

**INFORME FINAL DE TRABAJO N° 2008-279**

**“CONSULTORÍA ANÁLISIS ECONÓMICO Y SOCIAL DE  
POSIBLES MEDIDAS A INCORPORAR EN EL PLAN DE  
DESCONTAMINACIÓN DEL VALLE CENTRAL DE LA  
REGIÓN DE O’HIGGINS”**

**EQUIPO DE TRABAJO**

Jefe de Proyecto  
Cristian Mardones, M. Sc. Ph. D(c)

Investigadores  
Cristian Mardones, M. Sc. Ph. D(c)  
Jorge Jiménez, M. Sc. Ph. D

Este documento debe citarse:

Mardones, C., J. Jiménez (2008). “Análisis Económico y Social de Posibles Medidas a Incorporar en el Plan de Descontaminación Valle Central Región de O’Higgins “, Informe Final, IIT de la Universidad de Concepción - CONAMA.



## INDICE

INDICE .....	2
1. ANTECEDENTES PRELIMINARES.....	3
2. DESCRIPCIÓN SOCIOECONÓMICA ZONA RELEVANTE.....	5
2.1. Zona Económica de Estudio.....	5
2.2. Uso de Suelos.....	6
2.3. Población.....	6
2.4. Actividad Económica Regional .....	7
2.5. Exportaciones Regionales.....	9
2.6. Actividad Económica de la Zona Saturada .....	10
3. ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA ZONA SATURADA.....	13
3.1. Análisis de la Emisiones en la Zona Saturada .....	13
3.2. Modelación de Concentraciones.....	16
3.3. Análisis Temporal de las Concentraciones de MP10 .....	17
3.4. Alcance sobre la Meta Global de Reducción de Emisiones.....	18
3.5. Medidas Propuestas para la Reducción de Emisiones.....	19
3.6. Evaluación Crítica de Medidas Propuestas para la Reducción de Emisiones.....	21
4. PRIORIZACIÓN DE MEDIDAS PROPUESTAS (REDUCCIÓN DE EMISIONES, ASPECTOS JURÍDICOS, INSTITUCIONES RESPONSABLES, COSTOS, OTROS) Y SUS OPCIONES DE REGULACIÓN.....	29
4.1. Aspectos Jurídicos e Instituciones Responsables para las Principales Medidas Consideradas .....	30
4.2. Reducción de Emisiones y Costos para las Principales Medidas Consideradas.....	32
4.3. Propuesta de Medida Adicional No Económica.....	38
5. PROPUESTA DE APLICABILIDAD DE INSTRUMENTOS ECONÓMICOS Y HERRAMIENTAS DE GESTIÓN AMBIENTAL.....	39
5.1. Instrumentos Económicos .....	40
5.2. Aspectos Legales y Administrativos de los Instrumentos Económicos .....	41
6. ANTECEDENTES PARA LA ESTIMACIÓN DEL IMPACTO SOCIAL Y ECONÓMICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS PRINCIPALES INSTRUMENTOS, PROGRAMAS ESTRATÉGICOS Y MEDIDAS DEL PLAN .....	44
7. EVALUACIÓN DE COSTOS Y BENEFICIOS SOCIALES DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN .	45
7.1. Estimación de Costos para los Agentes Regulados.....	45
7.2. Estimación de Costos para el Regulador.....	46
7.3. Estimación de Beneficios .....	47
8. REALIZAR RECOMENDACIONES DE IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN EN BASE A LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO .....	53
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	58

## 1. ANTECEDENTES PRELIMINARES

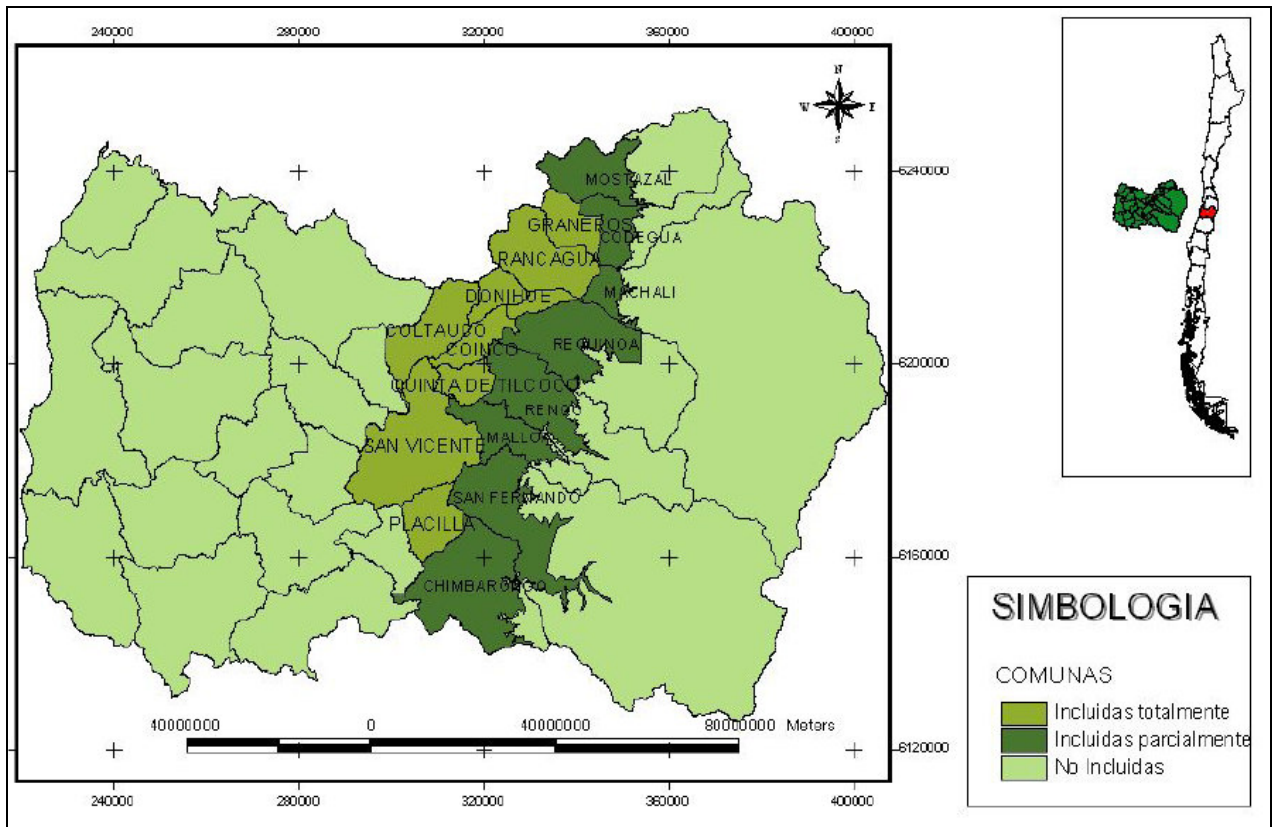
La región de O'Higgins posee actualmente 11 estaciones de monitoreo de Calidad del Aire, que se encuentran en el valle central de la región y en el sector cordillerano y conforman la red de vigilancia de calidad del aire. Específicamente las estaciones ubicadas en el valle central de la región son seis, las cuales se encuentran emplazadas en Casas de Peuco, San Francisco de Mostazal, Codegua, Rancagua, Rengo, San Fernando. Cabe señalar que el emplazamiento de cada una de ellas cumple con lo dispuesto en el Artículo 1º del D.S. Nº 59/98 del MINSEGPRES, por lo cual están calificadas como Estación de Monitoreo de Material Particulado Respirable MP10 con Representatividad Poblacional, mediante Resolución emitida por este Servicio de Salud Región de O'Higgins.

Según mediciones registradas entre los años 2004 y 2007 en las estaciones de monitoreo de calidad del aire que forman parte de la red de vigilancia regional histórica (Rancagua, San Francisco de Mostazal, Codegua y Casas de Peuco) han mostrado valores por sobre la norma diaria (entre 5 y 24 días al año) para la estación urbana de Rancagua constituyendo condición de saturación para los años 2004, 2006 y 2007; entre 1 y 3 días al año para San Francisco de Mostazal (saturación el 2007); entre 1 y 4 días al año para Codegua (saturación el año 2007 y latencia 2006). Mientras las estaciones de Rengo y San Fernando, instaladas en marzo de 2007, registraron respectivamente 16 y 24 excedencias al valor de la norma diaria de PM10 durante en el período comprendido entre 01/04/2007 y 30/04/2008. Con respecto a la norma anual de PM10, las estaciones de Rancagua, San Francisco de Mostazal y Codegua, entregaron resultados por sobre la norma anual (condición de saturación), para el periodo 2004-2006 y 2005-2007. La estación de Casas de Peuco, registró en tanto, un valor equivalente a una condición de latencia.

Estos hechos dieron origen a la presentación de antecedentes a la Dirección Ejecutiva de CONAMA para solicitar la declaración de zona saturada por material particulado respirable MP10, como concentración de 24 horas y concentración anual, a la zona comprendida por 17 comunas del valle central de la región de O'Higgins, la cual incluye totalmente a las comunas de Graneros, Rancagua, Doñihue, Olivar, Coltauco, Coinco, Quinta de Tilcoco, San Vicente y Placilla, además incluye parcialmente a las comunas de Mostazal, Codegua, Machalí, Malloa, Rengo, Requinoa, San Fernando y Chimbarongo.

La siguiente figura muestra el límite de la zona saturada por MP10 en el valle central de la región de O'Higgins, a la vez se diferencia entre comunas totalmente incluidas y aquellas que son parcialmente incluidas.

Figura 1: Comunas Pertenecientes a Zona Saturada por Material Particulado Respirable MP10



Fuente: Sanhueza (2008)

Considerando la situación expuesta y con el fin de contar con antecedentes para ser incorporados en el futuro plan de descontaminación, se plantea esta consultoría anticipándose a la publicación del decreto de declaración de zona saturada por MP10, sirviendo como base para realizar un análisis económico y social de las posibles medidas a incorporar en el futuro plan de descontaminación. Así se pretende proporcionar antecedentes técnicos, científicos, económicos y sociales que permitan complementar y facilitar la óptima construcción del plan señalado.

Por tanto, el objetivo general de este informe es realizar un análisis económico y social de las posibles medidas a incorporar en el futuro Plan de Descontaminación Atmosférica (PDA) del Valle Central de la Región de O'Higgins.

Los objetivos específicos se enumeran a continuación:

- Evaluar y priorizar propuestas de medidas (reducción de emisiones, aspectos jurídicos, instituciones responsables, costos, otros) y sus opciones de regulación.
- Plantear una propuesta de aplicabilidad de instrumentos económicos y herramientas de gestión ambiental.

- Generar antecedentes para la estimación del impacto social y económico de la implementación de los principales instrumentos, programas estratégicos y medidas a incorporar en el futuro Plan de Descontaminación Atmosférica.

Los resultados de este estudio consideran los siguientes aspectos:

- Una propuesta de alcances y de gradualidad de las medidas e instrumentos económicos a través del estudio del impacto técnico y económico de distintas opciones de implementación de las medidas e instrumentos (estudio de escenarios).
- Los costos asociados a la implementación del futuro plan de descontaminación en su conjunto, tanto desde el punto de vista privado como social.
- Los beneficios asociados a la implementación del futuro plan de descontaminación, tanto desde el punto de vista privado como social.
- Una evaluación económica considerando los costos y beneficios determinados previamente.
- Los antecedentes para la estimación del impacto social y económico de la implementación de cada uno de los instrumentos y medidas específicas identificadas por la contraparte técnica para el futuro Plan de Descontaminación Atmosférica.
- Un análisis de sensibilidad a la evaluación del anteproyecto para las variables con mayor incertidumbre y para diferentes niveles de exigencia en la regulación.

## **2. DESCRIPCIÓN SOCIOECONÓMICA ZONA RELEVANTE**

La presente sección entrega una revisión de los aspectos fundamentales relacionados al entorno socioeconómico de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins y la Zona del Valle Central. El objetivo es mostrar como este entorno se relaciona con los demás componentes del análisis económico y social del Plan de Descontaminación Atmosférica del Valle Central de la Región de O'Higgins.

La importancia de contar con información socioeconómica se fundamenta en el hecho que cualquier acción que se lleve a cabo en el marco de este estudio tendrá un efecto directo o indirecto sobre las empresas y la comunidad en general. Por lo tanto, contar con una línea de base socioeconómica, que describa la situación actual del área considerada dentro del PDA y la región, permitirá a la autoridad respectiva tomar decisiones sobre regulación, planes de gestión, fiscalización u otros. Lo anterior, considerando la capacidad que tiene el ente regulado de asumir obligaciones y compromisos, que deben ser incorporados en el análisis de los posibles costos y beneficios sociales.

### **2.1. Zona Económica de Estudio**

El área específica de estudio se ubica en el valle central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins, y comprende totalmente a las comunas de Graneros, Rancagua, Doñihue, Olivar, Coltauco, Coinco, Quinta de Tilcoco, San Vicente y Placilla, e incluye parcialmente a las

comunas de Mostazal, Codegua, Machalí, Malloa, Rengo, Requinoa, San Fernando y Chimbarongo.

Según la división Político-Administrativa la mayoría de las comunas pertenecen a la provincia de Cachapoal, mientras Chimbarongo, San Fernando y Placilla pertenecen a la provincia de Colchagua.

## 2.2. Uso de Suelos

Según el VII Censo Agropecuario desarrollado por el INE el 2007, podemos obtener la siguiente información para las 17 comunas relevantes de la zona bajo estudio.

La superficie de las explotaciones agropecuarias (excluyendo las forestales) asciende a 594.821 hectáreas, la cual representa un 52,5% del total de explotaciones agropecuarias regionales. Además esta superficie corresponde a 11.784 explotaciones, representando un 50,8% de las explotaciones regionales.

El suelo total destinado a cultivo son 132.566 hectáreas, del cual un 88,0% corresponde a cultivos anuales y permanentes, un 5,3% a forrajeras permanentes y de rotación, y un 6,6% a barbecho y descanso. De aquellas 462.254 hectáreas de suelo no destinado a cultivo un 0,5% son praderas mejoradas, un 34,4% son praderas naturales, 1,0% plantaciones forestales, 25,1% bosque nativo, 12,8% matorrales 2,8% infraestructura (construcciones, caminos, embalses, etc.) y un 23,3% terrenos estériles y otros no aprovechables.

El detalle de la superficie de suelo por tipo uso comercial y número de explotaciones es la siguiente: 26.388 hectáreas de cereales con 3.310 explotaciones, 1.315 hectáreas de leguminosas y tubérculos con 835 explotaciones, 3.393 hectáreas de cultivos industriales con 475 explotaciones, 8.334 hectáreas de hortalizas con 3.442 explotaciones, 19 hectáreas de flores con 56 explotaciones, 8.120 hectáreas de plantas forrajeras con 1.797 explotaciones, 55.442 hectáreas de frutales con 4.082 explotaciones, 11.120 hectáreas de viñas y parronales con 462 explotaciones, 351 hectáreas de viveros con 86 explotaciones, 9.999 hectáreas de semilleros con 459 explotaciones, y por último, 4.752 hectáreas de plantaciones forestales con 920 explotaciones.

## 2.3. Población

La población total que habita en la zona saturada corresponde a 659.268 personas de las cuales un 20,9% son del área rural y un 71,9% a áreas urbanas. Sin embargo, existe una alta heterogeneidad de población y ruralidad según cada comuna. A continuación se presenta el detalle de la población de las comunas involucradas total y parcialmente en el PDA.

Tabla 1: Población en Zona Saturada

Zona Saturada	Comuna	Población Total	% Rural	% Urbana
Total	Graneros	29178	11.5%	88.5%
	Rancagua	237448	3.7%	96.3%
	Doñihue	19151	5.0%	95.0%
	Olivar	13508	48.5%	51.5%
	Coltauco	17200	30.8%	69.2%
	Coinco	6932	28.3%	71.7%
	Quinta de Tilcoco	11933	54.8%	45.2%
	San Vicente de Tagua Tagua	44974	40.5%	59.5%
	Placilla	8425	77.3%	22.7%
Parcial	Mostazal	24964	18.5%	81.5%
	Codegua	12038	48.4%	51.6%
	Machalí	33153	5.9%	94.1%
	Malloa	13548	62.5%	37.5%
	Rengo	57649	27.2%	72.8%
	Requinoa	24809	53.6%	46.4%
	San Fernando	70220	20.9%	79.1%
	Chimbarongo	34138	43.6%	56.4%

Fuente: SINIM en base a INE

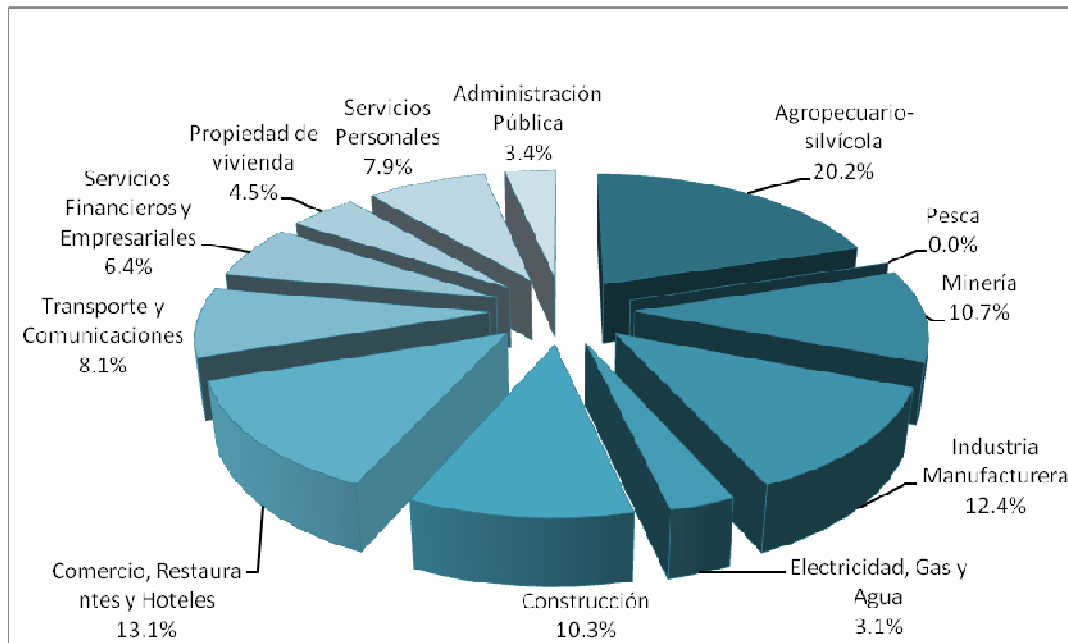
## 2.4. Actividad Económica Regional

El Producto Interno Bruto (PIB) Regional el año 2006 fue de Mills. \$ 2.241.427 (en precios constantes del 2003). En término promedio, el PIB regional tiene una tasa de crecimiento de un 5,7% en el período 2003 – 2006, sin embargo ha venido desacelerándose a sólo un 2,8% en el año 2006. La participación de la región en el PIB nacional, se ha mantenido bastante constante alrededor de un 3,8%, en el período mencionado.

La estructura regional del PIB, según cifras del Banco Central para el periodo 2003 a 2006, se caracteriza por tener una economía basada principalmente en el sector Agropecuario-Silvícola (20,2%), luego el sector Comercio, Restaurantes y Hoteles (13,1%), Industria Manufacturera (12,4%), Minería (10,7%), Construcción (10,3%), Transporte y Comunicaciones (8,1%), Servicios Personales (7,9%), Servicios Financieros y Empresariales (6,4%), Propiedad de Vivienda (4,5%), Administración Pública (3,4%) y Electricidad, Gas y Agua (3,1%). En estos años la participación de todas las actividades económicas ha permanecido relativamente estable, salvo la agricultura la cual ha crecido y la minería la cual ha experimentado una disminución como proporción del PIB regional.

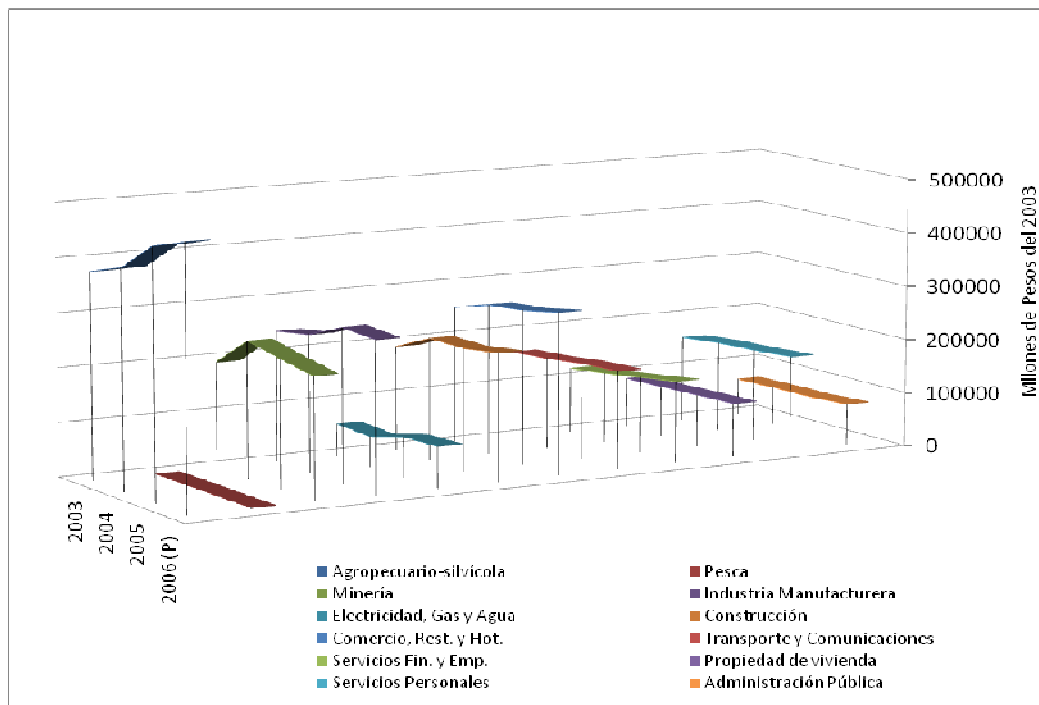


Figura 2: Participación Promedio en el PIB Regional 2006



Fuente: Elaboración Propia en Base a Banco Central de Chile

Figura 3: Evolución el PIB Sectorial Región de O'Higgins 2003-2006



Fuente: Elaboración Propia en Base a Banco Central de Chile



## **Sector Silvícola Agropecuario**

A nivel nacional, la región tiene gran importancia en el sector agropecuario. Es la principal región frutícola del país, tiene la mayor masa de porcinos y gran importancia en la producción de aves. Se destaca la existencia de grandes cultivos industriales o agroindustria, dedicados a la producción de frutales para la exportación y el cultivo de vides, las que son usadas casi en su totalidad para la producción de vino. La agricultura de la región se ha intensificado y aumentado su producción principalmente en las superficies agrícolas irrigadas, existiendo también un cambio de prácticas culturales en el manejo del suelo.

## **Sector Minero**

El sector minero es uno de los sectores más importantes de la región, siendo la mina El Teniente de CODELCO Chile la de mayor relevancia a nivel regional. La explotación de este yacimiento constituye una importante fuente de trabajo para la Región, en conjunto a los servicios asociados a la mina, los que benefician a gran parte de la población de la ciudad de Rancagua.

## **Industria Manufacturera**

La industria manufacturera ha aumentado en los últimos años, aumentando su producción respecto a años anteriores lo que queda reflejado en un aumento en la producción con valor agregado. De todas formas, la producción de valor agregado de la región es menor a la producción nacional, debido a la especialización de la región en productos relacionados con recursos naturales, los cuales casi no producen valor adicional a sus productos. Las principales ramas industriales de la región son los preparados de Legumbres, alimentos, alimentos para animales, preparados de carne, maquinaria y equipos y maquinaria eléctrica.

## **Comercio**

Las principales fuentes de comercio son el turismo y supermercados, y están concentradas en las más grandes ciudades de la región, como Rancagua, San Fernando, Santa Cruz y San Vicente.

## **Turismo**

El turismo en la región no ha sido muy explotado. Sin embargo, este es uno de los sectores con mayor potencial de crecimiento debido a la tendencia mundial del turismo verde, y por el desarrollo de paquetes turísticos relacionados a las viñas.

## **2.5. Exportaciones Regionales**

Las exportaciones de la Región de O'Higgins durante el año 2006, representaron un 8.66% de las exportaciones nacionales, ubicándose en la cuarta posición con mayor monto exportado, lo que significa un total exportado de US\$ 4.841.861.363. Cabe destacar que los envíos de la

Región de O'Higgins, en el año 2006 crecieron en un 30,21% con respecto al año anterior, llegando a un total de 118 mercados, 7,27% más que el 2005.

El principal socio comercial de la Región de O'Higgins es Asia, con una participación en las exportaciones de 39,9%, seguido por la Unión Europea con un 27,2% y Estados Unidos con una participación de 16,6%.

Durante el 2006, la región de O'Higgins exportó un total de 476 distintos productos. Los principales productos exportados por la región de O'Higgins, son en un 52,9% cobre y sus derivados; 9,6% fruta fresca, 7,1% carnes y despojos, un 3,3% vinos y un 2,5% fruta seca o deshidratada. El resto de los productos corresponde a un 24,6%.

El grupo de productos que presentó un mayor crecimiento en las exportaciones de la región para el período de análisis, fue el vino el cual creció un 31,6%, sigue la fruta fresca con un 15,9%, luego las carnes con un 14,4%.

Tabla 2: Exportaciones Regionales

Productos	2003 Mills. US\$	2004 Mills. US\$	2005 Mills. US\$	2006 Mills. US\$	% Participación Promedio	% Crecimiento Promedio
Cobre y Derivados	672,5	1380,2	2639,4	2561,9	55,2%	64,5%
Fruta Fresca	396,8	415,2	400	463,7	16,0%	5,6%
Carnes y Despojos	99,1	220,4	300,8	344	7,6%	57,7%
Vinos	92,4	113,4	122,2	160,8	4,3%	20,7%
Fruta Seca y/o Deshidratada	62,2	73,5	123,7	122,8	3,2%	28,6%
Resto	107,7	241,3	132,2	1888,7	13,8%	469,2%

Fuente: PROCHILE

Eliminando las exportaciones de productos de cobre y carnes (exportados casi exclusivamente por Agrosuper que se ubica en la comuna de Doñihue). Podemos aproximar la participación de las exportaciones de la zona de estudio. Los resultados muestran una realidad netamente agrícola, la fruta fresca presenta el mayor porcentaje para el año 2006 con un 51,2%, el vino un 17,7%, la fruta seca y/o deshidratada 13,5% y el resto de los subsectores marca 17,4%.

## 2.6. Actividad Económica de la Zona Saturada

El área de la zona saturada al igual que a nivel regional basa su economía esencialmente en el sector agroindustrial. La importancia de la actividad agrícola queda demostrada si se analiza este sector (considerando agrícola, caza y silvícola) como fuente de trabajo, el cual emplea cerca del 27,1% de la población de esta zona (Fuente: CASEN 2006), aún cuando existen comunas que superan el 50% de la población activa trabajando en el sector agrícola como Graneros, Quinta de Tilcoco, Requinoa y Chimbarongo. Como generador de empleo siguen el sector Servicios Comunales y Sociales con 18,4%, Industria Manufacturera con 15,5%, y Comercio con 14,5%, entre los principales.

La metodología para determinar la fuerza laboral empleada por actividad económica fue realizada utilizando información de la reciente encuesta CASEN 2006, empleando los factores

de expansión regional. Los resultados de cantidad de trabajadores empleados por comuna de la zona y actividad económica se señalan a continuación.

Tabla 3: Porcentaje de Trabajadores por Actividad Económica y Comuna

Comuna	Act. no bien especificadas	Agrícola, caza y silvicultura	Minería	Industria manufactureras	Electricidad gas y agua	Construcción	Comercio rest. y hoteles	Transporte y comunicaciones	Estab. financieros y seguros	Servicios comunales sociales	Total
Graneros	0.7%	51.2%	0.5%	12.4%	0.0%	4.6%	10.2%	5.4%	2.2%	12.8%	100%
Rancagua	0.0%	7.5%	10.4%	16.7%	0.2%	11.0%	19.7%	6.8%	6.6%	21.1%	100%
Doñihue	0.2%	22.5%	0.9%	29.6%	0.0%	5.8%	14.5%	7.6%	0.0%	18.9%	100%
Olivar	0.2%	29.1%	7.0%	18.8%	0.3%	9.8%	10.2%	6.5%	5.1%	13.2%	100%
Coltauco	0.0%	44.0%	0.1%	12.1%	0.0%	9.2%	9.7%	5.2%	0.0%	19.8%	100%
Coinco	0.4%	30.1%	0.9%	23.6%	0.4%	3.7%	12.2%	8.1%	2.8%	17.8%	100%
Quinta de Tilcoco	0.0%	53.8%	0.2%	10.1%	0.4%	4.6%	11.6%	3.4%	1.1%	14.8%	100%
San Vicente	0.2%	47.7%	1.2%	21.0%	0.3%	4.8%	9.5%	2.6%	0.2%	12.5%	100%
Placilla	0.0%	0.8%	71.2%	6.4%	0.6%	4.4%	6.9%	3.2%	0.2%	6.3%	100%
Mostazal	0.0%	39.9%	0.9%	14.2%	0.3%	10.5%	14.2%	5.6%	1.9%	12.4%	100%
Codegua	0.0%	48.5%	0.6%	13.1%	0.2%	6.0%	10.0%	5.6%	3.2%	12.8%	100%
Machalí	0.8%	12.7%	8.6%	14.3%	0.8%	19.8%	13.2%	6.7%	3.8%	19.3%	100%
Malloa	1.0%	47.2%	2.7%	12.8%	1.1%	3.7%	8.5%	7.5%	1.8%	13.8%	100%
Rengo	1.6%	30.3%	0.3%	19.3%	1.1%	7.9%	10.0%	7.1%	3.1%	19.3%	100%
Requinoa	0.0%	57.1%	0.6%	15.2%	0.4%	5.4%	4.6%	4.8%	1.9%	10.1%	100%
Chimbarongo	0.0%	53.3%	0.7%	9.7%	1.0%	4.6%	10.8%	3.3%	1.9%	14.7%	100%
San Fernando	1.4%	24.7%	0.8%	8.9%	0.8%	5.9%	17.2%	6.9%	8.4%	25.1%	100%
Total Zona	0.4%	27.1%	4.7%	15.5%	0.5%	8.6%	14.5%	6.1%	4.4%	18.4%	100%

Fuente: Elaboración Propia en Base a CASEN 2006

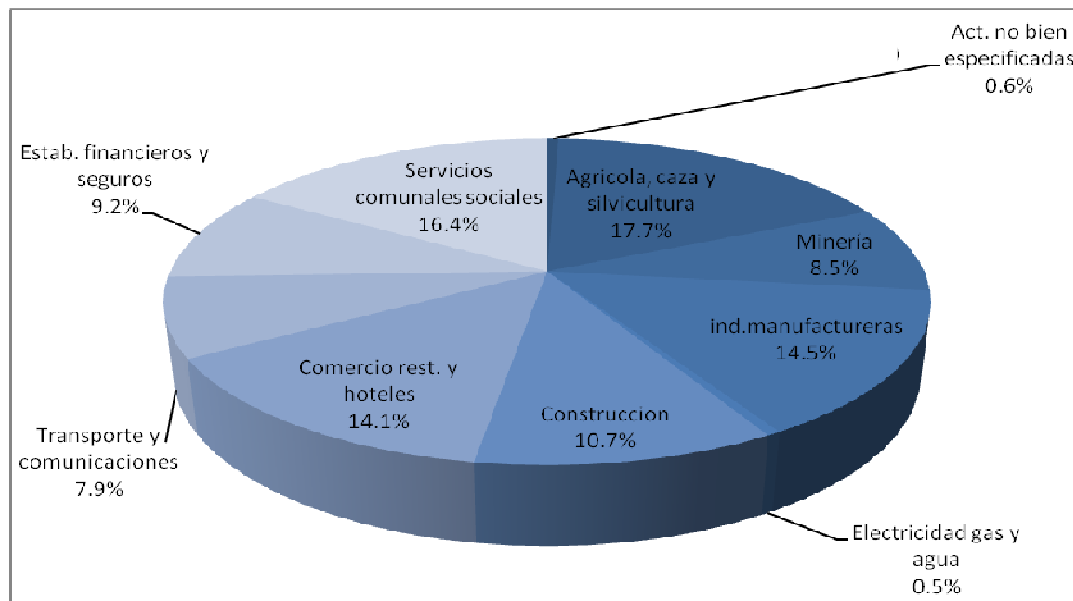
Para estimar una “aproximación” del PIB de la zona bajo estudio se elaboró la Tabla 4 con el valor del pago al factor trabajo, lo cual corresponde al número de trabajadores por el salario promedio por rama de actividad económica. Este análisis fue realizado con datos obtenidos de la encuesta CASEN 2006 y los resultados se presentan a continuación.

Tabla 4: Aproximación al PIB Sectorial de la Zona Bajo Estudio

Actividad Económica	Act. no bien especificadas	Agrícola, caza y silvicultura	Minería	Industria manufactureras	Electricidad gas y agua	Construcción	Comercio rest. y hoteles	Transporte y comunicaciones	Estab. financieros y seguros	Servicios comunales sociales	Total
Graneros	16	913	16	327	0	110	299	162	73	213	2128
Rancagua	0	1506	4711	4335	32	4455	4885	2596	3803	5005	31328
Doñihue	6	322	46	535	0	105	356	227	0	263	1860
Olivar	1	232	87	170	2	214	138	103	452	138	1537
Coltauco	0	633	4	179	0	279	105	141	0	363	1704
Coinco	2	203	11	139	4	22	81	68	14	107	651
Quinta de Tilcoco	0	505	3	89	4	47	136	34	31	120	971
San Vicente	6	1038	31	561	7	0	375	114	7	242	2381
Placilla	5	348	0	0	2	29	45	24	2	36	491
Mostazal	0	563	43	276	4	293	444	153	61	315	2152
Codegua	0	365	8	136	1	53	103	108	34	134	943
Machalí	42	353	554	418	115	480	288	185	178	464	3078
Malloa	40	444	25	166	8	43	85	73	53	151	1087
Rengo	138	995	8	1154	38	325	396	587	225	897	4761
Requinoa	0	1012	12	366	0	115	87	96	34	211	1934
Chimbarongo	0	1165	26	251	27	141	294	93	47	430	2475
San Fernando	133	1344	151	586	71	0	903	518	697	3446	7847
Total Zona	388	11935	5735	9756	328	7187	9449	5313	6158	11001	67251

Fuente: Elaboración Propia en Base a CASEN 2006

Figura 4: Aproximación al PIB de la Zona de Estudio



Fuente: Elaboración Propia en Base a CASEN 2006

El comercio y servicios, se encuentran concentrados principalmente en las ciudades de San Fernando y Rancagua, que son las principales ciudades la zona bajo estudio en lo que respecta a población.

En la zona compuesta por las 17 comunas, el aporte al “PIB aproximado” del sector Agrícola es un 17,7%; Servicios Comunales y Sociales un 16,4%; Industria Manufacturera un 14,5%; Comercio, Restaurantes y Hoteles un 14,1%; Construcción un 10,7%; Servicios Financiero un 9,2%; Minería un 8,5%; Transporte y Comunicaciones un 7,9%; y Electricidad, Gas y Agua un 0,5%.

### 3. ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA ZONA SATURADA

#### 3.1. Análisis de la Emisiones en la Zona Saturada

Durante los años 2007 y principios de 2008 se desarrolló el estudio denominado “Diagnóstico y Plan de Gestión de Calidad del Aire VI Región”, el cual desarrolló una modelación para establecer los límites físicos de la zona saturada para MP10 y actualizó el inventario de emisiones para la región de O'Higgins con base en el año 2006.

Los resultados de este inventario muestran que las principales fuentes de MP10 en la región de O'Higgins corresponden a quema de biomasa (combustión residencial de leña, quemas agrícolas e incendios forestales), actividad industrial y transporte.

El valle central la zona saturada por MP10, representa un 21,1% de la superficie total de la Región de O'Higgins, y un 87,7% del total de las comunas incluidas (total y parcialmente). El inventario de emisiones de MP10 se realizó considerando el porcentaje de superficie de cada comuna incluida en el área saturada por MP10. La Tabla 5 muestra las emisiones asociadas a las fuentes estacionarias, móviles y fugitivas las cuales representan el 29,3%, 0,5% y 69,8%, respectivamente del total de emisiones de MP10 en la zona saturada.

Tabla 5: Inventario de Emisiones 2006 de Zona Saturada del Valle Central de la Región de O'Higgins

Tipo	Fuente	MP10 (ton/año)	Aporte por Fuente %	Aporte Total %
Fuentes Estacionarias y Móviles	Industria (no incluye la industria del cobre)	45.03	1.05%	0.32%
	Combustión de leña	3062.09	71.59%	21.59%
	Quemas Agrícolas	1001	23.40%	7.06%
	Incendios Forestales	101.46	2.37%	0.72%
	Móviles	67.56	1.58%	0.48%
	Total Fuentes Estacionarias y Móviles	4277.14	100.00%	30.16%
Fuentes Fugitivas	Construcción de Edificios	63.39	0.64%	0.45%
	Construcción de Caminos	472.38	4.77%	3.33%
	Calles Pavimentadas	3784.51	38.21%	26.69%
	Calles No Pavimentadas	5583.86	56.38%	39.37%
	Total Polvo Fugitivo	9904.14	100.00%	69.84%

Fuente: Apoyo en Formulación de Plan Descontaminación Valle Central Región de O'Higgins (2008)

En términos de emisiones, la combustión residencial de leña y las quemas agrícolas son las fuentes que más contribuyen al deterioro de la calidad del aire, siendo sus aportes del orden de un 71,6% y un 23,4%, respectivamente. Mientras las emisiones fugitivas, provenientes principalmente de la suspensión de polvo desde calles no pavimentadas, representan un 56,4% del total de emisiones por polvo fugitivo y un 39,4% del total de las emisiones inventariadas de MP10.

El detalle de las emisiones de MP10 por comuna y por tipo de fuente (estacionarias y móviles, y fugitivas) se muestra en las Tablas 6 y 7.

Tabla 6: Emisiones de MP10 (ton/año) por Comuna de la Zona Saturada Fuentes Estacionarias y Móviles

Comunas	Industria	Combustión de Leña	Quemas Agrícolas	Incendios Forestales	Móviles
Chimbarongo	5,84	397,28	127,66	0,6776	8,77
Codegua	1,51	102,64	27,74	0,5	2,26
Coinco	1,28	86,87	18,98	3,36	1,92
Coltauco	2,93	199,57	52,39	29,62	4,40
Doñihue	1,02	69,65	7,56	0,03	1,54
Graneros	1,47	100,21	44,38	3,2	2,21
Machalí	0,90	61,24	8,35	0,2379	1,35
Malloa	2,06	139,81	79,16	0,9656	3,08
Mostazal	2,58	175,34	20,13	3,1806	3,87
Olivar	0,61	41,70	4,63	0	0,92
Placilla	1,90	129,44	166,73	0,05	2,86
Quinta de Tilcoco	1,12	76,40	43,82	0,7	1,69
Rancagua	3,42	232,35	4,16	0,13	5,13
Rengo	3,44	233,77	88,38	15,8175	5,16
Requinoa	4,08	277,13	63,19	5,5752	6,11
San Fernando	4,54	308,76	36,24	2,31	6,81
San Vicente	6,32	429,93	207,50	35,103	9,49
<b>TOTAL</b>	<b>45,03</b>	<b>3062,09</b>	<b>1001,00</b>	<b>101,46</b>	<b>67,56</b>

Fuente: Apoyo en Formulación de Plan Descontaminación Valle Central Región de O'Higgins (2008)

Tabla 7: Emisiones de MP10 (ton/año) por Comuna de la Zona Saturada Fuentes Fugitivas

Comunas	Construcción de Edificaciones	Construcción de Caminos	Calles Pavimentadas	Calles No Pavimentadas
Chimbarongo	2.09	99.84	491.00	595.23
Codegua	0.93	5.19	126.86	356.93
Coinco	0.72	50.98	107.37	224.12
Coltauco	2.14	59.09	246.65	526.72
Doñihue	1.52	5.61	86.08	320.43
Graneros	4.70	5.71	123.85	74.39
Machalí	0.33	0.00	75.69	14.24
Malloa	0.28	0.00	172.79	285.28
Mostazal	0.67	16.37	216.71	46.74
Olivar	4.53	4.39	51.54	245.80
Placilla	0.97	3.47	159.98	369.22
Quinta de Tilcoco	1.67	31.30	94.43	335.43
Rancagua	31.71	59.91	287.17	345.79
Rengo	0.00	0.95	288.92	338.45
Requinoa	3.27	5.78	342.51	156.82
San Fernando	1.09	1.17	381.61	163.65
San Vicente	6.78	122.62	531.36	1184.63
<b>TOTAL</b>	<b>63.39</b>	<b>472.38</b>	<b>3784.51</b>	<b>5583.86</b>

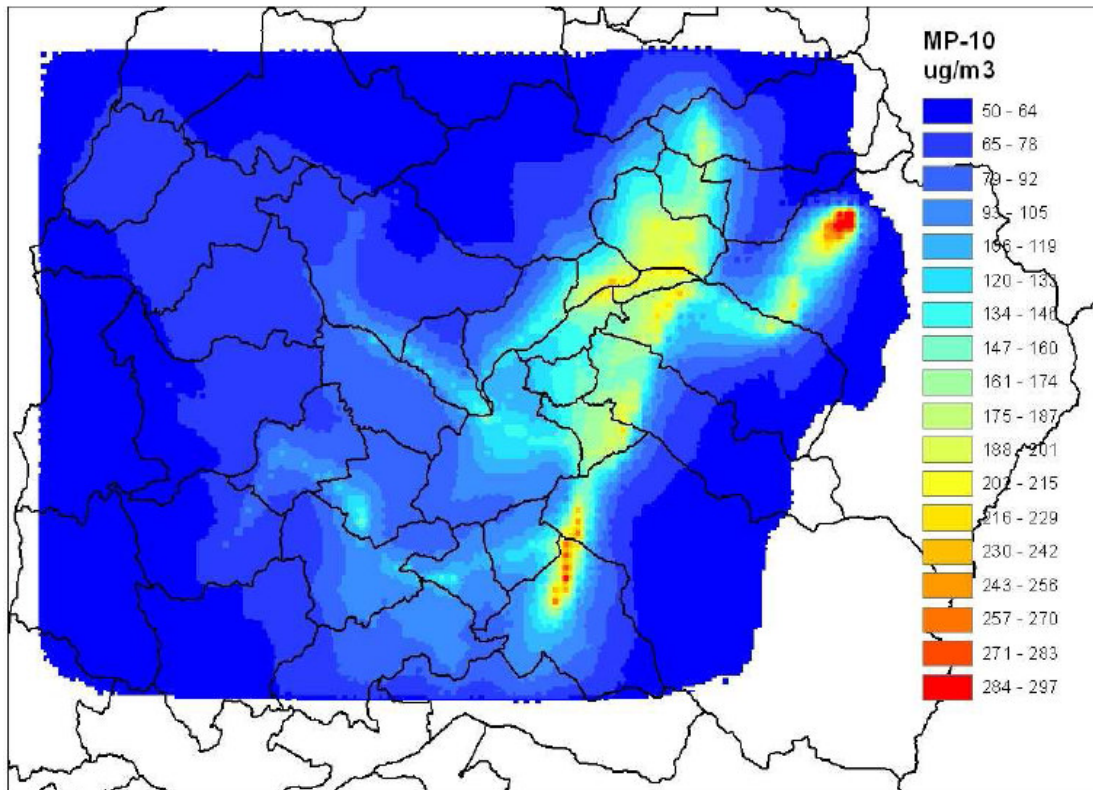
Fuente: Apoyo en Formulación de Plan Descontaminación Valle Central Región de O'Higgins (2008)



### 3.2. Modelación de Concentraciones

En el estudio “Estudio Diagnóstico Plan de Gestión Calidad del Aire VI Región” de DICTUC (2007), se realizó una modelación de las concentraciones ambientales de MP10 en las comunas de interés. En la Figura 5 se pueden apreciar la zonas (comunas) donde se predicen los mayores niveles de MP10 para un periodo de 24 horas. Para la delimitación de la zona saturada por MP10 se consideraron aquellas comunas que presentaron valores de concentración sobre  $135 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respecto a la norma diaria (D.S. N° 59/98) que establece un límite de  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Además esta delimitación consideró un margen de un 10 % en los niveles ambientales estimados por el modelo a modo de eliminar la incertidumbre asociada a dicha simulación.

Figura 5: Máximo Promedio Diario de Concentraciones de MP-10, Junio 2006

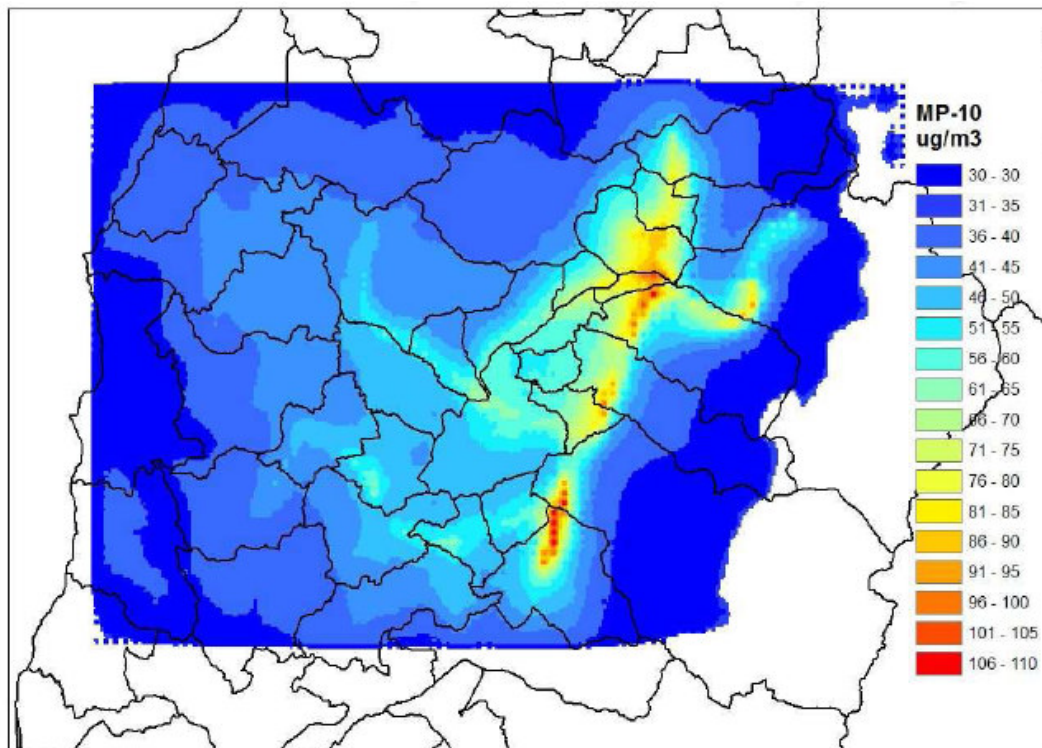


Fuente: CONAMA VI REGIÓN-DICTUC S.A. (2007)

Por lo tanto, las comunas con condiciones estimadas de saturación serían: Machalí, Chimbarongo, San Fernando, Doñihue, Requinoa, Olivar, Malloa, Coinco, Rengo, Placilla, Mostazal, Graneros, Codegua, Coltauco, San Vicente, Palmilla, Quinta de Tilcoco, Peumo y Rancagua. Las comunas con condiciones estimadas de latencia (80% del límite diario de MP10) serían: Santa Cruz, Pichidegua, Chepica, Las Cabras y Peralillo.

En la Figura 6 es posible delimitar la zona saturada para la norma anual de MP10, para esto se utilizó un valor límite de  $47,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  que corresponde a la norma anual de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  menos un margen de un 5 % a modo de eliminar la incertidumbre del modelo.

Figura 6: Estimación Zona de Latencia y Saturación por Norma Anual de MP-10



Fuente: CONAMA VI REGIÓN-DICTUC S.A. (2007)

Las comunas con condiciones estimadas de saturación por norma anual son: Machalí, Chimbarongo, San Fernando, Doñihue, Requinoa, Olivar, Malloa, Coinco, Rengo, Placilla, Mostazal, Graneros, Codegua, Coltauco, San Vicente, Palmilla, Quinta de Tilcoco, Peumo, Pichidegua, Santa Cruz, Las Cabras, Chepica, Peralillo, Nancagua y Rancagua. Las comunas con condición de latencia y saturación estimada por norma anual son: Pumanque, La Estrella, Marchihue, Litueche, Lolol y Navidad.

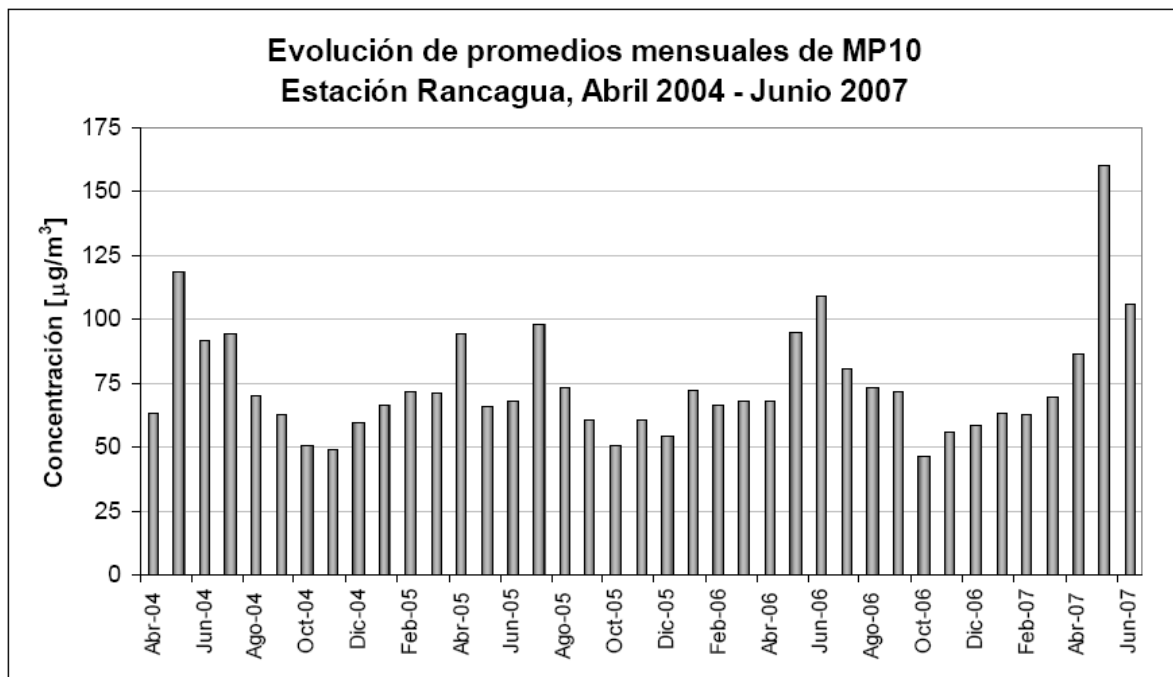
### 3.3. Análisis Temporal de las Concentraciones de MP10

Existe variabilidad de las emisiones de MP10 a lo largo del año con un principal aporte de contaminación proveniente de incendios forestales (de comportamiento aleatorio), quemas agrícolas en la época estival, polvo suspendido desde calles no pavimentadas y las emisiones de quema residencial de leña mayoritariamente durante los meses más fríos del año (desde mayo a agosto). El aporte de la industria y el transporte es constante durante todo el año y representa un aporte significativo de MP10 (Fuente: DICTUC, 2007).

Un estudio de CENMA (2007) señala que “Las concentraciones de MP10 tienen un fuerte comportamiento estacional con un notorio aumento de los niveles en los meses de otoño-invierno, durante los cuales algunos días alcanzan concentraciones en el rango de alerta y pre-emergencia. En los años 2004, 2005 y 2006 se registraron 11, 5 y 8 días respectivamente sobre el valor fijado en la norma diaria ( $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Durante el año 2007 entre Abril y Junio se han registrado 23 días sobre  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . El comportamiento de las concentraciones de MP10 durante el día también presenta fuertes diferencias entre meses de primavera-verano (con menores concentraciones) y los meses de otoño-invierno durante los cuales hay un pronunciado aumento de las concentraciones durante la noche.”

A modo de ejemplo de lo anterior, se aprecia en la estación de Rancagua el ciclo estacional, con un marcado aumento de las concentraciones durante meses de otoño-invierno por la ocurrencia de episodios críticos de contaminación en días de reducida ventilación de la atmósfera. Además, la mayoría de los meses presentan un promedio mensual sobre  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , valor establecido como límite para norma anual.

Figura 7: Evolución de Promedios Mensuales de MP10 en Rancagua



Fuente: CENMA (2007)

### 3.4. Alcance sobre la Meta Global de Reducción de Emisiones

Se debe considerar una disminución de las concentraciones diarias y anuales de MP10 en la zona saturada del Valle Central de la Región de O'Higgins para llegar a valores que se encuentren por debajo de los niveles considerados de saturación.

El Informe de Avance “Apoyo en Formulación de Plan Descontaminación Valle Central Región de O’Higgins” de Sanhueza (2008) sostiene para salir del estado de saturación por norma de 24 horas de MP10 se deben disminuir las concentraciones y las emisiones en un 2,6% en relación al año base (utilizando método roll-back). Sin embargo, suponiendo que al 2012 la norma de MP10 en 24 horas disminuya a 120 µg/m<sup>3</sup>, la disminución debe ser de un 22,2%. Por otra parte, para salir del estado de saturación por norma anual de MP10, se deben disminuir en un 35,5% las concentraciones y emisiones respecto al año base.

### **3.5. Medidas Propuestas para la Reducción de Emisiones**

De acuerdo al documento denominado “Diagnóstico Plan de Gestión Calidad del Aire VI Región”, desarrollado por el DICTUC para la CONAMA Región de O’Higgins, se han propuesto un total de 30 medidas de reducción de emisiones de MP10, de las cuales ocho corresponden al Sector Residencial, cinco al Sector Quemas Agrícolas, cuatro al Sector Forestal, seis al Sector Industrial y Comercial, y siete al Sector Transporte.

El Informe de Avance “Apoyo en Formulación de Plan Descontaminación Valle Central Región de O’Higgins” toma estas 30 medidas y las clasifica en aquellas que tienen un potencial de reducción de emisiones de MP10 cuantificable, en instrumentos económicos y programas complementarios.

Este último informe plantea que la forma de discriminar una medida con potencial de reducción de emisiones, es si dicha medida se asocia a un cambio tecnológico, de combustible, y/o de restricción de operación, con lo cual se logra disminuir las emisiones, respecto a la situación base. Mientras los instrumentos económicos y los programas complementarios, no tienen asociado de manera directa un potencial de reducción de emisiones. Sin embargo, ayudan y potencian la implementación, fiscalización y difusión de aquellas medidas con potencial de reducción cuantificable.

En las Tablas Nº 8, 9 y 10 se presentan las medidas clasificadas en estas tres grandes categorías.

Tabla 8: Medidas con Potencial de Reducción de Emisiones Posibles de Calcular

Fuente	Nº	Medida
RESIDENCIAL	M1	Prohibición de equipos que no sean de "doble cámara" en zonas urbanas o de expansión urbana
	M2	Exigencia en el cumplimiento de norma nacional para equipos nuevos a partir del año 2009
	M3	Mejorar calidad de la leña
	M4	Mejorar el aislamiento térmico de las viviendas
INDUSTRIAL	M5	Establecer un límite de emisión de MP para Calderas Industriales y para aquellas fuentes del tipo proceso con combustión
	M6	Establecer un límite de emisión de MP de 50 mg/m <sup>3</sup> N para Panaderías
	M7	Establecer para procesos sin combustión un límite de 50 mg/m <sup>3</sup> N y prohibición de descargas de emisiones fugitivas sin control
	M8	Establecer un límite para fuentes del tipo proceso con combustión
	M9	Exigir compensación de emisiones a fuente industriales nuevas en el marco del SEIA.
TRANSPORTE	M10	Control de emisiones en buses
	M11	Control de emisiones en camiones existentes
	M12	Control de emisiones en camiones nuevos
	M13	Control de emisiones en vehículos livianos en uso
	M14	Control de emisiones en vehículos livianos nuevos
QUEMAS AGRÍCOLAS	M15	Extender el Decreto Nº 100 de Ministerio de Agricultura a toda la zona saturada
	M16	Agregar el mes de abril a la prohibición de quemas agrícolas
	M17	Implementación de un programa para la eliminación de las quemas agrícolas en forma gradual en las comunas de la zona saturada

Fuente: Apoyo en Formulación de Plan Descontaminación Valle Central Región de O'Higgins



Tabla 9: Instrumentos Económicos

Fuente	Nº	Instrumento Económico	Medida Asociada
RESIDENCIAL	E1	Subsidio al recambio de equipos	M1, M2
	E2	Subsidio a renovación térmica tanto para viviendas existentes como nuevas	M4
TRANSPORTE	E3	Subsidio a vehículos que cumplan con cierta norma o que no tengan impuesto al lujo o tal vez que no tengan que pagar el permiso de circulación.	M12

Fuente: Apoyo en Formulación de Plan Descontaminación Valle Central Región de O'Higgins

Tabla 10: Programas Complementarios

Fuente	Nº	Programas Complementarios	Medida Asociada
RESIDENCIAL	P1	Programa permanente de fiscalización para asegurar cumplimiento de medidas 1 y 2	M1, M2
	P2	Educación en el uso de los equipos de calefacción	M2,M3
INDUSTRIAL	P3	Generar un sistema de registro para fuentes fijas	M5,M6,M7,M8
TRANSPORTE	P4	Fortalecimiento de la fiscalización	M10,M11,M12,M13,M14
QUEMAS AGRICOLAS	P5	Fortalecer capacidad de fiscalización en zonas agrícola	M15,M16,M17
	P6	Mejorar el registro de Quemias Agrícolas	M15,M16,M17
INCENDIOS FORESTALES	P7	Implementar programas de educación , con la finalidad de reducir niveles de riesgo, al mismo tiempo fortalecer la capacidad de control y registro de incendios	Aplica a incendios forestales
	P8	Fortalecer los sistemas de vigilancia	Aplica a incendios forestales
	P9	Fortalecer la capacidad de control de incendios forestales	Aplica a incendios forestales
	P10	Mantener un registro de los incendios forestales	Aplica a incendios forestales

Fuente: Apoyo en Formulación de Plan Descontaminación Valle Central Región de O'Higgins

### 3.6. Evaluación Crítica de Medidas Propuestas para la Reducción de Emisiones

Según las bases técnicas de esta consultoría se requiere realizar una evaluación y priorización de las medidas propuestas por DICTUC (2007) y Sanhueza (2008). En este apartado realizamos un análisis crítico preliminar considerando aspectos sociales, económicos y de fiscalización.

- **Prohibición de equipos que no sean de doble cámara en zonas urbanas:**

Esta medida tiene diversos aspectos a considerar. Primero deberíamos partir señalando que no existe una justificación clara de por qué la prohibición se plantea sólo para áreas urbanas de la zona definida dentro del PDA considerando que en las áreas rurales existe un mayor porcentaje de hogares con artefactos a leña (88%) que en las áreas urbanas (47%) y además el consumo promedio de leña en las zonas urbanas es 1.842 kg/año, cantidad mucho menor que los consumos registrados en las zonas rurales con 3.479 kg/año (Fuente: Elaboración propia en base a Encuesta Casen 2006 para comunas de zona saturada). En segundo lugar, la prohibición de equipos que no sean de doble cámara perjudicará en mayor proporción a las familias de escasos recursos, ya que son ellas las que en mayor medida utilizan este medio de calefacción o incluso utilizan cocinas a leña para preparar sus alimentos. Esta medida es regresiva en términos de distribución del ingreso y eleva la pobreza, ya que a contar del año 2009 sólo estarían disponibles alternativas de calefacción más caras como estufas a parafina, gas y electricidad y también los calefactores a leña certificados y con un mayor costo. Finalmente, debemos tomar en consideración el grado no menor de incumplimiento de esta prohibición en la medida que no exista una adecuada fiscalización y multas que incentiven a los hogares a cumplir con la normativa, más aún cuando la ciudadanía tiene conciencia que el organismo regulador no tiene los recursos para realizar una fiscalización adecuada ni menos la óptima.

- **Exigencia de equipos que cumplan con la norma nacional en el año 2009:**

Además de las consideraciones previas para la medida anterior, esta medida generaría un problema adicional, y es que aún cuando esta exigencia se cumpliera a cabalidad, la norma establecerá el requisito que el productor o importador para vender una estufa nueva con mejor tecnología debe retirar una antigua y contaminante.

Esto que parece muy simple y hasta positivo en el corto plazo. En realidad es un incentivo negativo, ya que simplemente lo que ocurrirá en términos económicos es que el productor traspasará parte de este costo al consumidor final (el porcentaje final del traspaso dependerá de las elasticidades de oferta y demanda) y por lo tanto, encarecerá aún más el precio de las estufas nuevas. Al incrementarse el precio de este nuevo artefacto disminuirá y/o retrasará su compra, y por lo tanto los hogares existentes alargarán la vida útil de las estufas más contaminantes. Por otro lado, nuevas viviendas que opten por la leña como medio de calefacción serían las que adquieran estas estufas en un corto plazo, pero en estricto rigor y para efectos del PDA, esta condición solo aportaría con fuentes nuevas de contaminación ya que no desplazaría una fuente existente.

Por el razonamiento económico anterior, se requiere un incentivo positivo al recambio de equipos, lo que se puede obtener a través de subsidios a la demanda o descuentos (también como medida de subsidio) por la compra de un calefactor certificado y la entrega del artefacto antiguo como mecanismo para optar al descuento/ subsidio, retirando en definitiva calefactores contaminantes para su posterior destrucción y reciclaje.

- **Mejoramiento de calidad de la leña:**

Universidad de Concepción • Facultad de Ingeniería • IIT UdeC • Edmundo Larenas 270 Int. • Casilla 160-C Correo 3

Concepción • Chile • Fonos: (56-41) 2234877- 2204422 – 2204887 • Fax : (56-41) 2259190

email: iit@udec.cl • www.iit.udec.cl



Esta es una medida indispensable para que den resultados eficientes las medidas y anteriores, debido a que la utilización de leña húmeda provoca que los factores de emisión se elevan al doble o incluso más dependiendo del tipo de calefactor.

Según el “Resumen y Rectificación del Inventario de Emisiones Atmosféricas del Gran Concepción Estimación Año 2000” CONAMA Bío Bío (2005), señala que en promedio podría asignarse un factor de emisión de MP10 de 7 g/kg de leña para estufas que utilizan leña seca y 13 g/kg para equipos utilizando leña húmeda. Otro ejemplo de lo anterior es el estudio “Determinación de las emisiones de contaminantes provenientes de la quema de Leña en el área Metropolitana de Santiago” de la Comisión Nacional de Energía (1992), en el cual se determinó las emisiones por combustión de leña de los siguientes equipos: chimeneas, salamandras, estufas simples, estufas de doble cámara y estufas tipo insert considerando dos contenidos de humedad para la leña eucaliptus 15% y 35%. Los resultados arrojaron un factor de entre 2,7 a 43,2 (16 veces) al usar leña con mayores contenidos de humedad entre 16% y 35% en base seca.

Así podemos señalar lo indispensable que se torna el uso de leña seca, para aumentar la capacidad de generación de calor y reducir las emisiones atmosféricas de los artefactos con nueva tecnología y antiguos. Sin embargo, la dificultad de esta medida radica en que el 52,1% de la leña consumida en la VI Región proviene de podas de especies frutícolas (Fuente: Diagnóstico del mercado de la leña del Centro de Microdatos U. de Chile-CONAMA, 2006), esta situación en el contexto de una región con orientación exportadora del sector agroindustrial, nos hace creer que mucha de la leña de poda de los árboles frutícolas es vendida a muy bajo precio o incluso regalada, en las zonas rurales. Por lo cual se dificulta el desarrollo de un mercado formalizado de la leña para la mayor parte del área geográfica de la zona saturada.

Aún cuando una parte del mercado de leña logre una formalización suficiente en el mediano plazo, se requiere que exista una certificación de calidad del producto ofrecido cumpliendo con el contenido de humedad según los requerimientos establecidos en la norma (N.Ch. N° 2907/2005 % humedad menor o igual a 25% en base seca utilizando un xilohigrómetro para medir la humedad).

La leña que cumpla con estos requerimientos de humedad obviamente tiene un mayor costo de producción, debido al tiempo que es necesario mantenerla en stock secándose perdiendo el costo de oportunidad de liquidar la inversión más rápidamente y también lo que involucra la infraestructura de almacenamiento y costos asociados a la certificación. Esto se ha traducido típicamente en un diferencial de precios que deberá ser absorbido en parte por los consumidores, afectando negativamente a las familias con menos recursos. Por ello, el Estado podría subsidiar a la oferta o la demanda de leña seca, o cobrar impuestos a los productores de leña no certificadas. Si esto último no se lleva a cabo, existe el incentivo económico para que a mayor diferencial de precios los consumidores se inclinen por comprar leña con mayor humedad. Cabe señalar además la necesidad de formalizar el mercado de la leña dentro del área definida para el PDA para poder establecer programas de incentivos/ subsidios a la oferta de leña seca y facilitar la labor de fiscalización de la venta de este insumo.

- **Mejoramiento del aislamiento térmico de las viviendas:**

Universidad de Concepción • Facultad de Ingeniería • IIT UdeC • Edmundo Larenas 270 Int. • Casilla 160-C Correo 3

Concepción • Chile • Fonos: (56-41) 2234877- 2204422 – 2204887 • Fax : (56-41) 2259190

email: iit@udec.cl • www.iit.udec.cl

Esta medida ha sido señalada en el AGIES de Temuco como la menos costo-efectiva para reducir las emisiones de MP10. Lo anterior se debe a que un programa de reacondicionamiento de viviendas antiguas involucra un costo de aproximadamente unos \$1.300.000 por hogar (Ambiente Consultores, 2006).

Considerando los antecedentes de Ambiente Consultores (2006) se estimó que el monto del subsidio podría permitir la aislación de muros y cielo, y con ello lograr una reducción del 35% en el consumo de leña por hogar, con el consiguiente impacto en reducción de emisiones atmosféricas.

Sin embargo, nuestros análisis econométricos derrumbarán el supuesto de ahorro anterior. Para ello, estimamos dos modelos de regresión uno en el cual estimamos el consumo de leña en la zona del valle de la región de O'Higgins y otra la probabilidad de tener un artefacto a leña, ambas dependiendo de un set de variables explicativas extraídas de los datos de la Encuesta Casen 2006, entre ellas: el número de personas en el hogar, ingreso, zona urbana/rural, número de piezas, escolaridad del jefe de hogar, consumo eléctrico, consumo de gas licuado, estado de los muros, techo y piso.

Tabla 11: Estimación de Consumo de Leña en Zona Saturada

Source	SS	df	MS			
Model	9.2245e+09	10	922450712	Number of obs = 7362		
Residual	2.9156e+11	7351	39662407	F( 10, 7351) = 23.26		
Total	3.0078e+11	7361	40861684.7	Prob > F = 0.0000		
				R-squared = 0.0307		
				Adj R-squared = 0.0293		
				Root MSE = 6297.8		
v29a	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
numper	34.9464	43.83815	0.80	0.425	-50.98894	120.8817
ytothaj	.0002479	.0001036	2.39	0.017	.0000447	.0004511
rural	1485.246	149.0033	9.97	0.000	1193.157	1777.335
npiezas	-86.70769	77.8521	-1.11	0.265	-239.3201	65.90474
esc	-38.94121	18.85201	-2.07	0.039	-75.89656	-1.985872
consumoele~o	.0615801	.0060044	10.26	0.000	.0498097	.0733505
gaslicuado	-1198.277	386.51	-3.10	0.002	-1955.948	-440.6067
muro	91.93371	133.2	0.69	0.490	-169.1766	353.044
techo	-111.7833	129.2602	-0.86	0.387	-365.1703	141.6037
piso	-85.50988	128.3409	-0.67	0.505	-337.0948	166.075
_cons	2925.371	556.6558	5.26	0.000	1834.166	4016.576

Fuente: Elaboración Propia con Datos de Casen (2006)

Tabla 12: Estimación de Efectos Marginales de Modelo Probit para la Probabilidad de Tener un Artefacto a Leña en Zona Saturada

Marginal effects after probit							
y = Pr(usolena) (predict)							
= .72769126							
variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[	95% C.I.	]
numper	.0171539	.00242	7.08	0.000	.012407	.021901	4.5124
ytothaj	5.62e-09	.00000	0.76	0.448	-8.9e-09	2.0e-08	524287
rural*	.27866	.00716	38.92	0.000	.264626	.292694	.385736
npiezas	.041464	.00427	9.71	0.000	.033091	.049837	2.85527
consum~o	9.10e-09	.00000	0.03	0.977	-6.2e-07	6.4e-07	14295.1
gaslic~o*	-.1192186	.02072	-5.75	0.000	-.159822	-.078615	.968633
muro	-.037277	.0078	-4.78	0.000	-.052564	-.02199	2.73211
techo	.0048042	.0071	0.68	0.498	-.009103	.018711	2.69059
piso	-.0224784	.00719	-3.12	0.002	-.03658	-.008377	2.6823

Fuente: Elaboración Propia con Datos de Casen (2006)

Los resultados arrojan que al mejorar la calidad de muros se reduce la probabilidad de tener un artefacto a leña en el hogar entre 3,7% y 7,4% (ver Tabla 12). Sin embargo, el consumo de leña no se ve modificado, todo lo anterior al 95% de confianza estadística (ver Tabla 11).

La conclusión de estos antecedentes, es que si bien mejorar la aislación de las viviendas hace desistir de comprar un artefacto a leña, para aquellas familias que ya lo poseen no cambia sus decisiones de cuántos kg. de leña consumir y como se pudo apreciar, un programa de subsidios para la aislación de las viviendas existentes sería costoso y poco efectivo para reducir las emisiones de MP10.

Por otro lado, esta medida tiene un mayor efecto en la aislación de nuevas viviendas. Sin embargo, los requerimientos de aislación para las nuevas construcciones esta establecido en el Artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, (D.S. N° 47). Decreto que ha sido modificado estableciendo requerimientos de aislación térmica según la zona geográfica.

- Establecer un límite de emisión de MP para Calderas Industriales y para aquellas fuentes del tipo proceso con combustión; Establecer límite de emisión de MP de 50 mg/m3N para panaderías; Establecer para procesos sin combustión un límite de 50 mg/m3N y prohibición de descarga de emisiones fugitivas sin control; Establecer un límite para fuentes del tipo proceso con combustión; y Exigir compensación de emisiones a fuentes industriales nuevas en el marco del SEIA:**

Todas estas medidas para el sector industrial, tienen poco impacto en las emisiones totales de la zona saturada, ya que los aportes de la industria representan un 1,1% de las fuentes fijas y móviles, y un 0,3% de las emisiones totales de MP10.

Existe actualmente el anteproyecto de norma para calderas industriales que incorpora este tipo de restricciones. Por lo tanto, no se requiere considerar estas medidas como parte integrante del plan de descontaminación del valle central de la Región de

O'Higgins, ya que esta medida no tendría un efecto significativo desde el punto de vista de reducción de los niveles ambientales de MP10 en la zona saturada. No obstante lo anterior, se debería promover el uso de combustibles más limpios en las panaderías de tipo artesanal-industrial, para evitar utilizar hornos a leña como parte del proceso de producción.

Respecto a la compensación de emisiones para fuentes nuevas, provoca un aumento en los costos de las nuevas inversiones, generando un desincentivo a instalarse en la zona. Como contraparte positiva, la compensación les entrega flexibilidad a las nuevas fuentes para abatir emisiones de MP10 de la manera que ellos consideren más económica o costo-efectiva. Por ejemplo, una industria podría considerar que es más económico abatir emisiones mediante un programa de retiro de artefactos a leña obsoletos y reemplazándolos por nuevos aparatos certificados, y así evitar tener que invertir en tecnologías de abatimiento para su proceso.

- **Control de Emisiones en Buses:**

El aporte de las emisiones de los buses es bastante menor en relación a otras fuentes identificadas en el inventario de emisiones (DICTUC, 2007), además el recambio de la flota por buses con tecnologías más limpias como Euro III o Euro IV requieren una inversión considerable, o bien la opción de instalación de filtros de partículas genera un costo de aproximadamente \$5.000.000 por bus. Por lo tanto, aunque es necesario avanzar en mejoras en el transporte público mediante la licitación de recorridos que hagan exigible la renovación de la flota de buses no es una medida costo-efectiva para reducir los niveles ambientales de material particulado en la zona saturada.

- **Control de Emisiones en Camiones Nuevos:**

Esta medida hace exigible la Norma Euro IV después del 2010 cuando se ha proyectado contar con un combustible diesel con bajo contenido de azufre (<50 ppm) en todo el país. Desde un punto de vista de los incentivos, esta norma es criticable ya que los camiones antiguos no poseen exigencias de este tipo, por lo que de alguna manera estamos premiándolos. En consecuencia es necesaria la complementación con normas o exigencias de filtro para los camiones más antiguos, o bien restricciones de circulación para estos vehículos durante días con problemas de calidad del aire.

- **Control de Emisiones en Vehículos Livianos en Uso:**

Medidas como restricción vehicular, tiene el incentivo perverso de que las familias puedan verse incentivadas a comprar un vehículo adicional para evitar las restricciones asociadas a los dígitos de la patente. Una medida alternativa más eficiente es simplemente que se cumpla en un 100% con las exigencias actuales y/o hacer más estrictas las revisiones técnicas con el fin de lograr que los dueños de vehículos realicen las mantenciones adecuadas para un buen funcionamiento de su vehículo. Cabe señalar que las fuentes móviles no constituyen una fuente significativa para la zona saturada en estudio.

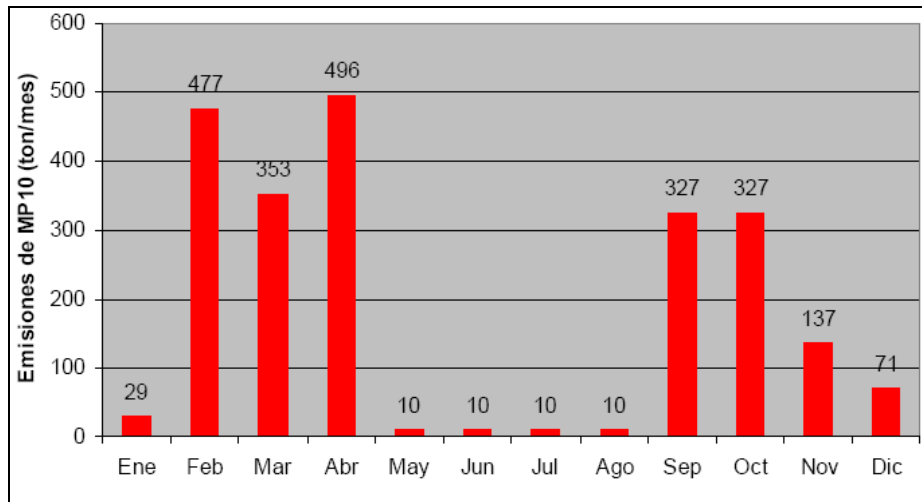
- **Control de Emisiones en Vehículos Livianos Nuevos:**

La exigencia de normas de emisiones más estrictas para la internación de vehículos nuevos ayuda a mejorar las tecnologías de control de emisiones del parque automotriz.

Pero lo anterior, debiese complementarse con incentivos a la renovación y sacar de circulación vehículos contaminantes dada su antigüedad, falta de mantención y desgaste del motor y/o componentes. En estricto rigor, el programa de revisión técnica obligatorio fiscaliza a los vehículos que transita por las calles, fiscalización que debería ser más estricta dentro de la zona saturada del Valle Central de la VI Región. Es decir, debemos optimizar la situación base haciendo cumplir las normativas existentes.

- **Extender el Decreto N° 100 del Ministerio de Agricultura a toda la zona saturada:**  
Cabe señalar que las quemas agrícolas están claramente subrepresentadas en el inventario de emisiones realizado por el DICTUC (2007), ya que sólo estimaron emisiones de quemas de rastrojos de trigo (7.468 há.), avena (897 há.), cebada (292 há.) y maíz (47.244 há.), y no de otros tipos de cultivos importantes en la zona como rastrojos de hortalizas (8.334 há.), y podas de frutales (55.442 há.), cultivos industriales (3.393 há.), semilleros (9.999 há.), viñas y parronales (11.120 há.), entre otros. Esta falencia es muy importante ya que una adecuada representación de las emisiones de las quemas agrícolas puede ayudarnos a realizar una mejor estimación de costo efectividad de esta media. A modo de ejemplo, es claro suponer que extender la prohibición del decreto N° 100 del MINAGRI a toda la zona saturada tiene un mayor potencial de reducción de emisiones que los niveles consideradas actualmente con el inventario del DICTUC.
- **Agregar al mes de abril a la prohibición de quemas agrícolas:**  
Esta medida a primera vista puede parecer muy positiva, ya que se estaría limitando el periodo para realizar las quemas a fines del verano. La Figura 8 muestra que efectivamente la actual prohibición se esta cumpliendo, lo cual es bastante positivo. No obstante, dado que los productores deben preparar sus tierras y limpiarlas de rastrojos antes de que comience la prohibición de las quemas, podría suceder que al reducir el lapso de tiempo en el cual los agricultores que utilizan el fuego dentro de sus prácticas de cultivo se intensifiquen las quemas en el mes de marzo, aumentando las posibilidades que se generen episodios de mala calidad del aire en la zona, en especial durante días con poca capacidad de ventilación de la atmósfera. Adicionalmente, al intensificar las quemas agrícolas en los meses cálidos aumentaría considerablemente el riesgo de incendios forestales causado por quemas agrícolas fuera de control. Esto podría aumentar considerablemente las emisiones de MP10 y otros contaminantes del aire.

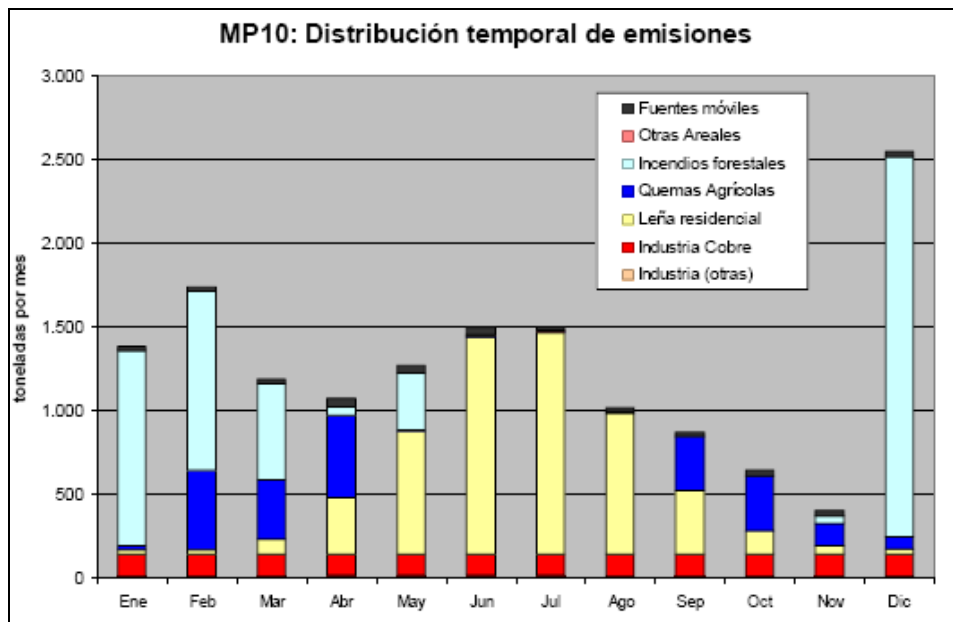
Figura 8: Distribución Temporal de Quemias Agrícolas



Fuente: DICTUC (2007)

Por lo tanto, agregar el mes de abril a la prohibición de quemias provocará que lo que antes se quemaba en ese mes ahora se queme en marzo. Así es que lo que debiera preocuparnos es si queremos que en marzo aumenten las emisiones, esto pudiese ser conveniente siempre y cuando las emisiones de ese mes no fueran tan altas. Pero como apreciamos en la Figura 9 en realidad no es deseable que las quemias se produzcan en marzo sino en meses como octubre y noviembre.

Figura 9: Distribución Temporal de Quemias Agrícolas



Fuente: DICTUC (2007)

- **Implementación de un programa para la eliminación de las quemas agrícolas en forma gradual en las comunas de la zona saturada:**

Esta medida aun cuando es bastante gradual será muy efectiva para la reducción de emisiones atmosféricas, pero a la vez hay que considerar que tiene un costo relevante para los agricultores que utilizan el fuego como parte de sistema de manejo de cultivos, ya que en algunos tipos de cultivos (trigo, cebada) los rastrojos deberán ser removidos mecánicamente y/o tratados a través de incorporación, cero labranza, manejo de rastrojos, compost u alguna otra técnica aplicable a las condiciones existentes en los predios de la VI Región.

La zona saturada posee grandes extensiones de terrenos destinada a distintos tipos de cultivos, por lo que el impacto en los costos de los agricultores no es marginal. Al igual que una industria que emite contaminantes por una chimenea, la agricultura es una actividad económica y como tal debiese “internalizar” en sus costos de producción el gasto asociado al manejo adecuado de sus desechos los cuales se reflejaran en menores utilidades para el productor o mayores precios de ventas para los intermediarios y consumidores finales. Esto es sin duda necesario para que el valor de la producción revele los verdaderos costos sociales de producción y no se generen externalidades, que terminan siendo pagadas por las personas que ven afectada su salud y calidad de vida.

Cabe señalar que actualmente existen fondos para la conservación de suelos proporcionados por INDAP que financian parte de estas iniciativas, aún cuando son insuficientes para el volumen de desechos generados en la zona saturada. Por lo cual, debiesen existir medidas del gobierno central o regional, para y fomentar planes de manejo y gestión de rastrojos generados en la agricultura y apoyar iniciativas de buenas prácticas de producción y producción limpia.

Finalmente, debemos enfatizar que esta medida tiene el impacto adicional de reducir la probabilidad de incendios forestales originadas por quemas agrícolas fuera de control. Según estadísticas de CONAF en la Región de O’Higgins se queman en promedio 28 há. por cada incendio, con una superficie total afectada de 6055,8 há. Además, un 8,2% de los incendios forestales tienen como causa inicial la quema de desechos. En consecuencia, esta medida tiene importantes efectos directos e indirectos para la reducción de emisiones atmosféricas

#### **4. PRIORIZACIÓN DE MEDIDAS PROPUESTAS (REDUCCIÓN DE EMISIONES, ASPECTOS JURÍDICOS, INSTITUCIONES RESPONSABLES, COSTOS, OTROS) Y SUS OPCIONES DE REGULACIÓN.**

La priorización del conjunto de medidas presentadas anteriormente, involucra seleccionar aquéllas que tendrían un alto impacto en la reducción de emisiones de MP10 y sus precursores, y así no centramos en analizar medidas que aportan poco al cumplimiento de la meta. De esta manera observando el inventario de emisiones de las fuentes estacionarias y móviles se concluye que el 95% de las emisiones corresponden a combustión de leña y quemas agrícolas,



mientras en el inventario de emisiones de las fuentes fugitivas el 95% de las emisiones corresponde a polvo de calles pavimentadas y no pavimentadas.

En consecuencia nos centraremos en las medidas que apuntan a reducir las emisiones de MP10 de las principales fuentes responsables de la mala calidad del aire, las cuales incluyen:

- Medida N°1: Mejorar la Calidad de la Leña (NCh 2907 del INN, humedad en base seca menor o igual a 25%).
- Medida N°2: Cumplimiento de norma de emisión nacional para equipos nuevos a partir del año 2009.
- Medida N°3: Prohibición de equipos que no sean de “doble cámara” en zonas urbanas.
- Medida N°4: Aislamiento térmico de las viviendas.
- Medida N°5: Extender la prohibición del D.S. N° 100 del MINAGRI a todas las comunas de la zona saturada.
- Medida N°6: Implementación de un programa para la eliminación de las quemas agrícolas de manera gradual (10 años aprox.).

#### **4.1. Aspectos Jurídicos e Instituciones Responsables para las Principales Medidas Consideradas**

El análisis de los aspectos jurídicos e instituciones responsables, corresponde a una revisión de antecedentes recopilados del Plan de Descontaminación de Temuco y Padre las Casas, Anteproyecto del Plan de Prevención del Concepción Metropolitano, y el informe de avance del estudio “Apoyo en Formulación de Plan Descontaminación Valle Central Región de O’Higgins”.

Para la Medida N°1, la leña que sea producida, distribuida, comercializada y utilizada en la zona de saturación deberá cumplir con un contenido de humedad menor o igual a 25% en base seca según la norma de calidad de la leña (Nch. N° 2907/2005); cumpliéndose con la obligatoriedad de uso de xilohigrómetro para medir la humedad de ésta. La fiscalización debería estar a cargo de la Seremi de Salud de la Región de O’Higgins en coordinación con CONAMA. Otra alternativa es otorgar facultades de control y fiscalización a la SEC. No obstante, hay que aclarar que dicha Superintendencia no tiene facultades de fiscalización y control en el ámbito de la leña, dado que no reconoce la leña como combustible y además la SEC focaliza su acción a fiscalización de aquellos combustibles que están en estado líquido o gaseoso, así lo señala el artículo segundo de la Ley 18.410 Orgánica de la SEC. También se puede avanzar en explorar alternativas de requerimientos de certificación de la leña. Los sistemas de certificación impulsados actualmente no son obligatorios, ni pueden serlo en tanto no exista una institucionalidad y un marco jurídico que los respalde.

Para la Medida N°2, la prohibición de uso o venta de equipos más contaminantes necesita la dictación de una norma de emisión (la cual está actualmente en proceso a través de CONAMA Central) mediante un decreto especial y adecuado a los procedimientos establecidos en los Decretos Supremos N° 93 y 94, ambos de 1995, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Dicha norma de emisión también puede ser incorporada como medida dentro del propio plan de descontaminación. Esta medida afecta a usuarios residenciales que vayan a utilizar artefactos a leña para calefacción de sus viviendas. Su fiscalización y control le podrá

corresponder a la Seremi de Salud de la VI Región en coordinación con CONAMA. Otra alternativa sería otorgar facultades especiales de control y fiscalización a la SEC. Para la clasificación de artefactos nuevos por tipo, se deberá presentar certificados internacionales o nacionales, de existir un mecanismo de certificación y reportados directamente a CONAMA. Cada fabricante, importador o distribuidor, deberá rotular los calefactores nuevos de acuerdo a certificaciones de emisión. CONAMA también puede coordinar con SERNAC la elaboración de un procedimiento para entregar la información al consumidor en los puntos de venta final del producto entre otros medios de información a la comunidad.

La Medida N°3, tiene como antecedente la restricción parcial o total de la operación de equipos de combustión a leña durante episodios críticos de calidad del aire, que para el caso de la Región Metropolitana fueron impuestas mediante un Decreto Supremo (D.S. N° 32 de 1990 del MINSAL). Este decreto fue establecido con anterioridad a la dictación de las normas legales y reglamentarias que hoy establecen los procedimientos y contenidos para la dictación de normas ambientales. Así existe la posibilidad de incorporar esta medida en el Plan de Descontaminación Ambiental. Su fiscalización y control le podría corresponder a la Secretaría Regional Ministerio de Salud de la VI Región en coordinación con CONAMA. Adicionalmente, luego de la oficialización del decreto del PDA, CONAMA podría iniciar en conjunto con los Municipios un plan de trabajo para implementar un registro de calefactores en uso en las áreas urbanas y rurales y un programa de denuncias (línea de reclamos) para registrar molestias ocasionadas por quemas ilegales o el mal uso de artefactos de calefacción.

Para la medida N°4, el MINVU debería estudiar la posibilidad de focalizar un subsidio especial para el mejoramiento térmico de las viviendas existentes en las comunas afectadas. Como ejemplo, se puede mencionar que en el marco del plan de descontaminación de Temuco y Padre las Casas, se desarrollará un diseño de mecanismos de intervención pública para fomentar el reacondicionamiento térmico del parque construido de viviendas y una herramienta de certificación térmica para las viviendas nuevas.

Para la Medida N°5, la norma jurídica vigente que la ampara es el Decreto Supremo N° 100 de 1990, del Ministerio de Agricultura. El mencionado cuerpo normativo se aplica a la Región Metropolitana entre el 1° de abril y 31 de agosto de cada año, y a la provincia del Cachapoal (esta última comprende parte de la zona declarada saturada por MP10 en el Valle Central de la VI Región), en el período comprendido entre el 1° de mayo y 31 de agosto de cada año. Esta medida debiese ser aplicada a los agricultores o forestales quienes utilicen el fuego para eliminar sus rastrojos. Aún cuando no se señala explícitamente a quién queda encomendada su fiscalización, dado que tiene como fundamento legal la Ley de Bosques y normas de control para la agricultura, se estima que la fiscalización debiera corresponder a las autoridades a que se refiere el artículo 11 del Decreto Supremo 276, es decir, CONAF, SAG y Carabineros de Chile.

Para la Medida N°6, la normativa, entes regulados y encargados de fiscalización son los mismos que para la medida anterior. Podemos agregar que para su implementación y aplicación se requeriría de un plan de gestión de quemas agrícolas junto con una modificación de la norma, en el mismo decreto que establece el Plan de Descontaminación Atmosférica, ampliando la restricción de quemas en periodos críticos de ventilación de la atmósfera y con miras a una eliminación gradual de estas prácticas agrícolas y forestales.

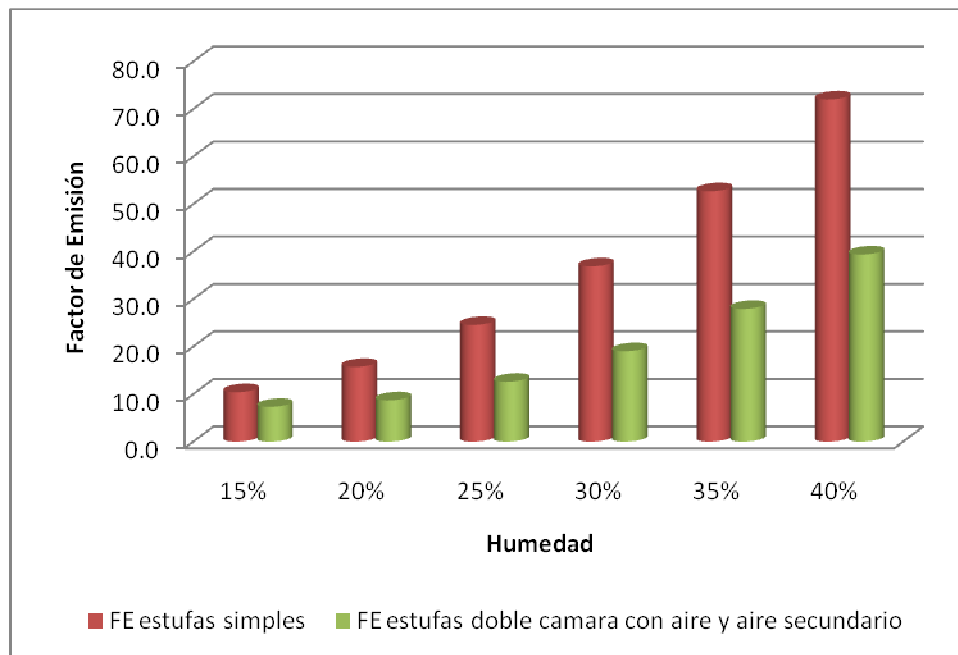
## 4.2.Reducción de Emisiones y Costos para las Principales Medidas Consideradas

En la presente sección evaluamos los efectos de reducción de emisiones atmosféricas y los costos para los agentes económicos regulados.

- **Medida N°1: Mejorar la Calidad de la Leña (Nch2907 del INN, humedad de la leña en base seca menor o igual a 25%).**

A partir de distintos factores de emisiones que aparecen en diversos estudios y fuentes citadas, se realizó una regresión que relacionó los factores de emisión y los contenidos de humedad de la leña. De este metaanálisis se obtuvo que en promedio los factores de emisión se diferencian en un 80,5% entre las estufas simples y las de doble cámara comercializadas en Chile, y además que por cada 5% de aumento en la humedad en promedio los factores de emisión se elevan en promedio 47,4% para las estufas simples y 40,5% para las estufas de doble cámara.

Figura 10: Metaanálisis de Datos de Factores de Emisión de Distintos Estudios



Fuente: Elaboración Propia

Para evaluar los resultados de esta medida se hicieron los siguientes supuestos. El 80% de la leña consumida es húmeda (valores utilizados en Temuco); existe una reducción promedio de un 10% de la humedad de la leña utilizada, así el poder calorífico de la leña aumentaría en 15% (UdeC, 2002), con lo cual se ahorraría el mismo porcentaje de utilización de leña debido a que se puede obtener una mayor energía útil (calor) por unidad de masa cuando la leña esta seca.

Se cumple en un 100% con el secado de la leña, lo cual se debe al éxito de las medidas de fiscalización, subsidio o prohibición de venta de leña húmeda/verde en ciertos meses del año. El precio por metro estéreo de leña es de \$30.189 y suponemos que el aumento de costo de producir leña seca (o comprarla), involucra un desembolso de \$1.631 por metro estéreo (valor de estudio para Temuco actualizado según el IPC).

Los resultados de esta medida fueron calculados con los consumos de leña en kg. para cada comuna considerando zonas urbanas y rurales (Fuente: Casen 2006). La conclusión es que existe un costo de comprar leña seca en vez de húmeda de \$653 millones, pero al mismo tiempo dado el mayor poder calorífico de la leña seca se reduce la necesidad de utilización de una mayor cantidad de ella para generar el mismo nivel de calor en los hogares lo cual produciría un ahorro de \$2.265,5 millones, generando un ahorro neto total de \$1.612,5 millones. Lo anterior, reduciría en 466,4 toneladas las emisiones de MP10 al año (sin considerar un crecimiento de la población ni cambios en la matriz de calefacción de los hogares). Así el resultado señala que es una medida eficiente en términos económicos, ya que produce un ahorro de \$3,5 millones de pesos por tonelada de MP10 reducida.

A lo anterior, debemos complementar con que aún cuando la medida es eficiente, no considera que para el cumplimiento de ella debiesen destinarse costosos recursos en fiscalización, y que además mucha de la leña utilizada puede ser no efectivamente comercializada en mercados formales e incluso la leña de poda de árboles frutales pudiese ser regalada en zonas rurales.

Tabla 13: Reducción de Emisiones y Costos de Medida N°1

Comuna	Costo \$ MM Compra Leña Seca	Ahorro \$ MM por menor compra de leña	Ahorro Neto \$ MM	Ahorro Urbano kg. leña	Ahorro Rural kg. leña	Reducción Ton.MP10	Ahorro \$MM/ton
Rancagua	100,6	349,2	248,5	3727991	1063617	71,9	3,46
Codegua	19,7	68,3	48,6	266225	670824	14,1	3,46
Coinco	15,4	53,6	38,1	568542	166732	11,0	3,46
Coltauco	23,4	81,2	57,8	538972	576015	16,7	3,46
Doñihue	34,3	119,1	84,8	1336489	298198	24,5	3,46
Graneros	34,7	120,5	85,8	779335	874043	24,8	3,46
Machalí	37,0	128,5	91,4	1493162	269759	26,4	3,46
Malloa	20,6	71,5	50,9	106611	875075	14,7	3,46
Mostazal	20,0	69,3	49,3	594136	357206	14,3	3,46
Olivar	12,3	42,7	30,4	273499	312771	8,8	3,46
Quinta de Tilcoco	19,6	67,9	48,3	201596	730508	14,0	3,46
Rengo	43,9	152,1	108,3	1022112	1065886	31,3	3,46
Requínoa	68,8	238,8	169,9	1350962	1925602	49,1	3,46
San Vicente	93,9	325,6	231,8	2520140	1948884	67,0	3,46
San Fernando	46,3	160,7	114,4	1156191	1049405	33,1	3,46
Chimbarongo	44,1	152,9	108,8	426016	1671821	31,5	3,46
Placilla	18,3	63,6	45,3	141324	731449	13,1	3,46
Total	653,0	2265,5	1612,5	16503304	14587796	466,4	3,46

Fuente: Elaboración Propia

- **Medida N°2: Cumplimiento de norma de emisión nacional para equipos nuevos a partir del año 2009.**

Para evaluar los resultados de esta medida se hicieron los siguientes supuestos. Se cumple con la utilización plena de venta de leña seca; todas las familias llegan a utilizar los artefactos requeridos por la norma (los resultados de esta medida pueden ser pensados en el largo plazo); dado que no conocemos el artefacto que se utiliza en cada hogar se ha considerado un factor de emisión de MP10 de 15 g/kg de leña por artefacto y se encuentra en vigencia la norma de emisión para artefactos de leña, es decir, los nuevos artefactos utilizados correctamente emiten aproximadamente 3,5 g/kg (anteproyecto norma de emisión año 2009 y considerado leña seca); y que el costo del artefacto nuevo es de US\$ 900 con un tipo de cambio de \$650.

Tabla 14: Reducción de Emisiones y Costos de Medida N°2

Comuna	Consumo Kg. Leña urbano	Consumo Kg. Leña rural	Delta Ton MP10/Año	Costo \$MM	Costo \$MM/ton
Rancagua	24853275	7090778	367,4	11157,7	30,37
Codegua	1774831	4472160	71,8	1395,8	19,43
Coinco	3790280	1111550	56,4	920,8	16,33
Coltauco	3593150	3840100	85,5	2080,3	24,34
Doñihue	8909924	1987986	125,3	2361,6	18,84
Graneros	5195570	5826952	126,8	2761,8	21,79
Machalí	9954411	1798396	135,2	2222,4	16,44
Malloa	710738	5833835	75,3	1565,5	20,80
Mostazal	3960906	2381376	72,9	1883,7	25,83
Olivar	1823329	2085140	44,9	1367,1	30,42
Quinta de Tilcoco	1343972	4870056	71,5	1377,1	19,27
Rengo	6814082	7105904	160,1	5262,1	32,87
Requínoa	9006414	12837344	251,2	3115,1	12,40
San Vicente	16800936	12992560	342,6	5520,1	16,11
San Fernando	7707943	6996036	169,1	5022,2	29,70
Chimbarongo	2840105	11145471	160,8	3888,5	24,18
Placilla	942160	4876330	66,9	977,0	14,60
Total	122639743	110302071	2678,8	52878,7	19,74

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados señalan que existe un costo total de cumplir con la norma de artefactos nuevos de \$52.878,7 millones (pensando cumplimiento completo sólo en el muy largo plazo), lo que podría reducir 2.679 toneladas de MP10 al año (sin considerar aumento de la población). La medida de costo efectividad señala que tiene un costo de \$19,7 millones por tonelada de MP10 reducida.

Cabe señalar que este costo no considera que para el cumplimiento de la medida debiesen destinarse costosos recursos en fiscalización, catastro de equipos, y que los factores de emisión pudiesen elevarse considerablemente si la leña no es seca o existe mala utilización de los artefactos certificados.

- **Medida N°3: Prohibición de equipos que no sean de “doble cámara” en zonas urbanas**

Para evaluar los resultados de esta medida se hicieron los siguientes supuestos. En el corto plazo se cumple completamente con la prohibición producto de la existencia de multas, denuncias y una alta fiscalización; no se consideran aumento de emisiones producto de cambio de equipos y/o combustibles; el factor de emisión de MP10 utilizado para equipos de doble cámara y aire secundario es 5,6 g/kg y para equipos convencionales es de 15 g/kg.

Tabla 15: Reducción de Emisiones y Costos de Medida N°3

Comuna	Familias sin doble cámara	Familias con doble cámara	Emisión sin doble cámara	Emisión con doble cámara	Delta Ton MP10/Año	Costo \$MM/ton
Rancagua	10475	6939	224,2	55,5	-224,2	multa, cambio combust. o equipo
Codegua	599	397	16,0	4,0	-16,0	multa, cambio combust. o equipo
Coinco	700	463	34,2	8,5	-34,2	multa, cambio combust. o equipo
Coltauco	1303	864	32,4	8,0	-32,4	multa, cambio combust. o equipo
Doñihue	2264	1500	80,4	19,9	-80,4	multa, cambio combust. o equipo
Graneros	2351	1558	46,9	11,6	-46,9	multa, cambio combust. o equipo
Machalí	2008	1330	89,8	22,2	-89,8	multa, cambio combust. o equipo
Malloa	465	308	6,4	1,6	-6,4	multa, cambio combust. o equipo
Mostazal	1540	1020	35,7	8,8	-35,7	multa, cambio combust. o equipo
Olivar	588	389	16,5	4,1	-16,5	multa, cambio combust. o equipo
Quinta de Tilcoco	603	399	12,1	3,0	-12,1	multa, cambio combust. o equipo
Rengo	3479	2304	61,5	15,2	-61,5	multa, cambio combust. o equipo
Requínoa	1276	846	81,3	20,1	-81,3	multa, cambio combust. o equipo
San Vicente	3219	2132	151,6	37,5	-151,6	multa, cambio combust. o equipo
San Fernando	2990	1981	69,5	17,2	-69,5	multa, cambio combust. o equipo
Chimbarongo	1907	1263	25,6	6,3	-25,6	multa, cambio combust. o equipo
Placilla	166	110	8,5	2,1	-8,5	multa, cambio combust. o equipo
Total	35932	23804	1106,5	273,7	-1106,5	multa, cambio combust. o equipo

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados en el corto plazo muestran que tendría un efecto de reducir las emisiones en 1.106 toneladas de MP10 al año. El costo es el valor que tiene para las familias el no poder calefaccionarse (sin restricciones de liquidez es el costo de cambiar equipo y cambio de combustible, y para las familias que no cumplen es el costo de la multa por la probabilidad de ser fiscalizado). En el mediano y largo plazo, las emisiones aumentarían debido a que las familias se calefaccionarían con otros equipos y/o combustibles, lo que produciría un claro aumento de costos por tonelada reducida.

- **Medida N°4: Aislamiento térmico de las viviendas.**

Para evaluar los resultados de esta medida se hicieron los siguientes supuestos, Se clasificaron las viviendas en cuatro categorías; deficitarias, recuperables, aceptables y buenas, todo esto considerando los estados de los muros, techo y piso de acuerdo a los datos de la encuesta Casen 2006 para la zona de saturación. Se supone que existe un subsidio de \$1,3 millones

(valor utilizado en el AGIES de Temuco) para 1000 viviendas por año, y que el consumo medio de leña por vivienda es 2.385 kg, con un precio por metro estéreo de \$30.189. Finalmente, se asume que existen dos escenarios; uno positivo que tiene como fuente un estudio de Ambiente Consultores (2006) que señala que el ahorro máximo de leña producto de la mejor aislación es de un 35%, y un escenario negativo que fue estimado en este estudio asumiendo que sólo se reduce la probabilidad de tener un artefacto a leña pero no el consumo con lo cual el ahorro es de sólo 3,7%.

Tabla 16: Reducción de Emisiones y Costos de Medida N°4

Escenario Anual	Ahorro 35% Ambiente Consultores (2006)	Ahorro 3,7% Mardones y Jiménez (2008)
Nº Viviendas Nuevas con Aislación/año	1000	1000
Subsidio Aislación Vivienda \$MM	1300	1300
Ahorro 35% Menor Consumo Leña	60,8	6,4
Costo Neto Aislación Vivienda \$MM	1239,2	1293,6
Ahorro 35% Menor Consumo Leña en kg	834824,8	88252,9
Reducción de emisiones	12,5	1,3
Costo \$MM/ton MP10	98,96	977,17

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados muestran claramente que esta medida es la menos costo efectiva, aún cuando consideremos el escenario más optimista de Ambiente Consultores (2006) (\$99,0 millones por tonelada reducida de MP10), o en el más negativo y justificado (\$977,2 millones por tonelada reducida de MP10) con datos reales de la zona saturada presentados por los consultores en este informe.

- **Medida N°5: Extender la prohibición del D.S. N° 100 del MINAGRI a todas las comunas de la zona saturada.**

Para evaluar los resultados de esta medida se hicieron los siguientes supuestos. Se incorporaron las quemas agrícolas de las comunas de San Fernando, Chimbarongo y Placilla; los datos de hectáreas por tipo de cultivo provienen del VII Censo Agropecuario del INE; se calcularon con factores de la EPA los desechos anuales y emisiones de MP10 (para los cultivos en los cuales no habían factores específicos se utiliza un factor de desecho de 3,6 g/há y uno de emisiones de 3 g/kg), luego se extrapoló proporcionalmente la reducción de quemas producto de la prohibición a los meses entre abril y agosto.



Tabla 17: Reducción de Emisiones y Costos de Medida N°5

Comuna	Cereales	Leguminosas y Tubérculos	Cultivos industriales	Hortalizas	Flores	Plantas forrajeras	Frutales	Víñas y parronales Viníferos	Viveros	Semilleros	Plantaciones forestales
San Fernando	1858,2	81,5	36,4	285,7	0,7	1082,2	4175,3	1874,6	17,3	1147,3	420,8
Chimbarongo	4353,5	449,9	1645,9	1338,5	2,1	1747,7	4598,2	1602,9	123,5	3809,1	543,2
Placilla	1203,5	19,6	46,6	68,7	0,3	119,2	2224,0	1004,1	10,1	285,5	63,2
Total há nuevas	7415,2	551,0	1728,9	1692,9	3,1	2949,1	10997,5	4481,6	150,9	5241,9	1027,2
Desechos totales	26694,7	3085,6	6224,0	6094,5	11,3	6487,9	57187	25097	543,2	18870,8	161270
MP ton total año	213,6	21,6	18,7	18,3	0,0	45,4	171,6	75,3	1,6	56,6	1290,2
MP ton total abril-agosto	71,2	7,2	6,2	6,1	0,0	15,1	57,2	25,1	0,5	18,9	430,1

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados muestran que la medida permitiría reducir las emisiones totales en 637 toneladas de MP10 entre abril y agosto de cada año. Sin embargo, esta reducción en la realidad debería ser menor a la calculada por dos factores. Primero, ante la prohibición, los agricultores quemarán más desechos en los meses de no prohibición. Segundo, parte de los desechos forestales y de podas, podrían ya estar siendo contabilizados dentro de la leña consumida por los hogares de las áreas rurales, por lo que se estaría sobreestimado la reducción. Los costos de esta medida dependerán del porcentaje de los desechos que efectivamente sean tratados con técnicas alternativas a las quemas agrícolas.

- **Medida N°6: Implementación de un programa para la eliminación de las quemas agrícolas de manera gradual (10 años aprox.).**

Para evaluar los resultados de esta medida se consideraron los siguientes supuestos. Se incorporaron las quemas agrícolas de todas las comunas de la zona saturada. Los datos de hectáreas cultivadas, factores de desechos y emisiones, provienen de las mismas fuentes señaladas en la Medida N°5.

Tabla 18: Reducción de Emisiones y Costos de Medida N°6

	Cereales	Leguminosas y tubérculos	Cultivos industriales	Hortalizas	Flores	Plantas forrajeras	Frutales	Viñas y parronales viníferos	Viveros	Semilleros	Plantaciones forestales
Total há	26388,0	1315,4	3393,4	8334,3	19,4	8120,5	55442,1	11120,2	351,1	9998,7	4751,5
Desechos totales	94996,8	7366,24	12216	30003	69,9	17865	288299	62273	1264	35995	745986
MP ton total	760,0	51,6	36,6	90,0	0,2	125,1	864,9	186,8	3,8	108,0	5967,9
Costo en MM\$ de manejo e incorporación de rastrojos	3387,1	168,8	435,6	1069,8	2,5	1042,3	7116,5	1427,4	45,1	1283,4	609,9
Costo MM\$/ton MP10	4,5	3,3	11,9	11,9	11,9	8,3	8,2	7,6	11,9	11,9	0,1

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados en el largo plazo muestran que la medida tendría un efecto de reducir las emisiones en 8.194 toneladas de MP10. Esta nueva estimación eleva las emisiones de MP10 por concepto de quemas agrícolas al primer lugar de la responsabilidad por las emisiones en la zona saturada. El costo de la medida corresponde a la suma de manejo e incorporación de rastrojos (valores proporcionados por INDAP Región del Bío Bío en un estudio de conservación de suelos para todo el país), la suma asciende a \$16.588 millones. El costo efectividad de la medida tiene un valor promedio de \$8,3 millones/ton, de MP10 reducido, costo que varía por tipo de cultivo.

Sin embargo, esta reducción en la realidad podría variar debido a los siguientes factores; Primero, ante la prohibición, los agricultores podrían optar no cumplir con la normativa. Segundo, parte de los desechos forestales y de podas, estarían siendo utilizadas para calefacción residencial por lo tanto estarían ya contabilizadas dentro de la leña consumida por los hogares. Y finalmente, la reducción de las quemas agrícolas incidirá positivamente en la reducción de incendios forestales.

### 4.3. Propuesta de Medida Adicional No Económica

El problema de la contaminación del Valle Central de la VI Región proviene principalmente de la utilización de leña para calefacción residencial. Situación que se magnifica debido a que gran parte de la leña utilizada se encuentra húmeda o verde lo que sumado a la mala utilización de las estufas, conlleva a elevados niveles de emisión de contaminantes del aire, entre ellos el material particulado respirable (MP10).

En este estudio se propone una medida adicional que no constituye un instrumento económico pero su efecto es evaluado desde la perspectiva del comportamiento económico. La medida consiste en la prohibición de la venta de leña en el periodo enero-septiembre, con la excepción de productores certificados y autorizados para vender leña de buena calidad (leña seca).

Bajo esta lógica si a los productores no les resulta rentable secar la leña para la venta, una forma alternativa de asegurar este requerimiento de calidad es que ésta sea secada en los hogares de los consumidores. Además dado que el consumidor será aquel que utilice la leña para su calefacción obviamente en la época de verano la dispondrá en un lugar en el cual se puede secar al aire, mientras que cuando empiecen las lluvias tratará de cubrirla para que no se moje, es decir, el consumidor internaliza los costos de la leña húmeda, cosa que no realiza el productor.

Aún cuando la prohibición reduce las opciones de compra de leña, se entrega la flexibilidad para que productores certificados puedan vender en el periodo de prohibición, lógicamente esta leña será más cara dado que habrá poca oferta, por lo que el incentivo de los precios más bajos hará que la población adelante sus decisiones de compra de leña en la época de no prohibición. La restricción podría elevar la informalidad por lo cual sería necesario aumentar notablemente la fiscalización en los meses de prohibición.

Esta medida obviamente, puede ser complementada con instrumentos económicos de subsidio o multas, selección de la leña y campañas de educación para la buena utilización de las estufas (los factores de emisión por mala utilización pueden elevarse hasta 9 veces).

## **5. PROPUESTA DE APLICABILIDAD DE INSTRUMENTOS ECONÓMICOS Y HERRAMIENTAS DE GESTIÓN AMBIENTAL**

Hace años, los economistas han tratado de popularizar el uso de instrumentos económicos para disminuir la contaminación ambiental, tratando el problema como una consecuencia de la falta de precios para recursos escasos como un aire limpio (Croper y Oates, 1992). Así los estudios tradicionalmente sugieren que la asignación de mercado es más costo efectiva que los tradicionales instrumentos de comando y control (como los estándares y normas). Sin embargo, el diseño de estos instrumentos aún muestran un número de deficiencias que reducen los beneficios potenciales de usarlos: incertidumbre regulatoria, altos costos de transacción, procesos de aprobación extensos e inciertos, bajo poder de hacer cumplir la ley y concentración de mercado (Montero et al., 2002). Típicamente estos análisis han sido abordados centrando la mirada en las fuentes industriales, mientras en la situación particular del Valle Central de la Región de O'Higgins los principales emisores de contaminantes del aire son los hogares que utilizan estufas a leña como medio de calefacción en los meses fríos y también las quemadas agrícolas.

Por lo anterior, es necesario realizar un análisis de la factibilidad de distintos instrumentos económicos para la implementación del plan considerando la situación particular de la zona saturada y la respuesta que tendrán los agentes regulados desde un punto de vista económico.

Observando los resultados de los informes "Estudio Diagnóstico Plan de Gestión Calidad del Aire VI Región" (DICTUC, 2007) y "Apoyo en Formulación de Plan Descontaminación Valle Central Región de O'Higgins" (Sanhueza, 2008), resulta claro que los instrumentos económicos deben apuntar a dos objetivos. Primero, modificar el comportamiento del gran número de pequeñas fuentes, como son los hogares que utilizan estufas o cocinas a leña. Este cambio

puede ser conseguido mediante la incorporación de impuestos (a la oferta y/o demanda), subsidios (a la oferta y/o demanda), descuentos y/o créditos blandos. En segundo lugar, se debería lograr que los pequeños, medianos y grandes agricultores internalicen el costo ambiental de las quemas agrícolas dentro de su proceso productivo.

Todo lo anterior, complementado con otro instrumento económico como la compensación de emisiones o un sistema de permisos de emisión transable, lo cual entrega la flexibilidad suficiente a los agentes que les resulta muy caro abatir, para que reduzcan emisiones en otras fuentes a las cuales les resulta más económico realizarla.

## 5.1. Instrumentos Económicos

Cualquier medida económica o de comando y control que trate de reducir las emisiones de la combustión de leña, debe partir con mejorar en la calidad del combustible, ya que los estudios realizados para determinar factores de emisión muestran que un artefacto que utiliza leña húmeda o verde genera más del doble de emisiones que el mismo calefactor utilizando leña seca. Además, existe la posibilidad de generar ahorros por menor consumo cuando se utiliza leña seca debido al mayor poder calorífico que esta genera. Es por ello que se debe implementar instrumentos económicos que apunten al apoyo de la producción, comercialización y consumo de leña seca, desincentivando la utilización de leña húmeda o verde que es más contaminante.

Debido a lo anterior, los instrumentos deben fomentar la oferta y demanda por leña seca, afectando a los factores que determinan estas funciones. En el caso de la demanda: el precio de la leña seca, precio de sustitutos energéticos, ingreso, temporada, aislamiento de la vivienda; y en el caso de la oferta, los costos de producción y comercialización de leña que dependen a su vez de la tecnología utilizada y precio de los insumos.

Si el regulador ambiental desea modificar el consumo de leña a través de instrumentos económicos por el lado de la demanda, se debería considerar al menos agregar impuestos a la leña verde, subsidios a la leña seca, cupones de descuento por adquisición de leña a distribuidores de leña seca certificados.

Si el regulador ambiental desea fomentar la oferta de leña seca a través de instrumentos económicos, podría ofrecer subsidios a la inversión en infraestructura de centros de acopio, subsidio al secado de leña e incentivos tributarios a productores o comercializadores de leña seca certificados.

No obstante, se debe considerar que muchas veces medidas que parecen ser inicialmente adecuadas, pueden no serlo desde una perspectiva económica. Por ejemplo, si el subsidio a la leña seca es lo suficientemente atractivo, fomentará el uso de este insumo por sobre el de la leña húmeda, ya que en términos relativos se hace más costoso adquirir esta última, pero no es menos cierto que este subsidio puede hacer que familias que antes se calefaccionaban con otra opción de combustible se cambien a leña producto de lo atractivo que puede ser el subsidio. De ahí la necesidad de una visión económica global del problema.

Instrumentos económicos que aborden el recambio de calefactores antiguos por nuevos y con mayores estándares de emisiones, pueden incluir subsidios al recambio de artefactos, impuestos a la tenencia de estufas obsoletas, financiamiento blando para familias con restricciones de liquidez o descuento por recambio de artefactos. Este último funcionaría de la siguiente forma: “una persona que desee comprar un calefactor a leña en una tienda establecida, puede optar a que se le retire el equipo antiguo con la garantía de que será destruido, y a cambio recibiría un bono de descuento para el calefactor a leña certificado. En términos prácticos se podría adquirir un equipo certificado a un menor precio mientras que se sacaría del parque de estufas un equipo obsoleto.

Cabe repetir que estos instrumentos económicos para el recambio de artefactos no son efectivos si los usuarios utilizan leña húmeda. Además, es necesario reconocer que es imposible una fiscalización apropiada en zonas urbanas ni menos en las rurales. Por ello, algunos estudios proponen una campaña educativa y un cambio cultural, la cual posiblemente tendrán poco efecto si no se establecen los incentivos ni se verifica su cumplimiento en el tiempo.

Con respecto a los instrumentos económicos aplicables a las quemas agrícolas, éstos deben apuntar a que las empresas agrícolas internalicen los costos de preparar sus terrenos y deshacerse de sus desechos y rastrojos, mediante técnicas alternativas a las quemas, como labranza cero, compost u otras. Idealmente en el largo plazo, debiese apuntarse a la eliminación total de la práctica de quemas agrícolas, mientras en el corto o mediano plazo se debe apuntar a gestionar y limitar estas quemas. Esto que aparentemente pudiese ser una medida no económica, se podría transformar en instrumento económico en la medida que existan por ejemplo: programas de subsidios de INDAP, CORFO u otro organismo público para fomentar la práctica de manejos de desechos que no afecten la calidad del aire; aplicación de impuestos para sancionar a aquellos que realicen quemas; o bien se repartan o subasten cupos de quemas, los cuales puedan ser transados como un sistema de permisos de emisión transable.

A las medidas anteriores se agrega un instrumento económico global para toda la zona saturada, que permita la compensación de emisiones a fuentes nuevas o existentes. Por ejemplo, una nueva empresa que desee instalarse en la zona, podría compensar sus emisiones de MP10 mediante una propuesta de recambio de artefactos a leña antiguos por nuevos en un cierto número de hogares y que el potencial de reducción sea equivalente a las nuevas emisiones que generaría el proyecto entrante, así efectivamente se podría optar a compensar nuevas emisiones reduciendo la de otras fuentes.

## **5.2. Aspectos Legales y Administrativos de los Instrumentos Económicos**

En términos legales, según el estudio “Diseño y evaluación de instrumentos económicos para apoyar la producción, comercialización y uso de leña seca”, se concluye que desde el punto de vista jurídico la implementación de instrumentos económicos para apoyar la producción, comercialización y uso de leña seca se presenta con poca factibilidad inmediata. La principal dificultad es que tanto los instrumentos de regulación de tipo tributario como subsidios requieren de la promulgación de una ley lo cual no se vislumbra probable en el corto plazo. Este

inconveniente, no resta atractivo al análisis de su factibilidad económica y de reducción de emisiones en el mediano o largo plazo.

Por otro lado, se debe tomar en cuenta que el monto del subsidio o impuesto, va a ser de primordial importancia para cumplir con las metas propuestas. Si el monto es muy pequeño, se transarían menos unidades de leña seca o de artefactos nuevos, que los necesarios para alcanzar las metas de reducción de MP10. Por el contrario, si el monto es muy alto, se sobrepasaría la meta con el consecuente desperdicio de recursos fiscales. Es necesario señalar también que la promulgación legal de estos impuestos o subsidios, no necesariamente responden a la necesidad de los fondos requeridos para lograr determinada meta, y muchas veces dependen del lobby desarrollado por sectores que representan diversos intereses. Por lo tanto, a estos instrumentos les puede faltar la flexibilidad necesaria para alcanzar la meta de reducción de emisiones.

En términos de implementación, el subsidio a la leña debería tener un mejor funcionamiento que un impuesto ya que una parte importante del mercado de leña es informal. Un impuesto o prohibiciones podrían fomentar la sustitución de los proveedores formales por proveedores informales. Además, la leña no es homogénea en cuanto a su calidad y especie, por lo que de aplicar un impuesto éste debería ser diferenciado según los tipos de leña comercializados, lo cual dificultaría aún más la fiscalización de este impuesto.

Cabe mencionar que existen fondos gubernamentales a través de SERCOTEC, CORFO, INDAP, entre otros, que tienen por objeto el fomento a pequeños productores. Estos fondos pueden ser orientados en la región a facilitar la incorporación del proceso de secado de leña en los productores locales. Sin embargo, lo anterior no es completamente aplicable para toda la zona del valle central de la región de O'Higgins, debido a la gran cantidad de leña consumida y distribuida en las áreas rurales de manera informal proveniente de las podas agrícolas.

Desde el punto de vista administrativo, al plantear un subsidio a la leña seca, implícitamente se está asumiendo que será posible entregarle ese subsidio al consumidor de leña de mejor calidad, lo cual implica determinar exactamente que monto en dinero ha sido transado efectivamente, punto que no es fácil si el mercado de la leña se mueve en la informalidad sin entrega de boletas, y mas aún si la leña utilizada en zonas rurales proviene de las podas de árboles frutales que en algunos casos hasta puede que sea regalada. A la vez, si pensamos en un subsidio al productor de leña seca se requeriría de una formalización legal de la actividad, un proceso de certificaciones y fiscalización para asegurar que la leña transada efectivamente cumpla con los criterios de calidad.

La entrega de créditos blandos por parte del gobierno, permite a las familias que no tienen la suficiente liquidez para comprar una estufa nueva que cumpla con la normativa, pueda adquirirla mediante créditos especiales con bajas tasas de interés y periodos de pago flexibles. Esto marcaría una diferencia, puesto las casas comerciales puede llegar incluso a cobrar tasas de interés de un 70% anual.

La entrega de bonos de descuentos para la compra de artefactos nuevos, permitiría un mayor incentivo al recambio de estufas a leña. Este bono tendría que ser financiado por el gobierno como un subsidio. El procedimiento consiste en que familias podrán entregar estufas antiguas en parte de pago para adquirir una nueva, y a la vez el vendedor debería entregar información



de cómo utilizar el calefactor en forma adecuada para evitar contaminar en exceso. Cabe recordar que el mal uso de estos artefactos puede generar emisiones elevadas de MP10 y a pesar de utilizar leña de buena calidad.

Finalmente, dado que el agricultor tiene una responsabilidad importante en las emisiones de contaminantes a la atmosfera mediante las quemas de rastrojos y la venta u obsequio de las podas de árboles frutales para su uso en las estufas y cocinas a leña. El regulador podría entregar un subsidio, cobrar impuestos, o bien generar cupos de quemas que pudiesen transarse en el mercado como una especie de sistemas de permisos de emisión transable. La idea es provocar que el agricultor internalice los costos sociales de sus practicas de producción, lo que en un nuevo equilibrio de mercado se traduciría en una menor producción agrícola, menores márgenes de utilidades y mayores precios de venta de los productos.

Respecto al funcionamiento de los sistemas de permisos de emisión en Chile, se puede mencionar que la experiencia con el sistema de compensación de emisiones en Santiago no fue exitosa debido a que el sistema no funcionó como se esperaba. Hasta 1998, seis años después de la puesta en práctica de este sistema, gran parte de nuevas calderas no habían comprado permisos y casi no habían ocurrido intercambios entre firmas existentes, por lo que no hubo reducciones de costo. La puesta en marcha de los esfuerzos de monitoreo y fiscalización habían consumido la mayoría de las energías del Programa de Control de Emisiones de Fuentes Fijas PROCEFF (que fue finalmente absorbido por el MINSAL). Esta situación no dejó recursos para apoyar el desarrollo del sistema de permisos de emisión transable, agudizado además por un deficiente nivel de fiscalización. El sector privado mostró sus molestias argumentando que los reguladores habían hecho el sistema demasiado engorroso para las fuentes y que había un continuo cambio de reglas. También se generaron problemas para el sector público, ya que la propiedad de emisiones no estaba bien definida (¿pertenece a la fuente o al dueño?); los tipos de transacciones no estaban definidas claramente (venta o arriendo); la responsabilidad en el caso del incumplimiento era poco clara; y al cambiar las normas de emisión, no quedaba claro el efecto sobre las transacciones ya realizadas. Después de 1998, comenzó a acelerarse el mercado de las calderas, y en los últimos años, el concepto de transacción de emisiones se ha consolidado definitivamente en CONAMA. Actualmente, cualquier proyecto que ingrese al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, y que emita más que una cantidad preestablecida (10 ton. de MP10 por año), debe compensar sus emisiones (Fuente: O’Ryan, 2002).



## **6. ANTECEDENTES PARA LA ESTIMACIÓN DEL IMPACTO SOCIAL Y ECONÓMICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS PRINCIPALES INSTRUMENTOS, PROGRAMAS ESTRATÉGICOS Y MEDIDAS DEL PLAN**

En esta sección se analiza la información relativa a la metodología para estimar costos y beneficios de la implementación de las principales medidas e instrumentos del PDA.

Los costos corresponden a todos aquellos desembolsos que tengan que incurrir los agentes privados, familias y empresas, asociados a medidas que tiendan a limitar o regular quemas de leña residencial o agrícola. La metodología consiste en estimar el costo para un año base a través de información sobre el consumo de leña por hogar con datos de la Encuesta Casen 2006, la humedad de la leña basado en estudios para el PDA de Temuco, las hectáreas de cultivos con el VII Censo Agropecuario, entre otros. Tal como fue calculado en la sección 4.2, pero además se incorpora la evolución temporal, proyectando estos costos con tasas de crecimiento de población y de consumo energético.

Es necesario también identificar en las opciones de regulación del PDA los costos asociados al Estado por la implementación, fiscalización y control de la normativa. Como metodología se definirá el incremento marginal de costos en recursos humanos y materiales respecto a la situación sin PDA, valorizando los fiscalizadores según remuneración de CONAMA y los insumos y materiales a precios de mercado.

Con respecto a la fiscalización desde un punto de vista teórico, lo ideal sería hacer que la multa por la probabilidad de ser pillado si no se cumple con la normativa, es decir, la multa esperada, sea igual al beneficio de no cumplir (el ahorro por comprar leña húmeda y no usar leña seca, no comprar el artefacto que pida la normativa, el ahorro de costos por no incorporar los desechos a la tierra agrícola y simplemente quemarlos, etc.). Por lo tanto, para alcanzar más fácilmente la meta de emisiones debería ser más probable la fiscalización para aquellos agentes que tienen mayores beneficios por no cumplir (en este caso los agricultores). La probabilidad de ser fiscalizado aumenta en función del número de fiscalizadores y recursos físicos de los cuales disponen, pero no hay que olvidar que la multa debe ser efectivamente pagada. Si las condiciones anteriores no se cumplen, lo más probable es que la normativa sea letra muerta o quede sometida a la buena voluntad de los agentes normados. Por todo lo anterior, dado que no conocemos exactamente a priori los costos y beneficios esperados de los agentes regulados, lo ideal en este escenario incierto sería ir iterando (aumentando o disminuyendo) el número de fiscalizadores hasta llegar a los niveles de cumplimiento deseado. En consecuencia el PDA debería dar la flexibilidad suficiente al regulador para modificar los recursos empleados en la fiscalización en función de los resultados obtenidos.

Para la información relativa a beneficios del Plan de Descontaminación, se propone realizar un análisis del impacto de los beneficios de la implementación de la normativa asociados a mejoras en la salud de la población siguiendo la metodología de función de daño a través de funciones concentración-respuesta y calculando su valor monetario con datos estimados por Moreira (2000).

Específicamente, la relación Concentración-Respuesta se define como la función que permite asociar cuantitativamente la concentración ambiental de un contaminante atmosférico, en este caso MP10, con la incidencia en la tasa de mortalidad y morbilidad de la población. En la literatura se ha considerado preferentemente la utilización de impactos lineales de estas funciones (lo cual supone la no existencia de umbrales bajo el cual no existen impactos). Por lo general, las funciones Concentración-Respuesta (C-R) son el resultado de estudios epidemiológicos, cuyo análisis proporciona el valor de la pendiente de la curva C-R, o el riesgo relativo para una variación de la concentración ambiental del contaminante. Las funciones Concentración-Respuesta propuestas en el presente análisis serán extraídas de estudios nacionales e internacionales.

Para estimar los beneficios asociados a la menor morbilidad, generalmente se han utilizado tres enfoques alternativos: costos directos asociados con la enfermedad, gastos preventivos (defensivos) y la valoración contingente. Para la valoración de los beneficios en la salud típicamente se extraen valores de la literatura, en nuestro caso se utilizarán estudios como Cifuentes y Ojeda (1998), Holtz (2000) y Eixhauser (1993).

## **7. EVALUACIÓN DE COSTOS Y BENEFICIOS SOCIALES DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN**

En esta actividad se describen los distintos pasos y alternativas para la estimación de costos y beneficios asociados a la implementación del PDA. Luego, se establecen los supuestos y limitaciones de la evaluación de cada una de las seis medidas propuestas. Para finalmente, realizar la evaluación económica utilizando el Valor Actual Neto (VAN) descontando los flujos netos a la tasa de descuento social de 8% (Fuente: Mideplan), y considerando el horizonte temporal de evaluación para el PDA desde el año 2009 al 2020.

### **7.1. Estimación de Costos para los Agentes Regulados**

La estimación estática de los costos de todas las medidas fueron evaluadas en la sección 4.2, ahí se consideró una cuantificación para el año base. En las medidas para la leña y artefactos el año base fue el año 2006, por la utilización del dato sobre consumo de leña de la Encuesta Casen 2006, mientras para las medidas de reducción de quemas agrícolas, fue el año 2007 al utilizar información de hectáreas plantadas del VII Censo Agropecuario 2007. La proyección de estos costos para el horizonte relevante se realiza con tasas de crecimiento de la población en el caso de las medidas para leña y artefactos, y con tasas de crecimiento promedio (2003-2006) del PIB del sector agrícola regional para las medidas asociadas a las quemas.

La medida N°1 en realidad no es un costo para las familias, ya que aunque deben comprar leña seca más cara, dado su mayor poder calorífico es necesario utilizar una menor cantidad de leña, generando un ahorro neto por lo cual en la Tabla 19 aparece con signo positivo. En la medida N°2 asumimos que por alguna razón (subsidio, incentivos al recambio, etc.) existe un cumplimiento completo a partir del 2009, la idea de hacer este cambio y no evaluar un recambio gradual, es para analizar si esta medida más radical tendría un efecto positivo en el corto plazo,

y no prorratear los resultados al muy largo plazo, en el cual sólo a través del recambio natural de artefactos se llegue a concretar el cambio total de artefactos más eficientes. En la medida N°3 no estimamos explícitamente los costos por falta de datos precisos (no estimado es representado por N.E. en la Tabla 19), pero al menos establecemos que esta sería el menor valor entre las opciones de recibir una multa por no cumplir y ser sorprendido, cambiar el equipo o bien realizar un cambio de combustible. La medida N°4 corresponde a la generación de un subsidio de 1000 viviendas por año, para mejorar su aislación. La medida N° 5 no tiene un costo estimado (N.E.) ya que este representaría una combinación entre los costos de manejo por rastrojos y el costo de adelantar las quemas, dado que no conocemos las preferencias de los agricultores, decidimos no poner un valor pero debería fluctuar entre los dos anteriormente señalados. Para la medida N°6 se asume que los desechos agrícolas crecen a la misma tasa de crecimiento del PIB agrícola de la región de O'Higgins y que existe un perfecto cumplimiento.

Finalmente, para la medida adicional propuesta que consiste en la prohibición de la venta de leña en el periodo enero-septiembre, con la excepción de productores certificados y autorizados para vender leña de buena calidad, no se calcula explícitamente un costo ya que para ello, deberíamos disponer de información más detallada sobre qué tipo de decisiones tomarán los consumidores y productores, además de los costos de producción. A modo intuitivo podríamos asumir que para los consumidores en el peor de los casos existiría el costo de financiamiento para adelantar la compra, y en el mejor de los casos ningún costo si es que no poseen restricciones de liquidez, salvo el costo del desagrado de tener que adelantar sus compras. En el caso de los productores es más difícil estimar los costos sin conocer el proceso, estructura, costos productivos, y costos de oportunidad de los productores.

Los resultados de los costos (en millones de pesos) para las medidas propuestas se pueden apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 19: Costos de Todas las Medidas Consideradas

Costos	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Medida N°1	1667	1685	1703	1721	1739	1757	1775	1791	1808	1825	1842	1858
Medida N°2	-54678	-593	-580	-573	-567	-563	-554	-516	-512	-507	-502	-495
Medida N°3	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Medida N°4	-1294	-1294	-1294	-1294	-1294	-1294	-1294	-1294	-1294	-1294	-1294	-1294
Medida N°5	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Medida N°6	-17949	-19420	-21013	-22736	-24600	-26618	-28800	-31162	-33717	-36482	-39473	-42710

Fuente: Elaboración Propia

## 7.2. Estimación de Costos para el Regulador

La fiscalización del plan contempla la fiscalización de la normativa de humedad de la leña exigiendo a los comerciantes que dispongan de un xilohigrómetro para permitir que el comprador informado pueda verificar el contenido de humedad in situ, la fiscalización de las quemas agrícolas, recambio de artefactos a leña, etc.

En el caso de la Seremi de Salud asumimos la contratación de diez fiscalizadores adicionales para controlar el cumplimiento de la normativa tanto a productores, hogares, como a sectores agrícolas, lo cual se traduce en un monto de 84 millones anuales. Para CONAMA asumimos la contratación de un profesional adicional grado 10º a contrata con un costo anual de 14,4 millones para educación y coordinación del plan. Adicionalmente a la mano de obra se asume que se requerirían al menos dos vehículos para las labores de fiscalización con una inversión total de 20 millones, y costos anuales de combustible y reparaciones de 10,6 millones.

Tabla 20: Costos para el Regulador

Costos Regulación	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Comunicación y Difusión		-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60
Profesional Educación		-14.4	-14.4	-14.4	-14.4	-14.4	-14.4	-14.4	-14.4	-14.4	-14.4	-14.4
Fiscalizadores		-98.4	-98.4	-98.4	-98.4	-98.4	-98.4	-98.4	-98.4	-98.4	-98.4	-98.4
Vehículos Fiscalización	-20											
Combustible y Reparaciones		-10.6	-10.6	-10.6	-10.6	-10.6	-10.6	-10.6	-10.6	-10.6	-10.6	-10.6
Total Costos Regulador (\$MM)	-20	-183.4	-183.4	-183.4	-183.4	-183.4	-183.4	-183.4	-183.4	-183.4	-183.4	-183.4

Fuente: Elaboración Propia

No obstante, los costos de regulación deberían variar en función del grado de cumplimiento obtenido, para obtener los resultados deseados. Es decir, entregar flexibilidad a los entes reguladores con el fin de aumentar o disminuir los recursos humanos y físicos, para cumplir las metas propuestas de reducción de concentraciones.

### 7.3. Estimación de Beneficios

Para la valoración de los beneficios en la salud debido a la reducción en la concentración de material particulado respirable se utilizan los valores reportados en el estudio “Estimación de Beneficios Sociales en Salud Anteproyecto de Revisión de las Normas de Calidad Primaria de Aire Contenidas en la Res N°1215/78 del Ministerio de Salud MINSAL” de Moreira (2000), que a su vez son extraídos de diversos estudios como Cifuentes y Ojeda (1998), Holtz (2000) y Eixhauser (1993).

La población expuesta considerada corresponde a los habitantes de la zona saturada del Valle Central de la Región de O’Higgins, que según proyecciones del INE corresponden a 673.927 personas para el año 2009, con una tasa de crecimiento promedio de largo plazo de 1%.

Para asociar cuantitativamente la concentración de un contaminante atmosférico con la incidencia de un determinado efecto en la salud de la población, se utilizan funciones Concentración-Respuesta. Las funciones Concentración-Respuesta propuestas en el presente análisis fueron extraídas de Cifuentes (2000), las que a su vez fueron seleccionadas de estudios internacionales disponibles sobre MP10.

Para generar el escenario base de la salud de la población se utilizan tasas base de estudios nacionales y de la literatura internacional. Luego, se realiza la proyección para todo el horizonte que considera desde el año 2009 a 2020.

Tabla 21: Efectos Base en la Salud para Valle Central de O'Higgins

Item	Población 2007 Valle O'Higgins	Efectos Base Total/año
Mortalidad Prematura	673927	3025.9
Adm Hosp. Respiratoria	673927	5116.5
Adm Hosp. Cardiovascular	673927	1477.9
Adm. Hosp. Asma	673927	90.3

Fuente: Elaboración Propia

Para estimar los beneficios sociales de los efectos en salud se utiliza el método de la función de daño, el cual considera los siguientes pasos ya mencionados en los párrafos anteriores:

- Estimación del cambio de concentraciones ambientales de los contaminantes que producen efectos en la salud.
- Estimación del cambio en el número de efectos en la salud debido a la reducción en concentraciones ambientales.
- Valoración social de la reducción en los efectos de la salud, basado en la disposición a pagar de la sociedad por reducir cada uno de los efectos.

La reducción de las emisiones en toneladas de MP10 producto de cada medida del PDA son traducidos a reducción de concentraciones de MP10, con la metodología de roll-back utilizando una elasticidad menor a 1 (no se considera la existencia de un nivel background, parte de este efecto esta capturado en la elasticidad). Es posible concluir de la Tabla 22, que en orden de magnitud, la medida 6 reduce un 34,5% las concentraciones; la medida 2 reduce un 11,3% las concentraciones; la medida 3 reduce un 4,7% las concentraciones; la medida 5 reduce un 2,7% las concentraciones; la medida 1 reduce un 2% las concentraciones; mientras la medida 4 no tiene efectos significativos de reducción en la concentración de material particulado.

Tabla 22: Reducción en Concentración de MP10 en Año Base para Valle Central de O'Higgins

Medida	Reducción Emisiones en Ton MP10	Reducción de concentración en ug/m3	% Reducción Medida
Nº1	466.4	66.0	-2.0%
Nº2	2678.8	59.7	-11.3%
Nº3	1106.5	64.2	-4.7%
Nº4	1.3	67.3	0.0%
Nº5	637.6	65.5	-2.7%
Nº6	8194.9	44.1	-34.5%

Fuente: Elaboración Propia

Se utiliza como supuesto para generar el horizonte de proyección del escenario base, que las concentraciones aumentarían un 1% anual sin PDA, este valor se obtuvo como el promedio de las tasas de crecimiento de la media trianual de las concentraciones de MP10 en Rancagua, Mostazal y Codegua. La Tabla 23 muestra la proyección de concentraciones y la reducción estimada de cada una de las medidas evaluadas.

Tabla 23: Proyección de Concentraciones de MP10 para Valle Central de O'Higgins

Delta ug/m3 MP10	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Esc. Base	68.0	68.6	69.3	70.0	70.7	71.4	72.1	72.8	73.5	74.2	75.0	75.7
Esc. Con Medida Nº1	-1.3	-1.3	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4	-1.5	-1.5	-1.5
Esc. Con Medida Nº2	-7.7	-7.7	-7.8	-7.9	-8.0	-8.1	-8.1	-8.2	-8.3	-8.4	-8.5	-8.5
Esc. Con Medida Nº3	-3.2	-3.2	-3.2	-3.3	-3.3	-3.3	-3.4	-3.4	-3.4	-3.5	-3.5	-3.5
Esc. Con Medida Nº4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Esc. Con Medida Nº5	-1.8	-1.8	-1.9	-1.9	-1.9	-1.9	-1.9	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0
Esc. Con Medida Nº6	-23.5	-23.7	-23.9	-24.2	-24.4	-24.6	-24.9	-25.1	-25.4	-25.6	-25.9	-26.1
Esc. Plan Completo	-37.4	-37.8	-38.2	-38.6	-38.9	-39.3	-39.7	-40.1	-40.5	-40.9	-41.3	-41.7

Fuente: Elaboración Propia

La reducción en las concentraciones de MP10 de cada una de las medidas, se traduce en una disminución de número de casos en la morbilidad y mortalidad al aplicar las funciones concentración-respuesta a la población expuesta. Finalmente, el valor de un caso evitado para morbilidad y mortalidad es estimado por una técnica de valoración económica con valores utilizados en otros estudios para Chile. Las Tablas 24 a 29 muestran el cálculo de los beneficios en millones de pesos para cada medida.

Tabla 24: Proyección de Beneficios en Salud en Millones de Pesos de Medida N°1

Medida N°1	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Mortalidad Prematura	1272	1299	1326	1353	1380	1408	1436	1464	1493	1521	1551	1580
Adm Hosp. Respiratoria	10	11	11	11	11	11	12	12	12	12	13	13
Adm Hosp. Cardiovascular	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4
Adm. Hosp. Asma	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Beneficios	1286	1313	1340	1367	1395	1423	1452	1480	1509	1538	1567	1597

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 25: Proyección de Beneficios en Salud en Millones de Pesos de Medida N°2

Medida N°2	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Mortalidad Prematura	7308	7460	7613	7769	7927	8088	8251	8411	8573	8738	8906	9075
Adm Hosp. Respiratoria	60	61	62	63	65	66	67	69	70	71	73	74
Adm Hosp. Cardiovascular	18	19	19	19	20	20	21	21	21	22	22	23
Adm. Hosp. Asma	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Total Beneficios	7386	7540	7695	7852	8012	8175	8339	8501	8665	8832	9001	9172

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 26: Proyección de Beneficios en Salud en Millones de Pesos de Medida N°3

Medida N°3	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Mortalidad Prematura	3018	3081	3145	3209	3274	3341	3408	3474	3541	3609	3679	3749
Adm Hosp. Respiratoria	25	25	26	26	27	27	28	28	29	29	30	31
Adm Hosp. Cardiovascular	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9
Adm. Hosp. Asma	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Beneficios	3051	3114	3178	3243	3309	3377	3444	3511	3579	3648	3718	3789

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 27: Proyección de Beneficios en Salud en Millones de Pesos de Medida N°4

Medida N°4	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Mortalidad Prematura	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Adm Hosp. Respiratoria	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Adm Hosp. Cardiovascular	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Adm. Hosp. Asma	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Beneficios	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 28: Proyección de Beneficios en Salud en Millones de Pesos de Medida N°5

Medida N°5	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Mortalidad Prematura	1739	1776	1812	1849	1887	1925	1964	2002	2041	2080	2120	2160
Adm Hosp. Respiratoria	14	14	15	15	15	16	16	16	17	17	17	18
Adm Hosp. Cardiovascular	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Adm. Hosp. Asma	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Beneficios	1758	1795	1832	1869	1907	1946	1985	2023	2062	2102	2142	2183

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 29: Proyección de Beneficios en Salud en Millones de Pesos de Medida N°6

Medida N°6	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Mortalidad Prematura	22355	22821	23291	23767	24251	24742	25240	25730	26227	26732	27244	27762
Adm Hosp. Respiratoria	182	186	190	194	198	202	206	210	214	218	222	226
Adm Hosp. Cardiovascular	56	57	58	59	60	61	63	64	65	66	68	69
Adm. Hosp. Asma	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Total Beneficios	22595	23066	23540	24022	24510	25007	25510	26005	26508	27018	27536	28060

Fuente: Elaboración Propia

La metodología empleada para valorar los beneficios en la salud representa sólo una cuantificación incompleta del beneficio de la reducción en la contaminación sobre las poblaciones producto de la menor exposición al riesgo de mortalidad y morbilidad. Esto porque no refleja todo el valor que las personas le asignan a evitar casos de enfermedad en ellos o familiares cercanos, ni otros costos como los de prevención. Aunque persisten todavía muchas incertidumbres y supuestos críticos con los estudios basados en funciones de daño tal como este, estos estudios sirven para evaluar las consecuencias en la salud de los actuales niveles de contaminación atmosférica, y para calcular los posibles beneficios que se obtendrían con la disminución de los niveles de contaminación.

Finalmente, con toda la recopilación de información generada en esta sección se procede a realizar la evaluación económica social del PDA del Valle Central de la Región de O'Higgins, considerando las medidas individuales y las medidas agregadas. Esto nos permitirá identificar cuales medidas son más eficientes desde un punto de vista económico, es decir, que los beneficios sociales de ellas sobrepasan a los costos sociales.

Tabla 30: Evaluación Económica Social en Millones de Pesos del PDA

Evaluación Económica Social	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	VAN(8%)
Medida N°1 Beneficios Netos	2953	2998	3043	3088	3134	3180	3227	3272	3317	3363	3409	3455	25735
Medida N°2 Beneficios Netos <sup>□</sup>	-47292	6947	7115	7279	7445	7612	7785	7985	8153	8325	8499	8677	7464
Medida N°3 Beneficios Netos*	3051	3114	3178	3243	3309	3377	3444	3511	3579	3648	3718	3789	27290
Medida N°4 Beneficios Netos	-1290	-1290	-1290	-1290	-1290	-1290	-1290	-1290	-1289	-1289	-1289	-1289	-10497
Medida N°5 Beneficios Netos*	1722	1758	1795	1832	1869	1907	1946	1985	2023	2062	2102	2142	15415
Medida N°6 Beneficios Netos	18131	17410	16576	15622	14538	13314	11934	10363	8611	6660	4495	2095	105142
Costos para el Regulador	-20	-183	-183	-183	-183	-183	-183	-183	-183	-183	-183	-183	-1329
Benef. Netos Todas las Medidas	-22746	30754	30234	29591	28822	27916	26863	25643	24211	22586	20750	18686	169221

Fuente: Elaboración Propia

\* Nota 1: Cota superior de beneficios netos ya que costos no fueron estimados por falta de antecedentes relevantes

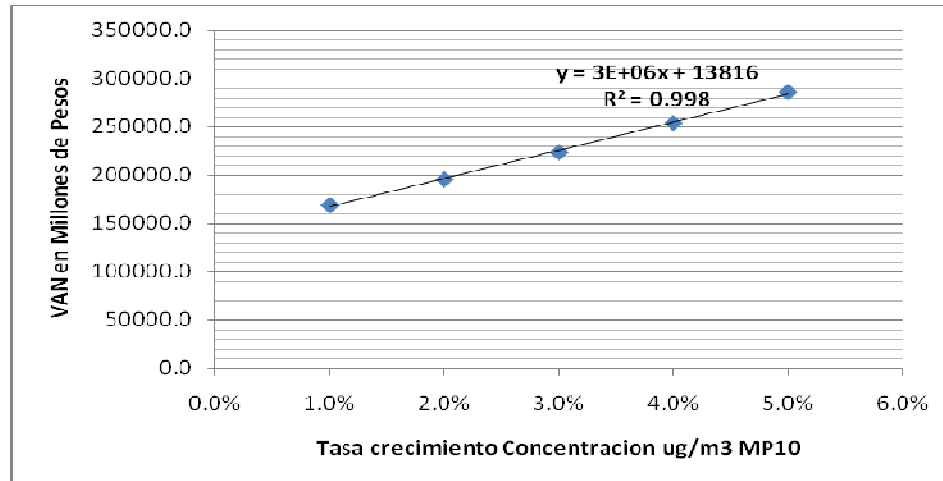
□ Nota 2: Esta medida considera el recambio total de artefactos en el año 2009 más el aumento anual por crecimiento de la población

Los resultados de la evaluación económica reflejan varias conclusiones relevantes. La medida más eficiente desde un punto de vista económico en el corto y mediano plazo es la eliminación de las quemadas agrícolas (Medida N° 6) en el periodo considerado, a pesar de lo anterior es relevante señalar que con el paso del tiempo a muy largo plazo los beneficios netos se irán reduciendo producto de las altas tasas de crecimiento del sector agrícola en la región, por lo cual se llegará a un punto futuro en el tiempo en el cual los costos de esta medida lleguen a ser mayores que los beneficios. La única medida no eficiente desde un punto de vista económico es la aislación de viviendas antiguas debido a su alto costo y escaso aporte para reducir el consumo de leña. La Medida N°2 modificada es eficiente, es decir, incluso haciendo un reemplazo radical de todos los artefactos a leña por otros que emitan menos existe un beneficio mayor que los costos desde un punto de vista de la sociedad. Dada las restricciones de liquidez y en el peor de los casos pobreza para familias que utilicen artefactos obsoletos, podemos concluir que si el Estado decide subsidiar hasta en un 100% la adquisición de nuevos artefactos la sociedad como un todo genera ahorros sociales significativos, aunque estos ahorros se pudiesen reducir si es que la generación de subsidios hace que familias que antes no disponían de estufas decidan cambiarse a este combustible por lo atractivo que pudiese resultar dicho subsidio.

Según todos los antecedentes previos y supuestos subyacentes obtenemos que el PDA tiene un Valor Actual Neto positivo de Millones \$169221. Sin embargo, estamos asumiendo completo cumplimiento de las medidas evaluadas, lo cual obviamente no es un escenario realista, si no se destinan los recursos adecuados para su cumplimiento mediante fiscalización y multas, sin la existencia de campañas educacionales que logren que la población cambie hábitos y tome conciencia del problema que ellos mismos ayudan a generar, sin compromisos claros de las autoridades del gobierno central a diseñar instrumentos de incentivo que permitan hacer un recambio de artefactos a leña, ni que los productores agrícolas hagan lobby para no internalizar los costos de las quemadas agrícolas.

Finalmente, sensibilizamos los resultados del VAN en la evaluación económica con respecto a la tasa de crecimiento de las concentraciones, para la cual asumimos que varía entre las cotas de un 1% y un 5,1%. El 1% se justifica en la tasa de crecimiento del promedio trianual entre 2004 y 2007, mientras la cota máxima del 5,1% se basa en tasas de crecimiento nacional de consumo energético (Fuente: CNE).

Figura 11: Sensibilización de la Evaluación Económica



Fuente: Elaboración Propia

## 8. RECOMENDACIONES DE IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN EN BASE A LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO

Basado en los distintos análisis y resultados obtenidos se realizarán en esta sección recomendaciones para una mejor implementación del Plan de Descontaminación Atmosférico del Valle Central de la Región de O'Higgins.

Con respecto a la prohibición de equipos que no sean de doble cámara podemos afirmar que perjudicará en mayor proporción a las familias de escasos recursos, esta medida es regresiva en términos de distribución del ingreso y eleva la pobreza, ya que a contar del año 2009 sólo estarían disponibles alternativas de calefacción más caras como estufas a parafina, gas y electricidad y también los calefactores a leña certificados y con un mayor costo. Además, para prohibiciones de equipos que no sean de doble cámara se esperaría un grado no menor de incumplimiento en la medida que no exista una adecuada fiscalización y multas que incentiven a los hogares a cumplir con la normativa, más aún cuando la ciudadanía tiene conciencia que el organismo regulador no tiene los recursos para realizar una fiscalización adecuada ni menos la óptima. Por lo anterior, se requiere un incentivo positivo al recambio de equipos, lo que se puede obtener a través de subsidios a la demanda o descuentos por la compra de un calefactor certificado y la entrega del artefacto antiguo como mecanismo para optar al descuento/subsidio, retirando en definitiva calefactores contaminantes para su posterior destrucción y reciclaje.

No existe una justificación clara de por qué la prohibición de venta de equipos a leña se plantea sólo para áreas urbanas de la zona definida dentro del PDA, cuando en las áreas rurales existe un mayor porcentaje de hogares con artefactos a leña que en las áreas urbanas y además el consumo promedio de leña por hogar en las zonas urbanas es mucho menor que los consumos registrados en las zonas rurales. En consecuencia, si es que se implementan restricciones para zonas urbanas, se sugiere ampliarlas a zonas rurales. Aún cuando la implementación de un fiscalización eficaz sería mucho más costosa.

La leña que cumple con los requerimientos de humedad obviamente tiene un mayor costo de producción, debido al tiempo que es necesario mantenerla en stock secándose perdiendo el costo de oportunidad de liquidar la inversión más rápidamente y también lo que involucra la infraestructura de almacenamiento y costos asociados a la certificación. Si no existen incentivos o ayudas a los productores que permitan compensar esos mayores costos, existe el incentivo económico para que a mayor diferencial de precios los consumidores se inclinen por comprar leña con mayor humedad.

En función de lo anterior se sugiere la prohibición de la venta de leña en el periodo enero-septiembre, con la excepción de productores certificados y autorizados para vender leña de buena calidad. Bajo esta situación si a los productores no les resulta rentable secar la leña para la venta, una forma alternativa de asegurar este requerimiento de calidad es que ésta sea secada en los hogares de los consumidores. Además dado que el consumidor será aquel que utilice la leña para su calefacción, obviamente en la época de verano la dispondrá en un lugar en el cual se puede secar al aire, mientras que cuando empiecen las lluvias tratará de cubrirla para que no se moje. En consecuencia, el consumidor internaliza los costos de la leña húmeda, cosa que no realiza el productor. Aún cuando esta prohibición reduce las opciones de compra de leña, se entrega la flexibilidad para que productores certificados puedan vender en el periodo de prohibición, lógicamente esta leña será más cara dado que habrá poca oferta, por lo que el incentivo de los precios más bajos hará que la población adelante sus decisiones de compra de leña en la época de no prohibición. La restricción podría elevar la informalidad por lo cual sería necesario aumentar notablemente la fiscalización en los meses de prohibición.

La mejora en la calidad de la leña es una medida indispensable para que den resultados eficientes las medidas asociadas al cambio de artefactos, debido a que la utilización de leña húmeda provoca que los factores de emisión se elevan al doble o incluso más dependiendo del tipo de calefactor. Sin embargo, la dificultad de esta medida radica en que el 52,1% de la leña consumida en la VI Región proviene de podas de especies frutícolas, esta situación en el contexto de una región con orientación exportadora del sector agroindustrial, nos hace creer que mucha de la leña de poda de los árboles frutícolas es vendida a muy bajo precio o incluso regalada, en las zonas rurales. Lo cual dificulta el desarrollo de un mercado formalizado de la leña para la mayor parte del área geográfica de la zona saturada.

Se determinó en el presente estudio que si bien mejorar la aislación de las viviendas reduce la probabilidad de comprar un artefacto a leña, para aquellas familias que ya lo poseen no cambia sus decisiones de cuántos kg. de leña consumir. Por lo anterior, se concluye que un programa de subsidios para la aislación de las viviendas existentes sería costoso y poco efectivo para reducir las emisiones de MP10. No obstante, dado el primer resultado lo adecuado sería incrementar la aislación de viviendas nuevas.

Las medidas para el sector industrial, tienen poco impacto en las emisiones totales de la zona saturada, ya que los aportes de la industria representan un 1,1% de las fuentes fijas y móviles, y un 0,3% de las emisiones totales de MP10. Se sugiere evaluar la posibilidad de que si existen restricciones a fuentes industriales se permita la compensación de emisiones para otorgar mayor flexibilidad y eficiencia económica.

Tomando en cuenta que las emisiones móviles son relativamente bajas respecto a otras fuentes, consideramos que más que generar nuevas normativas para el parque automotriz de la zona saturada, es recomendable ejercer una fiscalización más estricta en el programa de revisión técnica obligatorio para los vehículos, buses y camiones. Es decir, debemos optimizar la situación base haciendo cumplir las normativas existentes.

Determinamos además, que las quemas agrícolas están claramente subrepresentadas en el inventario de emisiones realizado por el DICTUC (2007), ya que sólo estimaron emisiones de quemas de rastrojos de trigo, avena, cebada y maíz, y no de otros tipos de cultivos importantes en la zona como rastrojos de hortalizas, podas de frutales, cultivos industriales, semilleros, viñas y parronales, entre otros. Debido a lo anterior extender la prohibición del decreto N° 100 del MINAGRI a toda la zona saturada y la eliminación gradual de las quemas agrícolas tendrían un mayor potencial de reducción de emisiones que los niveles consideradas actualmente con el inventario del DICTUC.

La agricultura es una actividad económica y como tal debiese “internalizar” en sus costos de producción el gasto asociado al manejo adecuado de sus desechos los cuales se reflejaran en menores utilidades para el productor o mayores precios de ventas para los intermediarios y consumidores finales. Esto es sin duda necesario para que el valor de la producción revele los verdaderos costos sociales de producción y no se generen externalidades, que terminan siendo pagadas por las personas que ven afectada su salud y calidad de vida. Esta medida tiene el impacto adicional de reducir la probabilidad de incendios forestales, originadas por quemas agrícolas fuera de control.

Las medidas del PDA priorizadas en este estudio para su evaluación de reducción de emisiones y análisis económicos se enumeran a continuación:

- Medida N°1: Mejorar la Calidad de la Leña (NCh 2907 del INN, humedad en base seca menor o igual a 25%).
- Medida N°2: Cumplimiento de norma de emisión nacional para equipos nuevos a partir del año 2009.
- Medida N°3: Prohibición de equipos que no sean de “doble cámara” en zonas urbanas.
- Medida N°4: Aislamiento térmico de las viviendas.
- Medida N°5: Extender la prohibición del D.S. N° 100 del MINAGRI a todas las comunas de la zona saturada.
- Medida N°6: Implementación de un programa para la eliminación de las quemas agrícolas de manera gradual (10 años aprox.).

Los resultados de la Medida N° 1 arrojan que existe un costo de comprar leña seca en vez de húmeda, pero al mismo tiempo dado el mayor poder calorífico de la leña seca se reduce la necesidad de utilización de una mayor cantidad de ella para generar el mismo nivel de calor en

los hogares lo cual produciría un un ahorro neto total de \$1.612,5 millones en el año base. Esto reduciría en 466,4 toneladas las emisiones de MP10 al año. Así el resultado señala que es una medida eficiente en términos económicos, ya que produce un ahorro de \$3,5 millones de pesos por tonelada de MP10 reducida. Además de lo anterior, producto de los beneficios en salud se genera un VAN social positivo de \$25.735 millones de pesos.

Los resultados de la Medida N° 2 señalan que existe un costo total de cumplir con la norma de artefactos nuevos de \$52.878,7 millones, considerando un cumplimiento completo en el muy largo plazo, lo que podría reducir 2.679 toneladas de MP10 al año. El indicador de costo efectividad señala que tiene un costo de \$19,7 millones por tonelada de MP10 reducida. Además, producto de los beneficios en salud se genera un VAN social positivo de \$7.464 millones de pesos. Sin embargo, no se considera que para el cumplimiento de la medida debiesen destinarse costosos recursos en fiscalización, catastro de equipos, que los factores de emisión pudiesen elevarse considerablemente si la leña no es seca o existe mala utilización de los artefactos certificados, así como también que la medida tiene serios efectos sobre las familias más pobres de la zona que simplemente no dispondrían de los recursos para adquirir artefactos más eficientes.

Los resultados de la Medida N° 3 arrojan que en el corto plazo tendría un efecto de reducir las emisiones en 1.106 toneladas de MP10 al año. El costo es el valor que tiene para las familias el no poder calefaccionarse (sin restricciones de liquidez es el costo de cambiar equipo y cambio de combustible, y para las familias que no cumplen es el costo de la multa por la probabilidad de ser fiscalizado). En el mediano y largo plazo, las emisiones aumentarían debido a que las familias se calefaccionarían con otros equipos y/o combustibles más caros, lo que produciría un claro aumento de costos por tonelada reducida. Dado los beneficios en la salud de la población la cota superior del VAN social de esta medida sería de \$27.290 millones, los cuales se ven severamente reducidos al considerar los costos no cuantificados mencionados anteriormente.

Los resultados de la Medida N° 4 muestran claramente que esta medida es la menos costo efectiva, aún cuando consideremos el escenario más optimista de Ambiente Consultores (2006) con un costo de \$99,0 millones por tonelada reducida de MP10), o en el más negativo y justificado por nosotros con datos reales de la zona saturada con un costo de \$977,2 millones por tonelada reducida de MP10. Aun considerando los beneficios en la salud de la población esta medida tiene un VAN social negativo de \$10.497 millones.

Los resultados de la Medida N° 5 señalan que permitiría reducir las emisiones totales en 637 toneladas de MP10 entre abril y agosto de cada año. Sin embargo, esta reducción en la realidad debería ser menor a la calculada por dos factores. Primero, ante la prohibición, los agricultores quemarán más desechos en los meses de no prohibición. Segundo, parte de los desechos forestales y de podas podrían ya estar siendo contabilizados dentro de la leña consumida por los hogares de las áreas rurales, por lo que se estaría sobreestimado la reducción. Los costos de esta medida dependerán del porcentaje de los desechos que efectivamente sean tratados con técnicas alternativas a las quemas agrícolas. Tomando en cuenta los beneficios en la salud de la población la cota superior del VAN de esta medida sería \$ 15.415 millones, los cuales se ven severamente reducidos al considerar los costos no cuantificados y mencionados anteriormente.



Los resultados de la Medida N° 6 muestran que la medida tendría un efecto de reducir las emisiones en 8.194 toneladas de MP10. El costo de la medida corresponde a la suma de manejo e incorporación de rastrojos los cuales ascenderían a \$16.588 millones. El costo efectividad de la medida tiene un valor promedio de \$8,3 millones/ton de MP10 reducida, costo que varía por tipo de cultivo. El VAN social de esta medida considerando los beneficios en la salud de la población corresponde a \$ 105.142 millones.

La priorización económica de las seis medidas evaluadas nos permite afirmar lo siguiente. Dado que según el estudio de Sanhueza (2008) sería necesario disminuir las concentraciones en un 35,5% respecto al año base, si existiera un completo cumplimiento de la Medida N° 6 y la Medida N° 1 (ver Tabla 22), llegaríamos a niveles de calidad de aire aceptables. Por lo anterior, podemos concluir que con perfecto cumplimiento sería necesario concentrarse sólo en estas dos medidas, por ser más eficientes en términos de reducción de emisiones y en términos económicos. Al contrario con imperfecto cumplimiento es necesario ir agregando más medidas que en orden de prioridad serían la Medida N° 3 y N°5.

Finalmente, podemos mencionar que el problema adicional que surge en general con las medidas de este plan, es que los agentes beneficiados no son necesariamente los que pagan los altos costos. Los beneficios en la salud son recibidos por todos los habitantes de la zona del Valle Central de la Región de O'Higgins. Mientras, las restricciones a la utilización de artefactos y leña afectan principalmente a las familias que utilizan este medio de calefacción, los cuales en muchos casos serán impactados negativamente en sus ingresos producto de tales normativas. A la vez, la prohibición de quemas agrícolas se traduce en una reducción del atractivo económico de la actividad por lo cual se esperaría respecto al escenario base sin plan una reducción del pago a los factores productivos, incluyendo el trabajo. Tomando en cuenta este aspecto redistributivo, es necesario en consecuencia una mirada integral del problema desde la autoridad central, para generar programas e incentivos a los consumidores y productores de leña, así como también a los agricultores que son los que se llevan la carga más pesada de los costos privados producto del PDA.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Baumol, W. y W. Oates 1988. *The Theory of Environmental Policy*. Cambridge University Press. Second Edition.

Bravo, R. 2000. "Proposición y Evaluación de Instrumentos de Incentivo Económico para Mejorar la calidad del Aire en Santiago: Aplicación al Caso de Fuentes Fijas". Tesis para Optar al Título de Ingeniero Civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Sin Publicar.

Carrasco, J.C. 2004. "Costos de Abatimiento de Emisiones de Material Particulado: Aplicación al Caso de Fuentes Fijas en Talcahuano-Chile". Borrador de Tesis para Optar al Grado Académico de Magister en Administración y Economía de Empresas. Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Universidad de Concepción. Chile. Sin Publicar.

Genma (2007). "Estudio Diagnóstico Fuentes De Emisión Responsables Del Material Particulado Respirable. MP10 En Rancagua".

Cifuentes, L. (2000). "Estimación de los beneficios sociales de la reducción de emisiones y concentraciones de contaminantes atmosféricos en la Región Metropolitana", documento preparado para la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). Pontificia Universidad Católica de Chile.

Chávez et al. (2008). "Diseño y Evaluación de Instrumentos Económicos para Apoyar la Producción. Comercialización y Uso de Leña Seca" PDA de Temuco y Padre las Casas".

CONAMA. "Antecedentes Borrador Decreto Zona Saturada".

CONAMA. "Estaciones de Monitoreo de Calidad del Aire Región de O'Higgins".

DICTUC (2007). "Estudio Diagnóstico Plan de Gestión Calidad del Aire VI Región".

Freeman, A.M. III (1993). *The Measurement of Environmental and Resource Values (Resources for the Future, Washington DC)*.

Hanley, N. ; J. Shogren; y B. White. 1997. *Environmental Economics in Theory and Practice*. Oxford University Press.

Holz (2000). "Estimación de Costos Unitarios en Morbilidad y Mortalidad y su aplicación para calcular los Beneficios del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana".

Mardones, C. 2006. Impacto de la Percepción de la Calidad del Aire sobre el Precio de las Viviendas en Concepción-Talcahuano. Chile. Cuadernos de Economía. Vol. 43. N° 128. pp. 301-330. 2006.

Mardones, C. (2008). “Análisis General del Impacto Económico y Social del Plan de Prevención del Gran Concepción”, documento preparado para la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) Región del Bío Bío.

Mardones, C. (2007). “Análisis General del Impacto Económico y Social del Plan de Descontaminación de MP10 de Chuquicamata”. documento preparado para la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) Región de Antofagasta.

Montero, J.-P. (2003): Market-based policies for urban air pollution with evidence from Santiago-Chile. Working Paper. Department of Economics. PUC.

Montero, J. P.; Sánchez. J. M. y Katz. R. (2002): «A market-based environmental policy experiment in Chile». Journal of Law and Economics. XLV. 267-287.

Ostro, B. D., G. S. Eskeland. et al. (1999). “Air Pollution and Health Effects: A Study of Medical Visits among Children in Santiago, Chile.” Environmental Health Perspectives 107(1): 69-73.

Sanhueza (2006). “Estudio Básico “Análisis Efectos en Salud por Material Particulado Respirable (PM10) y Ozono (O3) en la VI Región”.