nivel final de las concentraciones de material particulado respirable (MP10) y fino (MP2,5).

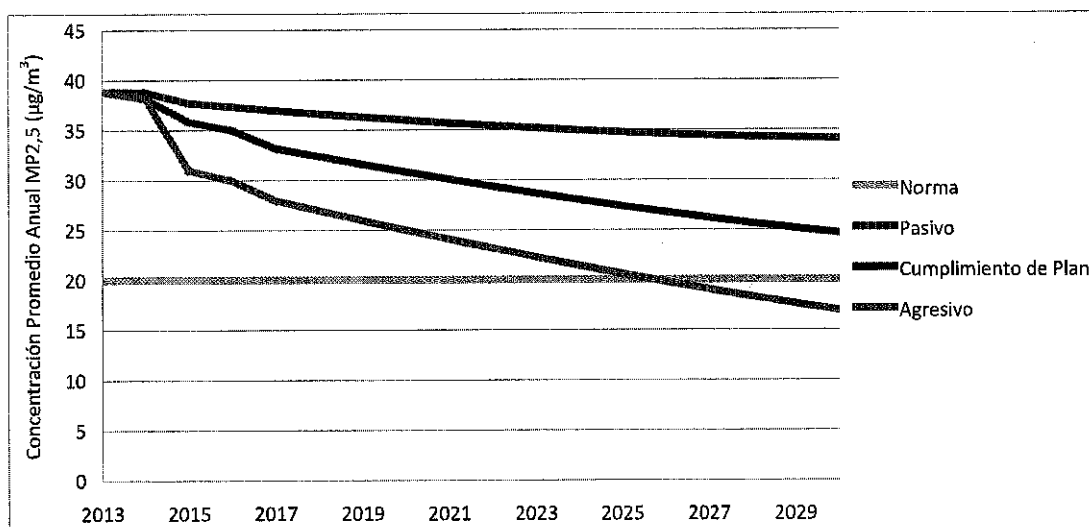
Los resultados para la contaminación por MP10 muestran que las medidas incluidas en los escenarios cumplimiento de plan y agresivo permitirían salir de la condición de saturación y latencia para este contaminante.



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 10. NIVEL DE CONCENTRACIONES ANUALES DE MP10 EN LOS TRES ESCENARIOS CONSIDERADOS

Sin embargo, para la contaminación por MP2,5 los resultados muestran que solo bajo un escenario agresivo se podría cumplir con la norma para este contaminante.



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 11. NIVEL DE CONCENTRACIONES ANUALES DE MP2,5 EN LOS TRES ESCENARIOS CONSIDERADOS

Independientemente del contaminante analizado las medidas enfocadas al consumo residencial de leña como el cambio de equipos y subsidio al gas, aportan significativamente a la reducción de los niveles de concentración de MP10 y MP2,5 en la zona de Talca y Maule. La medida asociada a la pavimentación de calles es relevante para reducir el MP10 pero no en el caso del MP2,5. La prohibición del uso de leña en episodios de emergencia y preemergencia, el aislamiento térmico de viviendas nuevas y antiguas, así como también, la norma nacional de emisión de calefactores a leña tienen efectos relevantes para la reducción de concentraciones de MP2,5. El resto de las medidas evaluadas aportan de forma marginal a la reducción de concentraciones. En el caso de la medida SUBALTCAL su bajo aporte es simplemente porque el programa piloto en todo el horizonte de evaluación incluye un número de equipos con nuevas tecnologías de calefacción muy inferior al recambio propuesto en CEQUIPOS. Por lo anterior, los mayores esfuerzos de cumplimiento y fiscalización deberían concentrarse principalmente en las medidas CEQUIPOS, SUBSGAS, PAVIMENFUG, NEQUIPOS, TERMICONUE y TERMICOANT.

Una vez obtenido el impacto en la reducción de las concentraciones de MP10, se procede a evaluar la costo-efectividad de las medidas incorporadas en el análisis, es decir, \$MM por tonelada de MP10 reducida y \$MM por tonelada de MP2,5. Lo cual permite ayudar a establecer una priorización de las medidas basada en indicadores económicos. Los resultados para el año final de evaluación 2030 se presentan en las siguientes tablas.

TABLA 13. COSTO EFECTIVIDAD DE LAS MEDIDAS DE REDUCCIÓN DE MP10 PROPUESTAS AL AÑO 2030

Indicador	Total Reducción toneladas de MP10	Costo MM\$/ton MP10
NEQUIPOS	120,9	0,0 (no atribuible al plan)
RLEÑA	41,7 (esc. cumplimiento de plan)	0,3
CEQUIPOS	450,0	3,5
PCHIMENEAS	16,3	3,2
CONGEQUIPOS	19,1	35,3
PROHIBLEÑA	82,1	35,0
TERMICOVIV ANT	77,0	6,2
TERMICOVIV NUE	67,5	4,8
TERMICOPLUS	9,0	25,0
NORMAIND	165,6	29,0
COMPEMIND	105,2	4,3
EMINDFUG	Incluidas en COMPEMIND	Incluido en COMPEMIND
TRANSPUB	0,7	0,0 (no atribuible al plan)
TRANSCARGA	0,7	0,0 (no atribuible al plan)
SUBSGAS	221,0 (esc. agresivo)	28,5
SUBCALALT	45,1	7,1
PQUEMAS	226,1	217,6
AREASVERDES	31,7	8,8
PAVIMENFUG	577,9	18,5

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 14. COSTO EFECTIVIDAD DE LAS MEDIDAS DE REDUCCIÓN DE MP2,5 PROPUESTAS AL AÑO 2030

Indicador	Total Reducción toneladas de MP2,5	Costo MM\$/ton MP2,5
NEQUIPOS	117,7	0,0 (no atribuible al plan)
RLEÑA	63,7 (esc. cumplimiento de plan)	0,2
CEQUIPOS	438,2	3,6
PCHIMENEAS	13,5	3,8
CONGEQUIPOS	18,6	36,3
PROHIBLEÑA	79,8	36,1
TERMICOVIV ANT	74,8	6,4
TERMICOVIV NUE	69,5	4,9
TERMICOPLUS	8,8	25,7
NORMAIND	121,3	39,5
COMPEMIND	75,2	4,5
EMINDFUG	Incluidas en COMPEMIND	Incluido en COMPEMIND
TRANSPUB	0,5	0,0 (no atribuible al plan)
TRANSCARGA	0,5	0,0 (no atribuible al plan)
SUBSGAS	214,8 (esc. agresivo)	29,3
SUBCALALT	43,8	7,3
PQUEMAS	191,5	256,8
AREASVERDES	1,4	194,8
PAVIMENFUG	57,8	185,3

Fuente: Elaboración Propia

Una vez jerarquizados los indicadores de costo efectividad, se establece que las medidas implementadas a nivel nacional (NEQUIPOS, TRANSPUB y TRANSCARGA) que tienen potencial de reducción pero cuyos costos no son atribuibles al plan en el momento de ejecutarse modifican el escenario base.

La jerarquización de las medidas atribuibles al plan basándose en el índice de costo efectividad del MP2,5 (se escoge este indicador porque como se vio anteriormente en los distintos escenarios generados es para este contaminante que es más difícil cumplir la normativa vigente) permite concluir que aquellas asociadas a la combustión de leña en los hogares como RLEÑA, CEQUIPOS y PCHIMENEAS son las más atractivas en términos de costo efectividad, les sigue la medida COMPEMIND asociada a las fuentes industriales, y después vuelven a aparecer como atractivas otras medidas enfocadas al consumo de leña residencial como TERMICOVIV NUE, TERMICOVIV ANT o SUBCALALT, sin embargo otras medidas enfocadas a hogares como TERMICOPLUS, SUBSGAS y PROHIBLEÑA presentan indicadores mucho mayores. Luego, de la medida NORMAIND el conjunto de medidas restantes PAVIMENFUG, AREASVERDES y PQUEMAS presentan un incremento muy significativo en los indicadores de costo efectividad para el MP2,5.

El ordenamiento de las medidas basada en los indicadores de costo-efectividad se modifican levemente para el contaminante MP10. Especialmente, en el caso de las medidas AREASVERDES y PAVIMENFUG, las cuales se vuelven más atractivas dadas que son más eficientes para reducir la fracción gruesa del MP10.

Los beneficios sociales de cada una de las medidas propuestas incluyen el menor riesgo por mortalidad y morbilidad. Estos beneficios en salud son estimados con la metodología de la función de daño. Los resultados arrojan que las medidas CEQUIPOS, PROHIBLEÑA, NEQUIPOS, RLEÑA, TERMICOANT y TERMICONUE son las que más aportan beneficios. En el escenario agresivo la medida SUBSGAS se torna muy importante y cambia el peso relativo de las medidas anteriormente mencionadas. Las medidas NORMAIND, PAVIMENFUG y PCHIMENEAS tienen un aporte menor respecto a las medidas previas, pero su aporte también es relevante. La medida SUBCALALT tiene un aporte menor pero esto es debido a que solo involucra un programa piloto.

TABLA 15. APORTE RELATIVO DE CADA MEDIDA A LOS BENEFICIOS EN SALUD

Medidas	Escenarios		
	Cumpl. Plan	Pasivo	Agresivo
NEQUIPOS	10,7%	19,3%	7,4%
CEQUIPOS	40,7%	24,5%	33,2%
PCHIMENEAS	2,2%	4,0%	1,5%
RLEÑA	7,8%	10,4%	8,0%
TERMICOANT	7,0%	12,7%	4,8%
TERMICONUE	6,7%	12,1%	4,6%
PROHIBLEÑA	11,5%	0,0%	8,1%
CONGEQUIPOS	1,7%	0,0%	1,2%
TERMICOPLUS	0,8%	1,5%	0,6%
SUBSGAS	0,0%	0,0%	23,0%
SUBCALALT	1,3%	2,4%	0,9%
NORMAIND	3,4%	6,3%	2,4%
COMPEMIND	1,1%	2,1%	0,8%
TRANSCARGA	0,0%	0,1%	0,0%
TRANSPUB	0,0%	0,1%	0,0%
PQUEMAS	0,9%	0,8%	0,6%
PAVIMENFUG	4,2%	3,9%	3,0%
AREAVERD	0,1%	0,1%	0,0%

Fuente: Elaboración Propia

Además de los beneficios en salud se pueden estimar mejoras en la visibilidad con un monto estimado de 5.792 millones en el escenario cumplimiento de plan, 3.232 millones en el escenario pasivo y 7.717 millones en el escenario agresivo.

Finalmente, al combinar los antecedentes de costos y beneficios anteriormente documentados es posible determinar el VAN social de cada una de las medidas propuestas en el PDATM. Los resultados se presentan en la siguiente tabla resumen.

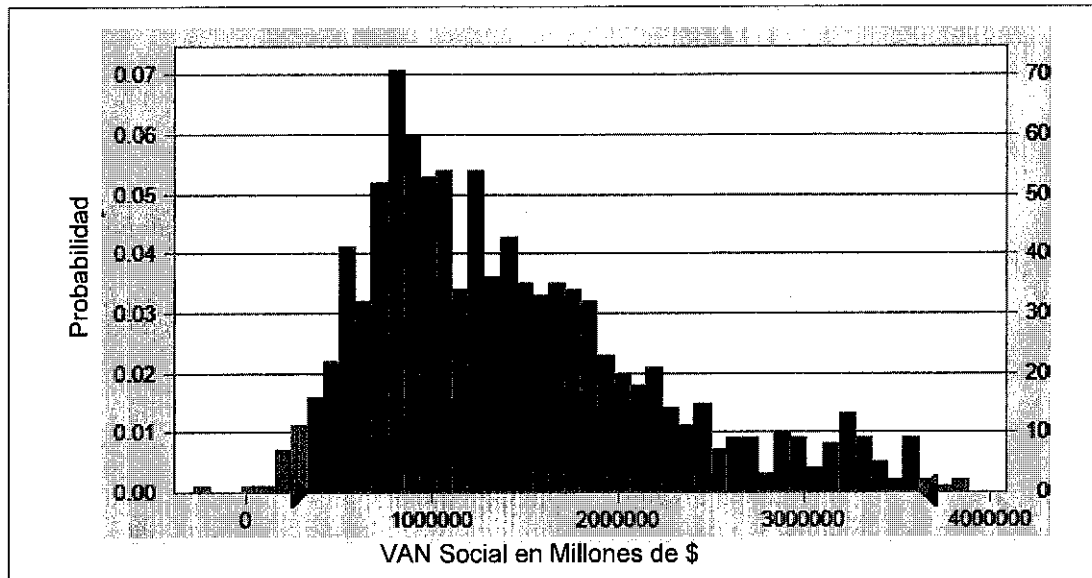
TABLA 16. VAN SOCIAL DE LAS MEDIDAS DEL PDATM ESCENARIO AÑO 2013

Escenario	Esc. Cumplimiento de Plan (\$MM año 2013)			Esc. Pasivo (\$MM año 2013)			Esc. Agresivo (\$MM año 2013)		
	Beneficios	Costos	Beneficios Netos	Beneficios	Costos	Beneficios Netos	Beneficios	Costos	Beneficios Netos
NEQUIPOS	82.489	0	82.489	82.487	0	82.487	82.489	0	82.489
RLEÑA	60.307	70	60.237	44.560	46	44.513	90.014	92	89.923
CEQUIPOS	313.921	9.052	304.869	104.637	3.017	101.620	372.426	7.046	365.381
PCHIMENEAS	17.338	495	16.843	17.337	495	16.842	17.338	495	16.843
CONGEQUIPOS	12.787	2.846	9.942	0	0	0	13.040	2.846	10.195
PROHIBLEÑA	88.986	22.047	66.939	0	0	0	90.513	22.047	68.465
TERMICOVIVNUE	51.946	1.543	50.403	51.945	1.543	50.402	51.946	1.543	50.403
TERMICOVIVANT	54.261	2.076	52.186	54.260	2.076	52.184	54.261	2.076	52.186
TERMICOPLUS	6.112	821	5.291	6.233	821	5.412	6.233	821	5.412
COMPEMIND	8.793	1.351	7.442	8.969	1.351	7.618	8.969	1.351	7.618
EMINDFUG	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NORMAIND	26.395	45.728	-19.333	26.823	45.728	-18.905	26.824	45.728	-18.903
SUBGAS	0	0	0	0	0	0	257.613	51.410	206.203
SUBCALALT	10.474	3.039	7.434	10.471	3.039	7.432	10.474	3.039	7.434
TRANSPUB	336	0	336	342	0	342	342	0	342
TRANSCARGA	339	0	339	346	0	346	346	0	346
PQUEMAS	7.071	155.762	-148.692	3.605	77.881	-74.277	7.209	155.762	-148.553
AREASVERDES	599	625	-25	610	625	-15	610	625	-14
PAVIMENFUG	34.297	6.006	28.290	17.461	6.006	11.454	34.931	6.006	28.925
Costos Regulador		11.128	-11.128		11.128	-11.128		11.128	-11.128
Total	776.453	262.589	513.863	430.084	153.757	276.327	1.125.580	312.014	813.567

Fuente: Elaboración Propia

Al agregar todas las medidas se obtiene un VAN social de los beneficios netos para cada escenario. El escenario cumplimiento de plan arroja el VAN social de \$513,9 mil millones, el escenario pasivo entrega un VAN social de \$276,3 mil millones, y el escenario agresivo entrega un VAN social de \$813,6 mil millones.

Para evaluar la robustez de la evaluación económica se incluye un análisis de sensibilización y simulación de Montecarlo, demostrando la conveniencia económica de llevar a cabo el PDATM en su escenario agresivo. El análisis de Monte Carlo consideró las variables de valor de vida estadística con una distribución triangular entre los rangos de 8600 UF y 31600 UF (Fuente: GreenLab DICTUC, 2012), C-R de la mortalidad y enfermedades con una distribución normal con media y desviación estándar igual al C-R citado en el respectivo estudio del cual es extraído, el valor de la disposición a pagar por visibilidad con una distribución normal y la tasa de descuento social con una distribución uniforme entre 0% y 12%.



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 12. SIMULACIÓN DE MONTECARLO VAN SOCIAL ESCENARIO AGRESIVO

El intervalo de confianza al 95% del VAN social de todas las medidas del PDATM para el escenario agresivo está entre \$354.695 millones y \$3.597.923 millones. Así, este análisis demuestra que los resultados de la conveniencia económica de llevar a cabo el PDATM en su escenario agresivo son robustos a los distintos supuestos simulados por lo que se recomienda su implementación.

Conclusiones y Recomendaciones

Las comunas de Talca y Maule enfrentan problemas de altas concentraciones de material particulado respirable y material particulado fino, las cuales pueden atribuirse principalmente a las emisiones generadas por fuentes residenciales por la combustión de leña para calefacción (46,7% de MP10 y 75,6% de MP2,5), así como también, a fuentes fijas (9,0% de MP10 y 10,7% de MP2,5), quemas agrícolas (3,2% de MP10 y 4,6% de MP2,5) y fuentes móviles (1,6% de MP10 y 2,1% de MP2,5).

La población afectada por esta contaminación se aproxima a los 280 mil habitantes, por lo cual la autoridad ambiental deberá implementar un Plan de Descontaminación Ambiental para las comunas de Talca y Maule (PDATM) en el cual se incluya una serie de medidas con el fin de controlar las emisiones de material particulado de las distintas fuentes involucradas.

A partir de este estudio se concluye que se requiere un compromiso del Estado, hogares y diversos sectores productivos, con el fin de colaborar y asumir los costos que involucra el mejoramiento de la calidad del aire en las zonas urbanas de las comunas de Talca y Maule. Las fuentes industriales y comerciales deberán asumir los costos de instalación y operación de

distintas tecnologías de abatimiento y/o cambios en el combustible, o bien compensar emisiones para cumplir con la normativa. Los predios agrícolas deben internalizar los costos de producción evitando las quemas para el control de heladas y/o deshacerse de desechos. Por otra parte, los hogares que utilizan artefactos a leña enfrentarán nuevas normas y prohibiciones, pero además, existirán subsidios para cambio de equipos, combustibles y el mejor aislamiento térmico de las viviendas. Por ello, los costos se distribuirán entre el Estado y los hogares para abordar esta problemática. Además, el Estado deberá incurrir en costos asociados a la regulación y adecuada fiscalización de las medidas propuestas en el PDATM.

La evaluación del impacto de las emisiones de cada grupo de fuentes sobre las concentraciones en la zona de Talca y Maule fue estimada con un modelo de dispersión, el cual permitió generar factores de emisión-concentración para cada fuente según su localización geográfica. Esto permitió determinar el impacto en las concentraciones ambientales debido a una reducción en las emisiones a partir de las medidas incorporadas en el PDATM. De este modo, se concluyó que las medidas con mayor potencial de reducción de emisiones y concentraciones de MP10 son CEQUIPOS, PAVIMENFUG, SUBSGAS y NEQUIPOS, otras medidas que aportan son NORMAIND, COMPEMIND, TERMICOANT, TERMICONUE, PROHIBLEÑA y RLEÑA. En el caso del MP2,5, los resultados difieren ya que la medida CEQUIPOS se transforma por lejos en la más relevante para reducir las emisiones y concentraciones del material particulado fino, mientras la medida PAVIMENFUG es desplazada por otras medidas con mayor efectividad en la reducción de este contaminante; por ejemplo, SUBSGAS, SUBCALALT, NEQUIPOS, PROHIBLEÑA, TERMICO ANTIG, TERMICO NUEVA y RLEÑA.

Las medidas enfocadas al sector industrial, transporte y prohibición de quemas agrícolas aportan de forma marginal a la solución del problema en la zona de estudio. Cabe señalar, que si los equipos a leña disponibles en el mercado no son capaces de cumplir la norma del D.S. N° 39/2011 del MMA bajo condiciones normales de operación, entonces debería existir un flujo de recursos desde CEQUIPOS a otras medidas con mayor potencial de reducción, entre ellas; PROHIBLEÑA, SUBSGAS y SUBCALALT.

A partir del aporte a la reducción de concentraciones se puede concluir que sólo a través de la implementación de medidas bajo un escenario agresivo es posible cumplir la norma anual de concentraciones para el contaminante del aire MP2,5.

Para poder optimizar este escenario es importante identificar las medidas más atractivas en términos de costo-efectividad. Los resultados arrojan que las medidas con menor costo por tonelada reducida (\$MM/ ton) están asociadas a la combustión de leña en los hogares como RLEÑA, CEQUIPOS y PCHIMENEAS, les sigue la medida COMPEMIND asociada a las fuentes industriales, y después vuelven a aparecer como atractivas otras medidas enfocadas a reducir el consumo de leña residencial, como TERMICOVIV NUE, TERMICOVIV ANT o SUBCALALT. No obstante, algunas medidas enfocadas a hogares como TERMICOPLUS, SUBSGAS y PROHIBLEÑA presentan indicadores significativamente mayores. Después de la medida NORMAIND, el conjunto de medidas restantes PAVIMENFUG, AREASVERDES y PQUEMAS presentan un incremento muy significativo en los indicadores de costo-efectividad para MP2,5.

A partir de estos resultados, podemos señalar que el PDATM debe llevarse a cabo en su versión más exigente (escenario agresivo). Además, es recomendable reasignar las regulaciones industriales, agrícolas y polvo en suspensión de calles no pavimentadas a aquellas

relacionadas con la combustión de leña residencial, dado que tienen menores costos y mayor impacto sobre las concentraciones en los receptores. El escenario agresivo es el único que asegura que en promedio las concentraciones cumplan con la normativa en un horizonte hasta el año 2030, periodo final de evaluación del AGIES.

El cumplimiento de las normas primarias de calidad del aire, no sólo implica costos sino que también genera beneficios económicos asociados a la reducción de mortalidad, morbilidad y mejoras en visibilidad para los habitantes de Talca y Maule. Esto se atribuye a una menor exposición a concentraciones de material particulado respirable y fino, y para el caso de la visibilidad, a un menor efecto de atenuación de la luz (dispersión + extinción) lo que se traduce en pérdida del valor paisajístico. Por lo que la evaluación social de todos los beneficios económicos en salud y visibilidad, así como también los costos de implementación, regulación y fiscalización de cada una de las medidas evaluadas en el AGIES arroja que el VAN social del PDATM en el escenario agresivo es \$813,6 mil millones. Para contrastar este resultado, se consideran otros dos escenarios menos restrictivos, uno llamado escenario pasivo que arroja un VAN social de \$276,3 mil millones y un escenario cumplimiento de plan que genera un VAN social de \$513,9 mil millones. Finalmente, los resultados de la evaluación económica son robustos al análisis de sensibilización y simulación de Montecarlo a un nivel de confianza del 95%.