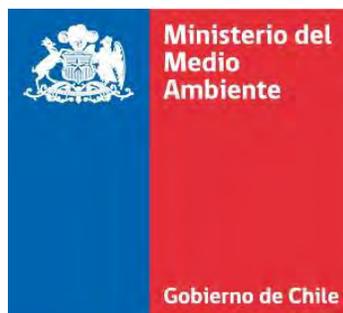




**PROPUESTA DE REGULACIONES PARA LA REDUCCIÓN
DEL $MP_{2,5}$, SUS PRECURSORES Y CONTAMINANTES QUE
AFECTEN AL CAMBIO CLIMÁTICO, PARA LAS DISTINTAS
FUENTES ESTACIONARIAS DE LA REGIÓN
METROPOLITANA**

Informe Final

Preparado para:



JUNIO, 2014

CENTRO MARIO MOLINA CHILE
Av. Providencia 2133, Of. 603, Santiago, Chile

Contenidos

RESUMEN EJECUTIVO	9
1 ANTECEDENTES	19
1.1 EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS MEDIDAS DEL PLAN VIGENTE	19
1.1.1 <i>Evaluación de las medidas con mayor impacto en reducción de emisiones</i>	20
1.2 EVALUACIÓN DE LOS PROGRAMAS ESTRATÉGICOS DEL PLAN VIGENTE	25
1.3 EVOLUCIÓN Y TENDENCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE DE SANTIAGO	28
1.1.2 <i>Recopilación y análisis de estudios referidos a calidad y caracterización fisicoquímica del MP</i> . 28	
1.1.3 <i>Recopilación y análisis de estudios de contaminantes no normados</i>	45
1.1.4 <i>Recopilación y análisis de estudios de impacto en salud</i>	50
1.4 ANÁLISIS DE DATOS DE CALIDAD DEL AIRE EXISTENTES RELACIONADO CON CONTAMINANTES QUE CONTRIBUYEN AL CAMBIO CLIMÁTICO.	53
1.5 ELEMENTOS CRÍTICOS PARA EL DISEÑO DE UN PLAN DE DESCONTAMINACIÓN DEL MP _{2,5} Y PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GEI.....	54
2 ENFOQUE ESTRATÉGICO	59
2.1 GENERACIÓN DE PROPUESTAS DE ENFOQUE ESTRATÉGICO Y LÍNEAS DE ACCIÓN EN EL CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO. 59	
2.1.1 <i>Enfoque estratégico</i>	59
2.1.2 <i>Experiencias más importantes de la aplicación del PPDA 2009</i>	65
2.2 METAS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES.....	67
2.1.3 <i>Determinación de necesidades de actualización del PPDA</i>	70
2.1.4 <i>Relación del nuevo plan con PPDA vigente</i>	71
2.1.5 <i>Recomendaciones legales para un PPDA para el MP_{2,5}</i>	72
3 PROPUESTAS DE MEDIDAS DE CONTROL	75
3.1 DEFINICIÓN DE LÍNEAS DE ACCIÓN Y MEDIDAS CON POTENCIAL IMPORTANTE DE REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.....	75
3.1.1 <i>Medidas para la reducción de emisiones en el sector de transporte</i>	77
3.1.2 <i>Medidas para la reducción de emisiones en el sector de generación eléctrica regional</i>	88
3.1.3 <i>Medidas para la reducción de las emisiones en fuentes industriales existentes</i>	90
3.1.4 <i>Medidas para la reducción de emisiones en el sector residencial</i>	101
3.1.5 <i>Medidas para la reducción de emisiones en el sector agropecuario</i>	106
3.1.6 <i>Medidas para la reducción de emisiones en el sector comercial</i>	107
3.2 PRIORIDADES DENTRO DE LAS LÍNEAS DE ACCIÓN	111
3.3 RECOMENDACIÓN DE ESTRATEGIAS DE CORTO Y LARGO PLAZO QUE PERMITAN GARANTIZAR LA CALIDAD DEL AIRE EN UN PLAZO DETERMINADO.	116
3.3.1 BENEFICIOS EN CALIDAD DEL AIRE	118
3.3.2 COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE CORTO PLAZO	119
3.3.3 FINANCIAMIENTO DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN	119
3.4 RECOMENDACIÓN DE ESTRATEGIAS QUE PERMITAN CONTROLAR LOS CONTAMINANTES QUE AFECTAN EL CAMBIO CLIMÁTICO.	125
3.4.1 BALANCE DE ENERGÍA REGIONAL 2012	126
3.4.2 EMISIONES REGIONALES DE CO ₂	129
3.5 MEDIDAS PARA LA REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES DE GEI	131

3.5.1	EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	132
3.5.2	TRANSPORTE.....	134
3.6	EVALUACIÓN DE MEDIDAS IDENTIFICADAS PARA EL CONTROL DE EMISIONES DE GEI.....	136
3.7	ANÁLISIS LEGAL: EL NUEVO PLAN DE DESCONTAMINACIÓN PARA MP _{2,5} DEBE DEROGAR O NO EL PPDA EXISTENTE.	139

Índice de Figuras.

FIGURA 1: EVOLUCIÓN DEL PROMEDIO ANUAL DE CONCENTRACIÓN DE $MP_{2,5}$ EN LAS ESTACIONES DE LA RED MACAM QUE CUENTAN CON DATOS DESDE EL AÑO 2000.	9
FIGURA 2: IMPACTO DE EMISIONES DIRECTAS DE SIA Y $MP_{2,5}$ EN LA MACRO ZONA CENTRAL	10
FIGURA 3. PERFIL PROMEDIO DIARIO DE $MP_{2,5}$ MEDIDO EN ESTACIÓN PARQUE O'HIGGINS	10
FIGURA 4. PROCESO DE CAMBIOS ESTRUCTURALES PARA EL CONTROL DE PARTÍCULAS Y SUS PRECURSORES.	11
FIGURA 5: FACTORES DE EMISIÓN ($MP_{2,5}$ Y NOx) POR SECTOR ECONÓMICO	12
FIGURA 6: ESTIMACIÓN DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DE $MP_{2,5}$ DIRECTO [TON/AÑO].	17
FIGURA 7: EMISIONES DE CO_2 AL AÑO 2030.	18
FIGURA 8. DISTRIBUCIÓN TECNOLÓGICA DE BUSES CON NORMATIVA EUROPEA DE EMISIONES (EURO) Y FILTROS DPF.	20
FIGURA 9. NÚMERO DE EPISODIOS ANUALES EN ALERTA, PREEMERGENCIA Y EMERGENCIA, DESDE 1997 AL 2012.	26
FIGURA 10. EL ÁREA MARCADA CORRESPONDE AL BENEFICIO AMBIENTAL DE LOS EPISODIOS MÁS CRÍTICOS CONSTATADOS EN 1997 Y 2012.	27
FIGURA 11. RELACIÓN ENTRE LA CONCENTRACIÓN DE MP_{10} PROMEDIO ANUAL Y LA EXPOSICIÓN DE LA POBLACIÓN DURANTE EL EPISODIO MÁS CRÍTICO CONSTATADO DESDE 1997 AL 2012.	27
FIGURA 12: EVOLUCIÓN DEL PERCENTIL 98 DE CONCENTRACIÓN DE 24 HRS. INDICADOS EN LA SERIE ESTÁN TANTO LA CONCENTRACIÓN COMO LA ESTACIÓN MACAM QUE PRESENTÓ LA MÁXIMA CONCENTRACIÓN ANUAL.....	28
FIGURA 13: EVOLUCIÓN DEL PROMEDIO TRIANUAL DEL CONCENTRACIÓN ANUAL. INDICADOS EN LA SERIE ESTÁN TANTO LA CONCENTRACIÓN COMO LA ESTACIÓN MACAM QUE PRESENTÓ LA MÁXIMA CONCENTRACIÓN ANUAL.....	29
FIGURA 14: PERCENTIL 98 Y PROMEDIO ANUAL DE CONCENTRACIÓN DE MP_{10} EN ESTACIONES RED MACAM CON DATOS DESDE EL 2000.	30
FIGURA 15: PERCENTIL 98 Y EL PROMEDIO ANUAL DE CONCENTRACIÓN DE MP_{10} NUEVAS DE LA RED MACAM.	31
FIGURA 16: EVOLUCIÓN DEL PERCENTIL 98 DE CONCENTRACIÓN DE 24 HORAS. INDICADOS EN LA SERIE ESTÁ TANTO LA CONCENTRACIÓN COMO LA ESTACIÓN MACAM QUE PRESENTÓ LA MÁXIMA CONCENTRACIÓN ANUAL.....	32
FIGURA 17: EVOLUCIÓN DEL PROMEDIO TRIANUAL DEL CONCENTRACIÓN ANUAL. INDICADOS EN LA SERIE ESTÁN TANTO LA CONCENTRACIÓN COMO LA ESTACIÓN MACAM QUE PRESENTÓ LA MÁXIMA CONCENTRACIÓN ANUAL.....	32
FIGURA 18: EVOLUCIÓN DEL PERCENTIL 98 Y EL PROMEDIO ANUAL DE CONCENTRACIÓN DE $MP_{2,5}$	33
FIGURA 19: EVOLUCIÓN DEL PERCENTIL 98 Y EL PROMEDIO ANUAL DE CONCENTRACIÓN DE $MP_{2,5}$ LAS ESTACIONES NUEVAS DE LA RED MACAM.....	33
FIGURA 20. IDENTIFICACIÓN DE CONTRIBUCIÓN POR FUENTES EN LA ESTACIÓN PARQUE O'HIGGINS.	34
FIGURA 21: EVOLUCIÓN DEL PROMEDIO TRIANUAL DEL PERCENTIL 99 DE CONCENTRACIÓN DE 8 HORAS. INDICADOS EN LA SERIE ESTÁN TANTO LA CONCENTRACIÓN COMO LA ESTACIÓN MACAM QUE PRESENTÓ LA MÁXIMA CONCENTRACIÓN ANUAL. ...	35
FIGURA 22: EVOLUCIÓN DEL PROMEDIO TRIANUAL DEL PERCENTIL 99 DE CONCENTRACIÓN DE 1 HORAS. INDICADOS EN LA SERIE ESTÁN TANTO LA CONCENTRACIÓN COMO LA ESTACIÓN MACAM QUE PRESENTÓ LA MÁXIMA CONCENTRACIÓN ANUAL... ..	35
FIGURA 23: CONCENTRACIÓN ANUAL DE 8 HORAS DE CO EN TODAS LAS ESTACIONES DE LA RED MACAM.....	36
FIGURA 24: EVOLUCIÓN DEL PROMEDIO TRIANUAL DEL PERCENTIL 99 DE CONCENTRACIÓN DE 8 HORAS. INDICADOS EN LA SERIE ESTÁ TANTO LA CONCENTRACIÓN COMO LA ESTACIÓN MACAM QUE PRESENTÓ LA MÁXIMA CONCENTRACIÓN ANUAL.	37
FIGURA 25: CONCENTRACIÓN ANUAL DE 8 HORAS DE O_3 EN TODAS LAS ESTACIONES DE LA RED MACAM.....	37
FIGURA 26. PROMEDIOS DE 8 HORAS DE OZONO TROPOSFÉRICO ENTRE 1997 Y 2012 EN LAS ESTACIONES DE LA RM.	39
FIGURA 27. NÚMERO DE VECES QUE SE HA SOBREPASADO LA NORMA PRIMARIA EN LAS ESTACIONES DE MONITOREO LAS CONDES, SANTIAGO CENTRO Y CERRILLOS	39
FIGURA 28: EVOLUCIÓN DEL PROMEDIO TRIANUAL LA CONCENTRACIÓN ANUAL. INDICADOS EN LA SERIE ESTÁN TANTO LA CONCENTRACIÓN COMO LA ESTACIÓN MACAM QUE PRESENTÓ LA MÁXIMA CONCENTRACIÓN ANUAL.....	40
FIGURA 29: EVOLUCIÓN DEL PROMEDIO TRIANUAL DEL PERCENTIL 99 DE CONCENTRACIÓN DE 24 HORAS. INDICADOS EN LA SERIE ESTÁN TANTO LA CONCENTRACIÓN COMO LA ESTACIÓN MACAM QUE PRESENTÓ LA MÁXIMA CONCENTRACIÓN ANUAL.	40

FIGURA 30: CONCENTRACIÓN ANUAL DE 24 HORAS DE SO ₂ EN TODAS LAS ESTACIONES DE LA RED MACAM.....	41
FIGURA 31: PRODUCCIÓN NACIONAL DE COMBUSTIBLES DERIVADO DEL PETRÓLEO.	42
FIGURA 32: EVOLUCIÓN DEL PROMEDIO TRIANUAL LA CONCENTRACIÓN ANUAL. INDICADOS EN LA SERIE ESTÁN TANTO LA CONCENTRACIÓN COMO LA ESTACIÓN MACAM QUE PRESENTÓ LA MÁXIMA CONCENTRACIÓN ANUAL.....	43
FIGURA 33: EVOLUCIÓN DEL PROMEDIO TRIANUAL DEL PERCENTIL 99 DE CONCENTRACIÓN DE 1 HORA. INDICADOS EN LA SERIE ESTÁN TANTO LA CONCENTRACIÓN COMO LA ESTACIÓN MACAM QUE PRESENTÓ LA MÁXIMA CONCENTRACIÓN ANUAL....	43
FIGURA 34: CONCENTRACIÓN MÁXIMA ANUAL DE 24 HORAS DE NO ₂ EN ALGUNAS LAS ESTACIONES DE LA RED MACAM.	44
FIGURA 35: CONCENTRACIÓN MÁXIMA ANUAL DE 24 HORAS DE NO ₂ EN ALGUNAS LAS ESTACIONES DE LA RED MACAM.	44
FIGURA 36: PROMEDIOS DIARIOS DE CONCENTRACIÓN DE MP _{2,5} EN PARQUE O’HIGGINS. MUESTREADOR DICOTÓMICO.....	45
FIGURA 37: PORCENTAJE DE Pb EN EL MP _{2,5} POR AÑO, MEDIDO EN LA ESTACIÓN PARQUE O’HIGGINS. PUNTOS DE COLOR ROJO INDICAN MEDIAS. LOS INTERVALOS CORRESPONDEN A LA DIFERENCIA MÍNIMA SIGNIFICATIVA DE FISHER (LSD).....	45
FIGURA 38: PORCENTAJE DE S EN EL MP _{2,5} POR AÑO, MEDIDO EN LA ESTACIÓN PARQUE O’HIGGINS. PUNTOS DE COLOR ROJO INDICAN MEDIAS. LOS INTERVALOS CORRESPONDEN A LA DIFERENCIA MÍNIMA SIGNIFICATIVA DE FISHER (LSD).....	46
FIGURA 39: PORCENTAJE DE V EN EL MP _{2,5} POR AÑO, MEDIDO EN LA ESTACIÓN PARQUE O’HIGGINS. PUNTOS DE COLOR ROJO INDICAN MEDIAS. LOS INTERVALOS CORRESPONDEN A LA DIFERENCIA MÍNIMA SIGNIFICATIVA DE FISHER (LSD).....	47
FIGURA 40: PORCENTAJE DE K EN EL MP _{2,5} POR AÑO, MEDIDO EN LA ESTACIÓN PARQUE O’HIGGINS. PUNTOS DE COLOR ROJO INDICAN MEDIAS. LOS INTERVALOS CORRESPONDEN A LA DIFERENCIA MÍNIMA SIGNIFICATIVA DE FISHER (LSD).....	48
FIGURA 41: CONCENTRACIÓN DE MP _{2,5} Y CARACTERIZACIÓN QUÍMICA REALIZADA DURANTE DISTINTOS AÑOS.	49
FIGURA 42: TENDENCIA DE AUMENTO DE LA PARTICIPACIÓN DE COMPONENTES ORGÁNICOS EN EL MP _{2,5}	50
FIGURA 43: ESQUEMA GENERAL DE LA AGRUPACIÓN DE DETERMINADOS CONTAMINANTES DE CAMBIO CLIMÁTICO Y CALIDAD DEL AIRE. ELABORACIÓN PROPIA.	54
FIGURA 44: DISTRIBUCIÓN DE CARBÓN FÓSIL Y NO FÓSIL EN EL MP _{2,5} DE LA RM. IZQUIERDA: SITIO URBANO. DERECHA: SITIO RURAL.	55
FIGURA 45: DIFERENCIACIÓN ENTRE AEROSOL ORGÁNICO SECUNDARIO ENVEJECIDO (LV-OOA), AEROSOL ORGÁNICO SECUNDARIO RECIÉN FORMADO (SV-OOA), AEROSOL DE BIOMASA (BBOA) Y AEROSOL PRIMARIO REDUCIDO (HOA) EN LA RM DURANTE INVIERNO Y VERANO EN LA RM, AÑO 2011. SE PRESENTA UN ESQUEMA QUE DIFERENCIA CUÁLES SON PRIMARIOS Y CUÁLES SON SECUNDARIOS. LA TORTA SOLO CONSIDERA LA FRACCIÓN ORGÁNICA DEL MP _{2,5}	55
FIGURA 46. PRINCIPALES EVENTOS ASOCIADOS A LA REDUCCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MP ₁₀ EN LA SERIE DE TIEMPO 1989- 2012.	59
FIGURA 47. FACTORES DE EMISIÓN PROMEDIO DE MP _{2,5} Y NOX POR SECTOR ECONÓMICO.	61
FIGURA 48. DISTRIBUCIÓN DE RESPONSABILIDADES INSTITUCIONALES EN EL CONTROL DE EMISIONES DIRECTAS DE MP _{2,5}	66
FIGURA 49. PERCENTIL 98 PROMEDIOS 24 HORAS AÑO 2012, ESTACIÓN PARQUE O’HIGGINS.	67
FIGURA 50. MP DIRECTO - APORTE DE TODAS LAS FUENTES / JUNIO 1 2012 PERCENTIL 98.....	68
FIGURA 51. PERFIL PROMEDIO DIARIO DE MP _{2,5} MEDIDO EN PARQUE O’HIGGINS Y MP _{1,0} NO REFRACTARIO (ACSM) + CARBONO ELEMENTAL (SIMCA) EN USACH.....	68
FIGURA 52. RATIO ENTRE BACKGORUND URBANO Y PROMEDIOS DIARIOS MP _{2,5} EN DÍAS DE EPISODIOS DEL INVIERNO 2012	69
FIGURA 53. COMPOSICIÓN PROMEDIO DEL BACKGROUND URBANO (USACH) DE CUATRO EPISODIOS 2012	69
FIGURA 54. COMPOSICIÓN PROMEDIO INVIERNO 2012 DEL BACKGROUND URBANO (USACH)	69
FIGURA 55. OZONO PROMEDIO DURANTE EL PERÍODO MARZO – AGOSTO 2012.	71
FIGURA 56. VARIACIÓN PROMEDIO ANUAL DE LA FRACCIÓN FINA Y GRUESA DEL MP.....	72
FIGURA 57. EVALUACIÓN ECONÓMICA A 20 AÑOS MEDIANTE EL VALOR PRESENTE NETO DE LOS COSTOS TOTALES DE BUSES DIESEL EURO V.	77
FIGURA 58. RED DE TROLEBUSES.....	78
FIGURA 59. RED DE SERVICIOS CON APTITUD PARA.....	78
FIGURA 60: COMPOSICIÓN ETARIA DE LA FLOTA DE TRANSPORTE ESCOLAR EN LA R. METROPOLITANA	81
FIGURA 61. CONSUMO COMBUSTIBLE CENTRAL NUEVA RENCA	88

FIGURA 62. PORCENTAJE DE CALEFACTORES Y CONSUMO DE LEÑA EN LA RM, 2012.	102
FIGURA 63. COMPARACIÓN DE LOS ESCENARIOS PLANTEADOS POR DISTINTAS MEDIDAS DE RECAMBIO DE CALEFACTORES A LEÑA.	103
FIGURA 64. COSTO SECTORIAL PARA IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIA A CORTO PLAZO	119
FIGURA 65: CONSUMO FINAL DE ENERGÍA 2012, REGIÓN METROPOLITANA	127
FIGURA 66: CONSUMOS REGIONALES POR SECTOR ECONÓMICO.	128
FIGURA 67.: DIAGRAMA DE FLUJOS DE ENERGÉTICOS EN LA REGIÓN METROPOLITANA	129
FIGURA 68: EMISIONES DE CO ₂ E DE LA REGIÓN METROPOLITANA PARA EL AÑO 2012.	130
FIGURA 69: DESAGREGACIÓN DEL CONSUMO DE DIESEL REGIONAL.....	131
FIGURA 70. REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO ₂ POR LA APLICACIÓN DE MEDIDAS TECNOLÓGICAS	137
FIGURA 71. REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO ₂ POR LA APLICACIÓN DE MEDIDAS EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	138
FIGURA 72. COMPARACIÓN DE LA REDUCCIÓN DE EMISIONES PRODUCTO DE LAS ESTRATEGIAS ESTABLECIDAS VS LA LÍNEA BASE.	138

Índice de Tablas

TABLA 1. MEDIDAS PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA Y CAMBIO CLIMÁTICO	13
TABLA 2: MEDIDAS A LARGO PLAZO EN TECNOLOGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA	18
TABLA 3: CÁLCULO DE EFICIENCIA DEL SRV	24
TABLA 4: PORCENTAJE DE CONCENTRACIÓN DE ESTACIÓN MACAM REFERENTE AL VALOR MEDIDO EN LAS CONDES. EN COLOR ROSADO SE INDICAN LOS VALORES MÁS ALTOS POR AÑO. EN COLOR NARANJO LOS VALORES MENORES.....	38
TABLA 5. ENFOQUE ESTRATÉGICO A CORTO PLAZO Y LARGO PLAZO	61
TABLA 6. LÍNEAS DE ACCIÓN A CORTO PLAZO Y LARGO PLAZO.	64
TABLA 7. RESUMEN MEDIDAS PROPUESTAS PARA REALIZAR EN UN CORTO PLAZO	76
TABLA 8: EMISIÓN DE MP (TON/AÑO) DE CATEGORÍAS DE VEHÍCULOS	81
TABLA 9: ANTIGÜEDAD DE CAMIONES CON PROHIBICIÓN DE ENTRAR AL ANILLO AMÉRICO VESPUCIO	83
TABLA 10: MEDIDA DE NORMA DE CALIDAD PARA BENCENO.....	111
TABLA 11: PRINCIPALES MEDIDAS DEL PLAN DE ACCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA 2020.....	132
TABLA 12: RESUMEN DE PROYECTOS CONSIDERADOS EN PLAN MAESTRO DE TRANSPORTES 2025	134
TABLA 13: MEDIDAS IDENTIFICADAS PARA LA REDUCCIÓN DE GEI EN LA REGIÓN METROPOLITANA	136

RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento contiene la información final correspondiente al estudio denominado “Propuesta de regulaciones para el MP_{2,5}, sus precursores y contaminantes que afecten el cambio climático, para las distintas fuentes estacionarias de la Región Metropolitana”, suscrito entre el Ministerio de Medio Ambiente, mandante, y el Centro Premio Nobel Mario Molina Chile, ejecutor.

MP_{2,5}, un contaminante regional

En la Región Metropolitana se constata la superación de las normas diaria y anual vigentes para MP_{2,5}. Lo anterior ha determinado el inicio del proceso para declarar saturada a la región por este contaminante, condición que se sumaría a las declaraciones vigentes por MP₁₀, Ozono y CO.

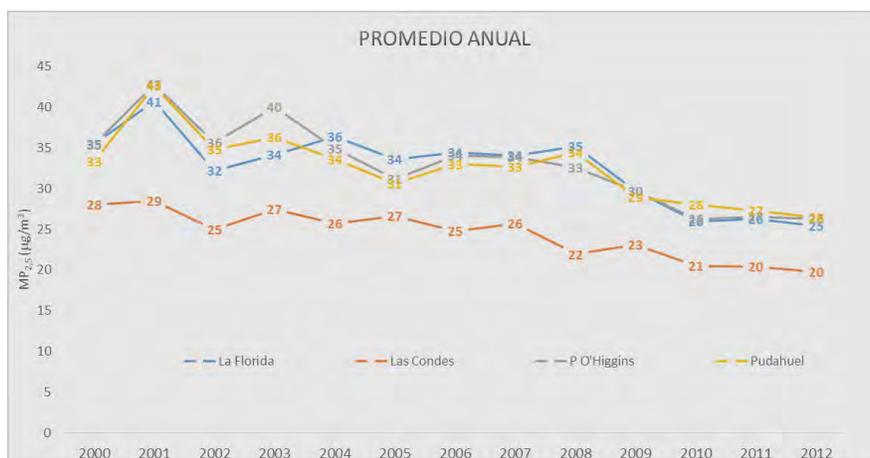
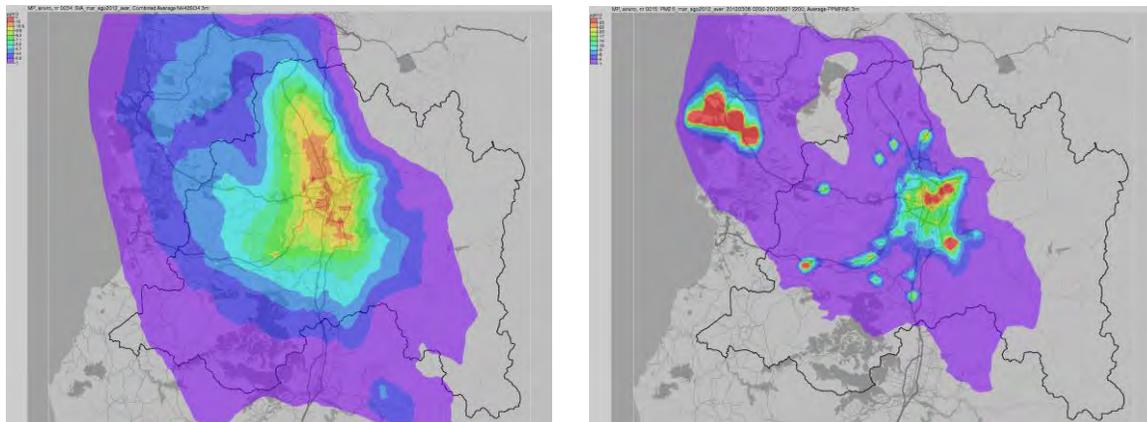


Figura 1: Evolución del promedio anual de concentración de MP_{2,5} en las estaciones de la red MACAM que cuentan con datos desde el año 2000.

En cuanto a la composición del MP_{2,5}, aproximadamente el 60% de la masa proviene de una serie de reacciones químicas ocurridas en la atmósfera (formación secundaria), siendo relevantes las fracciones de aerosoles orgánicos y nitrato de amonio (NH₄NO₃), cuyas proporciones se han mantenido a lo largo de los años. Estas reacciones son fotoquímicas están presentes todo el año, intensificándose en el periodo estival. Durante el invierno se produce un aumento de las concentraciones porque empeoran las condiciones para la dispersión de los contaminantes, y se suman emisiones estacionales como la quema de biomasa para calefacción.

Al ser principalmente secundario, el MP_{2,5} es un contaminante de gran escala. Las concentraciones medidas en la ciudad de Santiago están relacionadas con las emisiones producidas en toda la macro zona central (MZC). Se puede observar en las figuras siguientes el aerosol inorgánico secundario (SOA), principalmente Nitrato de Amonio, modelado para la MZC y el impacto de las emisiones directas de MP_{2,5}. El SOA está dominado por las emisiones del transporte de Santiago, pero se puede observar un aporte de fuentes extra regionales al noroeste y al sur de la MZC.

El impacto de las emisiones directas de $MP_{2,5}$ en la MZC está dominado por actividades como el uso de leña para calefacción en zonas urbanas y rurales en la Región Metropolitana, el transporte en zonas urbanas de Santiago y fuentes industriales de la Región de Valparaíso.



Aerosol inorgánico secundario (SIA) promedio durante el período marzo – agosto 2012. (el rojo intenso empieza a $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$)
 $PM_{2,5}$ primario promedio durante el período marzo – agosto 2012. (el rojo intenso empieza a $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

Figura 2: Impacto de emisiones directas de SIA y $MP_{2,5}$ en la Macro Zona Central

Las emisiones de la MZC producen un nivel basal (*background*) de $MP_{2,5}$ en toda la Región Metropolitana, compuesto principalmente por aerosoles secundarios. Este nivel corresponde a la contaminación observada en una zona sin impacto directo de alguna fuente relevante. En Santiago, la alta concentración de fuentes de emisión produce un nivel *background*, que denominaremos urbano, más alto que el rural. En zonas de alto tráfico en la ciudad o en la cercanía de fuentes industriales, se produce un aporte local de contaminación que se suma al *background*. El *background* urbano de Santiago está bien representado por el sitio de monitoreo en la Universidad de Santiago (USACH), localizada en la comuna de Estación Central. Como se observa en la Figura 51, en un día promedio de invierno en la estación de Parque O’Higgins el promedio de 24 horas es de $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$, de los cuales el 50% corresponde a *background urbano* representado por el monitoreo en USACH.

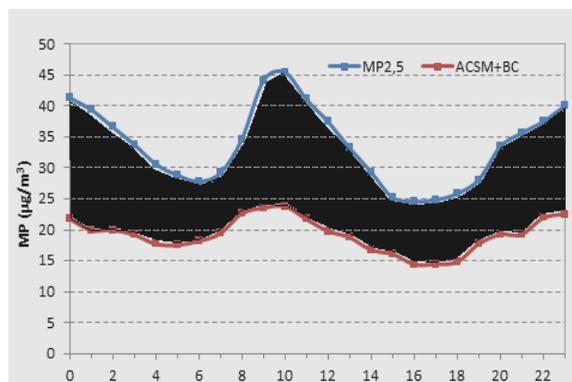


Figura 3. Perfil promedio diario de $MP_{2,5}$ medido en Estación Parque O’Higgins y $MP_{1,0}$ no refractario (ACSM) + carbono elemental (SIMCA) en USACH

Enfoque estratégico para la descontaminación de la Región Metropolitana

El proceso de descontaminación de Santiago comenzó el año 1990 en medio de una crisis ambiental por los altísimos niveles de MP_{10} y $MP_{2,5}$. La autoridad debió actuar decididamente por la presión pública, que se acrecentaba durante los inviernos por la ocurrencia de episodios críticos de alta contaminación. Al cabo de 23 años de gestión de la calidad del aire, en la Región Metropolitana se pueden constatar cambios estructurales en los patrones de producción y consumo que han permitido una reducción significativa de la contaminación por partículas. Esta menor contaminación se refleja en los promedios anuales, en los promedios de 24 horas y en la disminución del número de episodios críticos de alta contaminación.

Los principales cambios, introducidos a través de sucesivos planes de descontaminación, han sido una mejora notable de la calidad de los combustibles usados por el transporte, el uso de gas natural en parte de la industria, una transformación radical del transporte público y un control estricto del mercado automotriz, en términos de la incorporación de vehículos progresivamente más limpios. Estos son los cambios que han permitido una reducción de la contaminación en un periodo crecimiento económico sostenido. El proceso de cambios estructurales orientados al control de partículas y sus precursores, principalmente el dióxido de azufre, se resume en la figura siguiente.

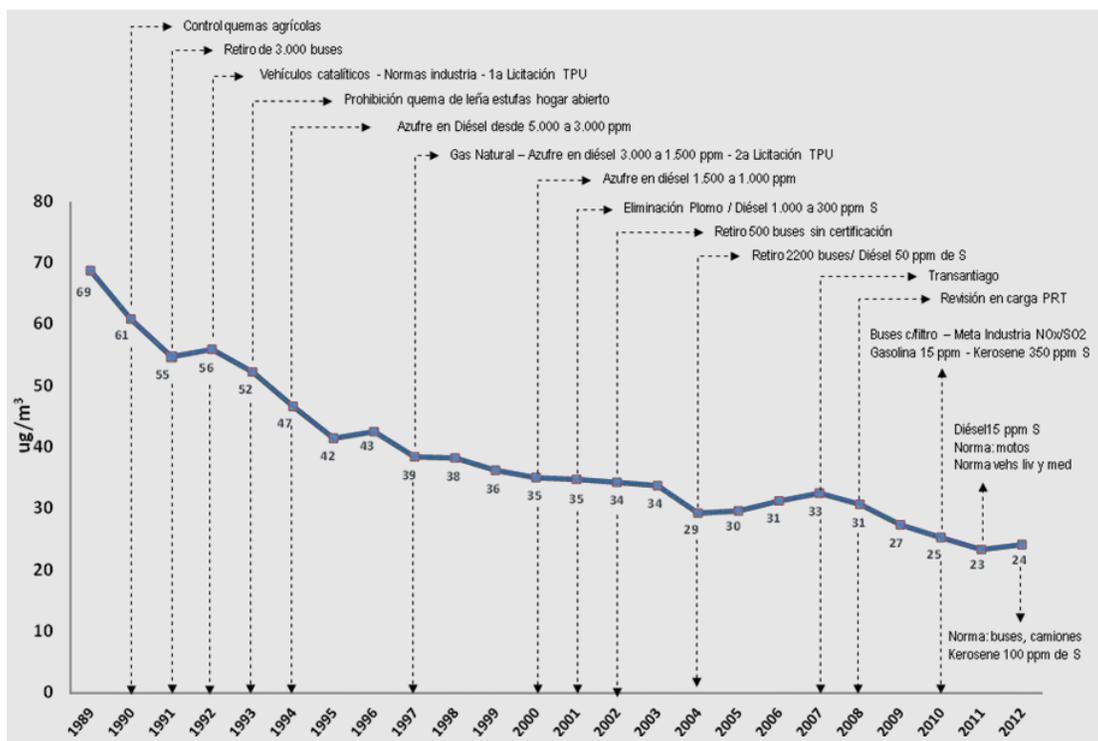


Figura 4. Proceso de cambios estructurales para el control de partículas y sus precursores.

Existen avances en la reducción del aporte de la industria a la contaminación de Santiago, donde probablemente el más relevante ha sido el desincentivo a la instalación de grandes actividades productivas en la región, que en algunos casos se han desplazado a las regiones contiguas dentro de la MZC porque cuentan con regulaciones menos exigentes.

Independientemente de los avances, se requiere seguir avanzando en el control de las emisiones para lograr el cumplimiento de las normas de calidad del aire vigentes.

Es necesario un control estricto de las grandes fuentes industriales basado en el uso de la mejor tecnología disponible para la reducción de sus emisiones y asegurar que la información de los monitores continuos sea confiable. Fuentes medianas y pequeñas deben ser controladas en base a exigencias e incentivos que promuevan el uso de combustibles más limpios y la eficiencia energética.

Después de más de dos décadas de descontaminación atmosférica, aún persisten actividades dentro de la Región Metropolitana que no han experimentado una transformación tecnológica importante, convirtiéndolas en las mayores responsables de los niveles de contaminación observados actualmente. Estas son las residencias que emplean calefacción a leña, el transporte comercial y de carga urbano e interurbano, las empresas distribuidoras de combustibles que comercializan las gasolinas sin un control adecuado de sus evaporaciones, la construcción y la agricultura que emplean equipos y maquinaria diesel sin control de emisiones, las empresas de artes gráficas que no controlan adecuadamente las emisiones asociadas al uso de solventes, y las empresas que comercializan pinturas y productos que usan propulsores y solventes que emiten compuestos orgánicos volátiles. Todos estos sectores determinan un pasivo ambiental que dificulta cualquier avance futuro en la mejora de la calidad del aire local y en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Paradójicamente, en la región conviven actividades que cumplen exigencias tecnológicas (o normativas) de países de la OCDE con otras actividades completamente obsoletas. Esto se observa claramente en la figura siguiente, donde se comparan los factores de emisión de emisiones directas de $MP_{2,5}$ y de NOx de los sectores económicos más importantes, determinados a partir del inventario de emisiones 2012 y de la matriz energética regional presentado en el capítulo 3.7.

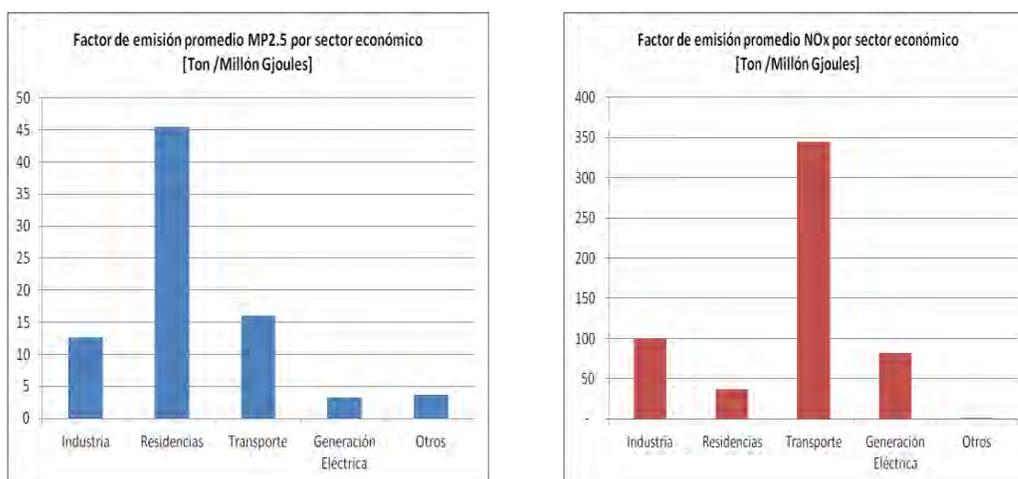


Figura 5: Factores de emisión ($MP_{2,5}$ y NOx) por sector económico

Los niveles de emisión de la leña en calefactores residenciales es, por lejos, la fuente de emisión más contaminante por unidad de energía (695 ton $MP_{2,5}$ /Millón de Gjoules); por esta razón las residencias constituyen el sector más contaminante (46 ton $MP_{2,5}$ /Millón de Gjoules).

El transporte es el sector con mayor responsabilidad en la emisión de NOx. Destaca el transporte de carga como la fuente más contaminante (728 ton NOx/Millón de Gjoules). Al transporte de carga se agrega Transantiago y los vehículos fuera de ruta, que también tienen niveles de emisión importantes.

Cuando los sectores residencial y transportes se actualicen a tecnologías equivalentes a países OCDE, la descontaminación de Santiago y la mantención de los niveles de contaminación dentro de los límites definidos por las normas de calidad, van a depender estrictamente de la eficiencia energética. Por lo anterior, una vez que logre la adecuación tecnológica de los sectores más rezagados, el plan de prevención y descontaminación atmosférica será en el mediano-largo plazo similar a un plan de mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Considerando todo lo anterior, se recomienda que el plan de descontaminación actualice la visión con que se hace la gestión de la calidad del aire de la región basándose en dos premisas:

- 1) Nivelar las tecnologías presentes en todas las actividades de la región a un equivalente ambiental OCDE.
- 2) Introducir los principios de la eficiencia energética en todas las actividades presentes en la región, comenzando por las que ya presentan una madurez tecnológica.

La Figura siguiente presenta este enfoque estratégico proponiendo como prioridad para el corto plazo (cinco años) la actualización de los sectores con tecnología obsoleta y el establecimiento de las condiciones para avanzar con la certificación de eficiencia energética en sectores como el industrial y el residencial. Esta priorización permitirá el cumplimiento de las normas diaria y anual de MP_{2,5}, asegurando la protección de la salud de la población. En el corto plazo la contribución al cambio climático estará dada por la reducción del carbono negro principalmente.

Para el largo plazo (2030) se recomienda exigir tecnologías más eficientes y la introducción de energéticos de menor impacto en el cambio climático, junto con la promoción masiva del transporte público y de modos no motorizados de transporte. Esto permitirá que la capital tenga un nivel de consumo energético per cápita y de emisión de CO₂e per cápita similar a otras ciudades de tamaño equivalente dentro de los países de la OCDE. Esto será un aporte a los compromisos nacionales frente al cambio climático y hará más competitivo al país en una economía global baja en Carbono.

Tabla 1. Medidas para el control de la contaminación atmosférica y cambio climático

Ámbito	Corto Plazo - Contaminación atmosférica						Largo Plazo-Cambio climático									
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Tecnología y Combustibles limpios	Actualizar sectores con tecnología obsoleta en términos ambientales						Exigencia de tecnologías más eficientes y energéticos de menor impacto en el cambio climático									
Eficiencia energética	Establecer sistemas de gestión y certificación de eficiencia energética						Exigencias de certificación de eficiencia energética y promoción del transporte público y modos no motorizados									

MEDIDAS DE CONTROL (Corto Plazo)

Se recomienda la implementación de 27 medidas de corto plazo, agrupadas en 8 líneas de acción que apuntan a reducir las emisiones directas de MP_{2,5}, y las emisiones de los precursores más importantes de aerosoles secundarios, los NOx y COVs. Se incluyen además 3 medidas para el control de las emisiones de amoníaco en la agricultura, con el fin de reducir el aporte a la formación de Nitrato de Amonio.

Línea de acción 1: Programa regional de diesel limpio

El programa de diesel limpio busca dar una solución integral al problema de las emisiones de los vehículos diesel mediante las siguientes acciones:

1. La exigencia de incorporación de vehículos y tecnologías de menores emisiones a través del establecimiento de zonas de baja emisión en la ciudad de Santiago y el establecimiento de exigencias dirigidas a grupos de vehículos específicos (transporte escolar, transporte municipal, especialmente camiones recolectores de basura, vehículos y equipos de la construcción, y vehículos agrícolas).
2. La habilitación de un Fondo Regional de Promoción del Transporte Limpio, para el financiamiento de iniciativas para la reducción de vehículos diesel existentes.
3. La creación de un listado de tecnologías certificadas para la reducción de emisiones en vehículos diesel.

Estas tres componentes del programa interactúan entre ellas para facilitar el cumplimiento de las exigencias de contar con tecnologías de menores emisiones. El Fondo Regional estará disponible para los propietarios de vehículos que deban cumplir con las exigencias tecnológicas para circular en la zona de baja emisión, financiando sólo tecnologías certificadas por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones.

Línea de acción 2: Electrificación del Transporte Público y promoción de automóviles más eficientes

Se ha evaluado como económica y técnicamente factible una introducción masiva de movilidad eléctrica en el sistema de transporte público de Santiago. Las alternativas evaluadas fueron trolebuses y buses con baterías, tecnologías que compiten económicamente si se generan condiciones apropiadas en los contratos de concesión de operadores de Transantiago, especialmente en términos de mayores plazos de los contratos e incentivos a tecnologías más eficientes.

A partir de lo anterior, se ha estimado que la flota de Transantiago en un escenario de penetración de la movilidad eléctrica al 2020 podría estar compuesta por 800 buses eléctricos con baterías, 1.500 trolebuses y 3.700 buses diesel.

Línea de acción 3: Reducción de MP y NOx del sector industrial

Para el control de la industria se propone seguir reduciendo las emisiones directas de MP y NOx con medidas como las que se indican a continuación:

1. Control de MP de calderas y de grupos electrógenos mediante una nueva norma de emisión y la exigencia de tecnologías de abatimiento.
2. Reasignación de metas de emisión a los procesos industriales ajustándolos a las emisiones declaradas.
3. Para el control de las emisiones de NOx de la industria se recomienda la exigencia de incorporar quemadores Low NOx en calderas, la exigencia de mejor tecnología disponible para procesos industriales, y la exigencia de una norma de emisión para centrales termoeléctricas que obligue al uso de la mejor tecnología disponible (SCR).
4. Se recomienda modificar los criterios de paralización en episodios de alta contaminación, con el fin de promover los combustibles limpios y la eficiencia energética, y una mejor gestión de las emisiones de los mayores establecimientos industriales.

Línea de acción 4: Control de la leña residencial

El control de las emisiones de MP proveniente del uso de leña para calefacción en zonas urbanas y rurales debe ser considerado como prioritario porque constituye la principal fuente de emisión directa de este contaminante:

1. Para el control de las emisiones de calefacción residencial a leña se recomienda la prohibición total del uso de este combustible en las zonas urbanas de la Región Metropolitana, complementando así la prohibición de los calefactores en uso que no cumplen norma establecida en el PPDA vigente.
2. La implementación la prohibición puede asociarse con la entrega del subsidio PPPF (mejoramiento de aislación térmica) para aquellas viviendas de sectores vulnerables que deberán cambiar sus sistemas de calefacción.
3. En zonas rurales, si bien no se prohíben los calefactores en uso, se recomienda considerar el desarrollo de un programa de recambio por calefactores nuevos certificados, de bajas emisiones y alta eficiencia.
4. Reducir la demanda energética de viviendas nuevas, de forma tal de promover el uso de combustibles limpios y reducir el consumo de energía.

Línea de acción 5: Control de emisiones de COVs de la industria

En la misma línea del Plan vigente, que establecía la declaración de emisiones a todos los establecimientos con emisiones mayores a 50 ton/año de COV, se proponen las siguientes etapas para implementar un Programa de Reducción de COV en la industria:

1. Los establecimientos industriales cuyo aporte de emisiones de COVs sea superior a 50 (t/año), deberán presentar al MMA, para su aprobación, un Programa de Reducción de Emisiones de COVs cuyo objetivo global debe ser reducir en 50% las emisiones de este contaminante.
2. La aprobación del programa estará sujeta a criterios técnicos y a la factibilidad de poder llevar a cabo la reducción de emisiones.
3. El plazo de presentación del Programa de Reducción de Emisiones de COVs, será de doce meses contados desde la publicación del presente decreto en el Diario Oficial.

Línea de acción 6: Control de emisiones de COVs del comercio

El sector comercial se caracteriza por una infinidad de pequeñas actividades que producen emisiones evaporativas de COVs. La prioridad debe estar puesta en los sectores y medidas que se indican a continuación:

1. Sistema de recuperación de vapores en las estaciones de servicio.
2. Reemplazo de tintas base a solvente a en base a agua e implementación de tecnologías de abatimiento.
3. Incorporación de tecnologías de abatimiento en rotograbado y flexografía.
4. Mejorar la eficiencia de aplicación en pintado de vehículos y cambiar a productos bajos en solventes para pintado de vehículos.
5. Cambiar a productos bajos en solventes en lavasecos e Incorporación de sistema de captura de solventes para lavasecos en aquellos que todavía no lo han implementado.

Línea de acción 7: Control de emisiones de COVs de las residencias

1. Definir normas de contenidos máximos de solventes acordes con la Directiva Europea aplicable a cambio de propulsores sin COV's en spray y aerosoles.
2. Utilización de pinturas con bajo contenido de solventes
3. Definir normas de contenidos máximos de solventes acordes con la Directiva Europea aplicable a cambio de composición baja en COV's en agentes de limpieza.

Línea de acción 8: Reducción de emisiones agropecuarias

1. Reducción de las proteínas en la alimentación animal
2. Sistemas de mitigación en los alojamientos de animales
3. Gestión de los depósitos de estiércol

Resultados esperados de la implementación de medidas de Corto Plazo

Este conjunto de medidas de corto plazo reducen al año 2019 las emisiones directas de MP_{2,5} en un 50%, las emisiones de NOx en un 12% y las COVs antropogénico en un 30%.

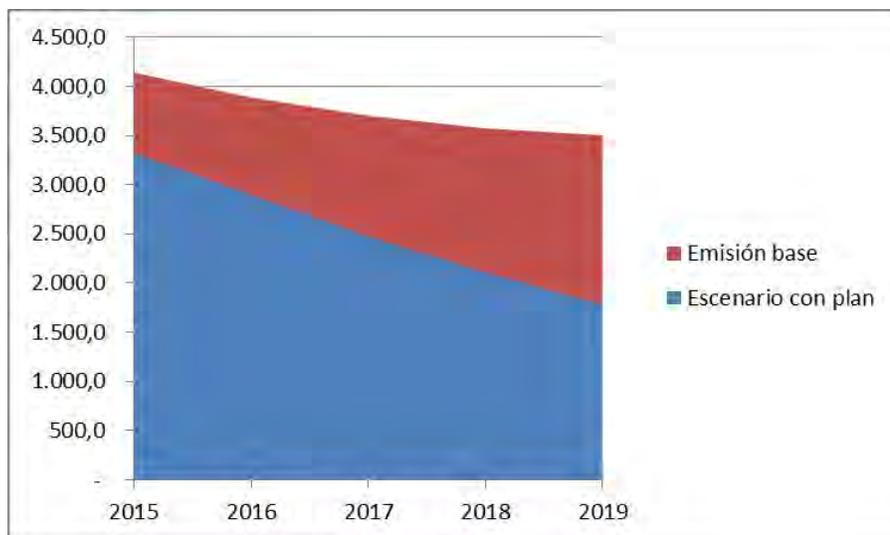


Figura 6: Estimación de reducción de emisiones de MP_{2,5} directo [ton/año].

En estas reducciones son muy gravitantes la implementación de las líneas de acción relacionadas con el control del transporte y las emisiones de leña. La aplicación de la estrategia de corto plazo podría significar una reducción de MP_{2,5} del orden de 6 a 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en promedio en las estaciones de la Red MACAM2 al año 2019 en condiciones meteorológicas similares al año 2012. Esta es una estimación preliminar que podrá ser mejorada a medida que se avance más en el estudio de los procesos de formación de aerosoles en la Macro Zona Central, en especial en el caso de los aerosoles orgánicos secundarios (SOA).

Recursos necesarios para la implementación de medidas de Corto Plazo

La implementación de esta estrategia de corto plazo para la descontaminación de la Región Metropolitana demanda recursos anuales estimados en 158 millones de US\$ para el período 2015 – 2020. Este monto equivale al 0,16% del PIB regional y al 28% del impacto en salud en los habitantes de la capital, estimado a partir de la superación de la norma anual de MP_{2,5}.

El costo anual para el Estado es de 71 millones de USD\$. Se recomienda la aplicación del impuesto a las emisiones definida en el proyecto de Ley de Reforma tributaria como un instrumento de recaudación de estos montos, considerando la afectación de la industria y el transporte en proporción a sus emisiones.

MEDIDAS DE CONTROL (Largo Plazo)

En la tabla siguiente, se presentan las medidas para la reducción de emisiones de GEI en el largo plazo en la Región Metropolitana que han sido identificadas a partir de la revisión de distintos planes nacionales y de la experiencia internacional.

Tabla 2: Medidas a largo plazo en tecnología y eficiencia energética

Enfoque	Medida de largo plazo
Tecnología	Promoción de vehículos más eficientes
	Electrificación del Transantiago
	Introducción Biodiesel
	Promoción de energías renovables no convencionales
Eficiencia Energética	Promoción del uso de la bicicleta
	Programa mejoramiento energético en la industria
	Promoción de eficiencia energética en hogares

Se observa que las medidas tecnológicas de mayor impacto en la reducción del CO₂ son la incorporación de ERNC en el SIC y la promoción de vehículos más eficientes. Esta última es la más importante en la reducción del consumo de energía a nivel regional.

El mejoramiento de la gestión energética dentro de la industria mediante la promoción de la certificación de sistemas de gestión de la energía (norma ISO 50.001) es la medida de eficiencia energética que más aporta a la reducción de las emisiones de CO₂.

La aplicación de la estrategia de largo plazo que contemple las siete medidas antes descritas permite al año 2030 reducir en un 40% las emisiones de CO₂ respecto de un escenario “Business As Usual” de referencia. Esta reducción permite mantener los niveles de emisión de CO₂ per cápita a un nivel similar de ciudades de tamaño equivalente de la OCDE y facilita la mantención del cumplimiento de las normas de calidad del aire en la Región Metropolitana.

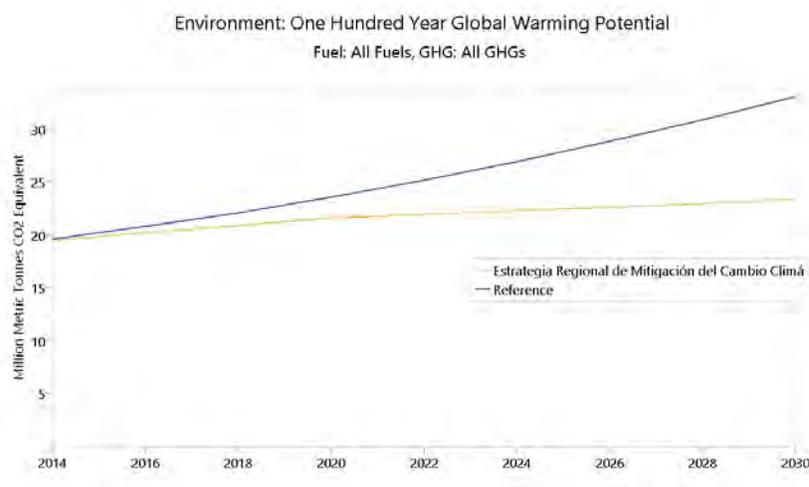


Figura 7: Emisiones de CO₂ al año 2030.

1 ANTECEDENTES

Este capítulo resume todos los antecedentes relevantes que permiten establecer un contexto a las propuestas de enfoque estratégico y de medidas de control de emisiones que se presentan en los capítulos 3 y 4 respectivamente.

Se presenta una evaluación de las principales medidas de control contenidas en el Plan vigente, la evolución de la calidad del aire y las tendencias en la Región Metropolitana. Se incorpora también un análisis de los contaminantes que contribuyen al cambio climático y los elementos que se consideran críticos de tener en cuenta para el diseño del Plan de Descontaminación para MP_{2,5}.

1.1 Evaluación de la implementación de las medidas del Plan vigente

El Plan de Descontaminación vigente, en adelante PPDA, fue establecido por el Decreto Supremo N° 66, de 2009. Dicho Plan fue diseñado como una herramienta de gestión enfocada en el cumplimiento de las normas primarias de calidad del aire establecidas hasta el año 2010. En particular, cuenta con 149 artículos dispuestos en 13 capítulos, que establecen medidas dirigidas a la reducción de emisiones de MP, gases provenientes de procesos de combustión (principales precursores de MP secundario), y emisiones evaporativas de COV's, entre otros.

Adicionalmente a las diversas medidas de control de contaminación, se establecen programas estratégicos en ámbitos de fiscalización, vigilancias al sector transporte, y planes para enfrentar episodios críticos de contaminación, planteados con el objetivo de coordinar, a través de ellos, las acciones y estudios necesarios para llevar adelante temas de relevancia ambiental y, en vista de futuras actualizaciones al plan, posibilitar la generación de nuevas medidas.

El PPDA contempla un capítulo que compromete el financiamiento para la totalidad del plan de descontaminación, asegurando así su continuidad. Este capítulo es crucial, ya que el éxito o fracaso del plan de descontaminación, depende de la correcta definición y reparto de los fondos requeridos.

Como primera actividad de este estudio se desarrolló un trabajo de revisión, comprensión e interpretación del PPDA vigente, con especial atención a aquellas medidas con mayor impacto en la reducción de emisiones, especialmente las emisiones directas de MP y de los precursores de MP_{2,5}. A cada medida se le asoció un indicador que representa el nivel de impacto esperado en los resultados observados para calidad del aire, en conjunto a la evaluación de cumplimiento del Plan, en su totalidad, al año 2013.

Todas las medidas evaluadas son comentadas y resumidas a continuación, no obstante en la sección Anexos, el lector podrá encontrar la apreciación de cada una de ellas en un mayor nivel de detalle.

1.1.1 Evaluación de las medidas con mayor impacto en reducción de emisiones

El sector Transporte es uno de los sectores con mayor influencia en los niveles de contaminación en la Región Metropolitana. Sus metas y medidas de control de emisiones fueron expresadas en el capítulo II del PPDA. Se establecen medidas para el transporte público, transporte de carga, vehículos medianos, livianos y motocicletas.

Una de las medidas seleccionadas para el sector de transporte público, correspondió a la medida “establecimiento de condiciones para la incorporación de buses con tecnologías limpias” (Art. 4) que permitió el ingreso, a tasa creciente, de buses diesel con tecnología EURO III y superiores, a la red de transporte público en el Gran Santiago (Transantiago). Lo anterior, junto a la incorporación de dispositivos de control de emisiones (filtros de partículas, DPF), generó un índice de alto impacto en el efecto esperado en calidad del aire, ya que para el año 2013, un 44% de la flota contaba con filtros de partículas, cuya eficiencia de captura es cercana al 90%.

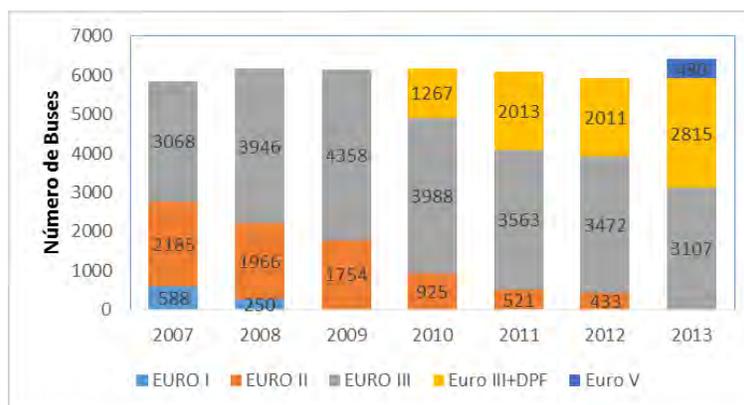


Figura 8. Distribución tecnológica de buses con normativa europea de emisiones (EURO) y filtros DPF.

En el caso de la medida relacionada al “desarrollo de un programa voluntario de chatarrización de camiones” (Art. 14), se procuró la reducción de emisiones provenientes de camiones con mayor antigüedad, y en consecuencia, la generación de un efecto directo en la reducción de precursores de $MP_{2,5}$ y del MP proveniente del parque vehicular existente. Si bien, el programa fue efectivamente desarrollado (*Cambia tu camión*)¹, el porcentaje de adhesión fue bajo en comparación a la flota total en la Región Metropolitana (menor al 0,01%)², por lo que el nivel de impacto asociado a la medida fue, así mismo, de poca significancia. Es destacable el bajo éxito en gestión que tuvo la medida propuesta, considerando que dos estudios solicitados durante el año 2009³ estimaron, en base a información disponible previo inicio del programa, que era factible de

¹ El año 2009 el Programa fue ejecutado por el Programa de Eficiencia Energética (PPEE) y el año 2011 por la Agencia Chilena de Eficiencia Energética.

² Informe: Informe Final N° 181, de 2012, Relativo al cumplimiento del Plan de Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana, CONTRALORÍA GENERAL DE LA REPÚBLICA, D.A.A.

³ Diseño integral de un programa de chatarrización de camiones, Centro Mario Molina Chile, 2009. Programa Piloto para el Sistema de Compensaciones de la Región Metropolitana, Diseño de Metodologías de Compensación de Emisiones para Chatarrización de Fuentes Móviles. Luis Abdón Cifuentes Lira, 2009.

alcanzar una reducción de más de 50 mil toneladas de CO₂, junto a 1 656 millones de pesos, en costos de operación para el transporte de carga, principalmente debido a menores consumos de combustibles y a los procesos de renovación de flota vehicular.

Otra medida seleccionada con alto porcentaje de cumplimiento, se relaciona a los “estándares máximo de emisión para vehículos livianos y medianos” (Art. 18-22), cuya calendarización propuesta se ha cumplido a la fecha del presente informe. En adición al cumplimiento de la medida complementaria “nuevos procedimientos para el control de emisiones de gases en revisiones técnicas” (Art. 25), fue asociado en ambas medidas un alto índice de impacto esperado, mediante el efecto directo que tiene el control de normas más exigentes de emisiones de NO_x y otros precursores de MP_{2,5}, provenientes del parque vehicular existente.

Dentro de las medidas sin cumplir, se encontró la “Implementación de una Zona de Baja emisión para vehículos pesados de carga” (Art. 13), mediante la cual se esperaba definir un perímetro al interior de la Región Metropolitana en donde sólo pudieran circular vehículos pesados que cumplieran con determinados estándares ambientales, contando con sellos identificativos. El efecto directo de esta medida se relacionaba a la reducción de MP y precursores de MP_{2,5}, y al aceleramiento de la penetración de tecnologías más limpias.

En una sección diferente, el Capítulo III del PPDA, establece los requisitos mínimos de calidad que deben cumplir Combustibles que se expenden o distribuyen en la Región Metropolitana, enfocados principalmente en el contenido de azufre que contiene el petróleo diesel, gasolina, petróleos combustibles N° 5 y N°6, kerosene y gas licuado, indistintamente para uso vehicular, doméstico, industrial o comercial. De esta manera el Plan compromete reducciones directas de emisiones de SO_x a la atmósfera, e indirectamente reducciones del MP_{2,5} total.

Para la evaluación de este sector, se cuantificó el nivel de cumplimiento según el número de comunas de la Región Metropolitana en las cuales se han implementado las medidas propuestas en el PPDA. Según lo reportado por los informes de sustentabilidad de la empresa ENAP y el Informe de Seguimiento del PPDA (2011), todas las medidas referentes a los combustibles están cumplidas al 100% (exceptuando los artículos referentes al combustible gas licuado, de los cuales no hay información de cumplimiento de la medida).

El principal objetivo de este capítulo era la desulfuración de todos los combustibles, requerimiento cumplido por parte de la empresa ENAP, según ha informado en todos sus reportes de sustentabilidad desde el año 2010. Esta reducción del contenido de azufre ha tenido una consecuencia positiva en la calidad del aire, como podrá ser observado posteriormente en el capítulo II (Figura 30), el cual además se puede asociar al éxito de las medidas dispuestas en los Art. 29 (contenido de azufre en petróleo diesel), Art. 30 (cantidad máxima en gasolina), Art. 33 (contenido de azufre de combustibles N°5 y 6, de procesos industriales), y Art. 34 (contenido máximo en kerosene doméstico e industrial), entre otras.

Todas estas medidas establecidas para los combustibles, se observan además ligadas al porcentaje de azufre presente en el MP_{2,5}, que fue disminuyendo a lo largo de los años (Figura 38). Esta

disminución se hace más notable a partir del 2009, año en el que se implantan las actuales medidas de reducción de azufre, detalladas en la sección de Anexos.

El capítulo relacionado a las medidas establecidas para el sector de Industrias, cobra especial relevancia debido a que según los antecedentes entregados por inventarios de emisiones anteriores, este sector es uno de los principales emisores de SO_x y NO_x , precursores directos de $MP_{2,5}$. Es por esta razón, que las medidas fueron enfocadas en estos dos contaminantes, a través de un sistema de metas y compensación de emisiones, aplicadas para aquellas fuentes fijas consideradas como las mayores emisoras de MP , SO_x y NO_x , entre las que se cuenta el reporte de cumplimiento de metas ante el Ministerio de Medio Ambiente por parte de estas grandes emisoras, el nivel de SO_2 (Art. 66), cumplimiento de las compensaciones de emisiones de NO_x (Art. 70, 71 y 77), entre un 120 y 150%, como también la implementación de un sistema de declaración de emisión de COVs (Art. 113).

Las anteriores medidas, lograron que para el año 2011, la reducción en las emisiones de fuentes fijas haya sido de 5.760 ton de un total de 8.954 ton, es decir, un 64,3% del NO_x total, y 1.916 ton de un total de 1.982 toneladas para el SO_x (96,70%), por lo que se puede considerar a este sector como el participante con mayor aporte en los planes de reducción de SO_x y NO_x .

El capítulo V aborda un sector de gran impacto en la generación de MP_{10} y $MP_{2,5}$, la Calefacción Residencial con Leña y derivados de madera (dendro energéticos). Si bien el capítulo V se relaciona de manera completa y exclusiva a este asunto, el problema nuevamente es enfrentado en el capítulo XI, correspondiente a las medidas especiales que se extienden en periodos de episodios críticos por material particulado respirable.

De la totalidad de las medidas propuestas en el capítulo V, 2 se encuentran en estatus de cumplidas (Art. 100 y Art. 105), referentes al Programa de Sello Voluntario que comenzó a ser desarrollada durante el año 2011, para los nuevos calefactores fabricados en el país y que fueran comercializados en la Región Metropolitana. No obstante el cumplimiento de dicha medida, el impacto no ha sido el esperado, debido a que a la fecha solamente 8 modelos de calefactores han obtenido el sello a través de este programa, indicando una baja adhesión por parte de los fabricantes.

Por otra parte, las medidas sin cumplimiento (Art. 103 y Art. 104) involucran la regularización del combustible y al desarrollo del catastro de calefactores en las zonas urbanas de la región. El bajo impacto de la primera medida se debe principalmente a que el actual ente certificador, el Sistema Nacional de Certificación de Leña (SNCL), solamente está capacitado para fijar estándares de calidad en el proceso de certificación del mercado de la leña, que deben cumplir las exigencias de contenido de humedad definidas por el INN. Este organismo no está facultado para fiscalizar locales comerciales que expenden leña, sea certificada o no, y tampoco se ha formalizado alguna decisión de atribución sectorial para el control y fiscalización de este combustible. Otra observación realizada es la falta de incentivos del mercado para someterse al proceso de certificación. En la Región Metropolitana, a la fecha, solamente 3 empresas distribuidoras de leña

se encuentran certificadas por el SNCL, para un mercado en donde la demanda residencial se encuentra definida por aproximadamente 56 mil hogares⁴.

La medida dictada en el Art. 102, denominada “*Norma de Emisión de Calefactores Nuevos*”, es quizás la medida clave del capítulo, ya que actuaría como filtro en el mercado de los calefactores, estimándose que el beneficio neto que entrega son 4 veces su costo⁵. Mediante ella se exige obligatoriedad de certificación para los calefactores nuevos que sean comercializados en la Región Metropolitana (potencia térmica nominal ≤ 25 kW), a través del cumplimiento de un nivel máximo de emisión de MP (2,5 g/h). Sin embargo, el real impacto de la medida a la fecha, es prácticamente nulo, debido a que sólo entró en vigencia en noviembre de 2013. No ha entrado en vigencia la norma señalada en el Art. 147, que prohíbe el uso permanente de calefactores a leña en zonas urbanas que no cumplan con el nivel exigido por el Art. 102. Esta prohibición debería hacerse efectiva a partir de noviembre de 2014.

A pesar de que el éxito de las medidas podrá ser observado a largo plazo, luego de la renovación natural de los calefactores ya existentes, o bien debido a las intervenciones programadas de recambio tecnológico hacia aquellos con bajos niveles de emisión, las medidas establecidas en el presente capítulo analizado están dirigidas al control de emisiones provenientes de calefactores residenciales a leña y otros dendroenergéticos (pellets, briquetas, chips) de potencia térmica nominal inferior o igual a 25 kW. Lo anterior excluye fuentes asociadas a otros sistemas de calefacción residencial en base a dendroenergéticos, como los son calderas, braseros o cocinas a leña. Respecto a la elaboración de parámetros técnicos sobre la calidad de combustibles tipo pellet, tampoco existe una normativa que regule la calidad o especifique exigencias, lo cual genera que la falta de enfoque hacia los grupos mencionados, sea una de las principales brechas asociadas al control de este sector en el último PPDA para la Región Metropolitana.

En un capítulo siguiente, se especifican las medidas que deben tomar las empresas distribuidoras de combustibles en toda la cadena asociada a la distribución, en relación a su infraestructura y tecnología en sus intermediaciones. Con la correcta incorporación de estas medidas, es esperable el control total de las emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) asociadas a esta actividad.

Las medidas que se detallan en capítulo VI se enfocan principalmente a la infraestructura en toda la cadena de distribución de combustible, debido a que con esto se pretende controlar las fugas de COVs y su posterior interacción en la atmósfera. En estas se incluyen condiciones de almacenamiento del combustible (Art. 107) en sistemas de estanques de techo flotante interno, externo o fijo, siempre cuando estos incorporen válvulas de alivio de presión y vacío. Además se requirió que estos estuvieran conectadas a mecanismos de recolección recuperación y eliminación de vapores (SRV), cuya eficiencia sea, al menos, de un 95%.

⁴ Estudio “Análisis de las concentraciones de MP₁₀ y MP_{2,5}, asociadas a las emisiones de quema de leña residencial en la Región Metropolitana de Santiago”. CMM, 2009.

⁵ Análisis y evaluación del impacto económico y social del plan de descontaminación de la Región Metropolitana (AGIES). DICTUC, 2008.

Los mecanismos de recolección y posterior recuperación de vapores establecidos el PPDA se refieren a dos tipos, la recuperación de vapor de las islas a los estanques, y el venteo de los estanques. Según información otorgada por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC), el segundo mecanismo de recuperación requiere de inversiones en los estanques de las estaciones anteriores al 2004, los cuales no se han efectuado. Se debe considerar que el 70% de las estaciones fueron construidas antes de tal año, contando solamente con sistemas de recuperación de vapores desde las islas a los estanques de almacenamiento. Por otra parte, con respecto al transporte (Art. 109) fue exigido a los camiones cisterna disponer de equipos de captura y posterior recuperación de vapores o eliminación de vapor de hidrocarburos. Sin embargo, la SEC no ha podido corroborar esta exigencia debido a que actualmente no existe ningún protocolo que acredite la existencia de estos equipos. De la misma forma, respecto a los terminales de distribución de combustible en la comuna de Maipú, no existe ninguna exigencia, y por ende, ningún protocolo que permita conocer las prácticas y eficiencias en las unidades de recuperación de vapores. Esta falta de información genera un escenario incierto en toda a través de toda la etapa de distribución.

Como última medida del capítulo se exige que las empresas distribuidoras de combustibles reporten anualmente un programa de implementación sobre las obligaciones establecidas (Art. 111). Aun cuando esta medida no presenta un efecto directo sobre la calidad del aire, mas sobre la base de la información entregada, es posible definir nuevas resoluciones que apunten a un mejor manejo y reducción de emisiones. Sin embargo, el incumplimiento en la entrega de informes a la SEC, generó que a la totalidad del capítulo, le fuera asociado un índice de nulo impacto.

Adicionalmente, al analizar los datos entregados por la empresa *Esso*⁶ se pueden obtener los siguientes resultados de la eficiencia del SRV, que dejan en manifiesto la ineffectividad de recuperación de vapores en toda la cadena de distribución de combustible (Tabla 3).

Tabla 3: Cálculo de eficiencia del SRV

Etapa	
Expendio total de gasolina en el terminal m ³	235,522
Evaporación m ³	314.03
Cantidad de trasbordos	3
Evaporación total m ³	942.1
Recuperable (eficiencia total 90%)	282.6
Recuperado m ³	146.6
Eficiencia real	51.9%

⁶ Estudio "Consultoría para el apoyo a la implementación de nuevas medidas del PPDA en transporte y combustible" (UNTEC, 2008) encargado por CONAMA a la Fundación para la Transferencia Tecnológica de la Universidad de Chile.

1.2 Evaluación de los Programas Estratégicos del Plan vigente

El capítulo de Programas Estratégicos (capítulo VII del PPDA) propone el diseño e implementación de una serie de programas enfocados, principalmente, en mejoras de la información actual y desarrollo de planes destinados a reducir la contaminación del aire.

El capítulo compromete medidas que hacen referencia al control de la contaminación intramuros, de emisiones de COVs, caracterización de emisiones por quemas agrícolas y maquinaria fuera de ruta, además de contar con un plan de incentivo hacia el uso de vehículos no motorizados mediante la construcción de ciclo-rutas. Posteriormente, en el capítulo XII, se presenta un punto crucial, aunque ligeramente definido. Este artículo guarda relación con la implementación, desarrollo, mantención y continuidad del PPDA en su totalidad, mediante un plan de financiamiento por períodos de 5 años. Lamentablemente, este capítulo carece de un mecanismo de financiamiento permanente e integrado, debiendo cada servicio solicitar, en forma independiente, los recursos necesarios para la implementación de las medidas, estudios o fiscalización que el propio plan asignado.

Entre las medidas evaluadas en los Programas Estratégicos, y específicamente para la contaminación intramuros, se contempló un sistema de reporte voluntario de ventas como también la correspondiente certificación de emisiones para equipos de combustión de uso en ambientes interiores. En este aspecto, un cumplimiento parcial de la medida se relaciona al estándar de emisión de MP exigible para artefactos que combustionen leña y derivados de madera, que tal como fue mencionado anteriormente, se espera que comience su aplicación durante el presente año 2014. En particular, se debe destacar que en el caso de los artefactos que utilizan kerosene de uso doméstico, estos han visto reducida sus emisiones de SO_x, gracias a la disminución de los contenidos de azufre, desde 500 ppm a 100 ppm, a partir de enero del 2013.

El resto de las medidas hacen referencia al control de emisiones asociadas a las quemas agrícolas, en cuanto a intentos de minimización a través de educación y su consecuente fiscalización de las emisiones temporales (Art. 114), el establecimiento y desarrollo de un programa conducente a controlar las emisiones desde maquinarias fuera de ruta, destacando la necesidad de tener reportes anuales de ventas y el control de la maquinaria a través de revisiones técnicas (Art.166), y la creación de 690 km de ciclo-rutas de acuerdo al Convenio de Programación 2007-2012 "Región Competitiva, Sustentable y con Calidad de Vida".

Acorde con lo anterior, cabe destacar que en el PPDA se define un capítulo referente al desarrollo de un Plan Operacional para enfrentar **Episodios Críticos**, del cual no se considerará la evaluación de sus medidas, debido a que su forma de impacto responde a eventuales condiciones de la calidad de aire, funcionando solo en momentos críticos, con el objetivo de forzar una disminución en los niveles de contaminantes hacia un panorama supraumbral. En este sentido, desde el año 1998, fecha en que se promulgó la primera versión de la norma de calidad primaria para MP₁₀, se han definido situaciones de alerta, pre-emergencia y emergencia ambiental (episodios críticos), cuyo número de ocurrencias ha decrecido a lo largo del tiempo (Figura 9). No obstante, la línea de

tendencia decreciente se ve interrumpida entre los años 2006 y 2007, con un aumento de 300% con respecto al 2005, provocado por la restricción de las exportaciones de gas natural desde Argentina. En el último periodo, comprendido entre los años 2008 y 2012, se observan oscilaciones entre 12 y 20 episodios anuales, con una tendencia a la estabilización, lo cual indica que el Plan de descontaminación de MP₁₀ ha dejado de ser efectivo en la disminución de Episodios Críticos. A pesar de lo anterior, se debe reconocer el éxito en la prevención de los episodios de mayor peligrosidad para la salud de la población, como es el caso de las emergencias ambientales, cuya ocurrencia no han sido registradas desde el año 1999.



Figura 9. Número de episodios anuales en alerta, preemergencia y emergencia, desde 1997 al 2012.

De la misma manera, ha sido posible observar que tanto la magnitud como la duración de los episodios más críticos han disminuido, esto al comparar el episodio más crítico constatado en 1997 (1 año antes de la entrada en vigencia del primer PPDA) y el episodio más crítico constatado en 2012.

La Figura 10 ilustra el beneficio ambiental conseguido, cercano a 54 mil $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hora (representado por el área bajo la curva del gráfico), que puede ser asociado a la cantidad de MP₁₀ que la población ha dejado de respirar.

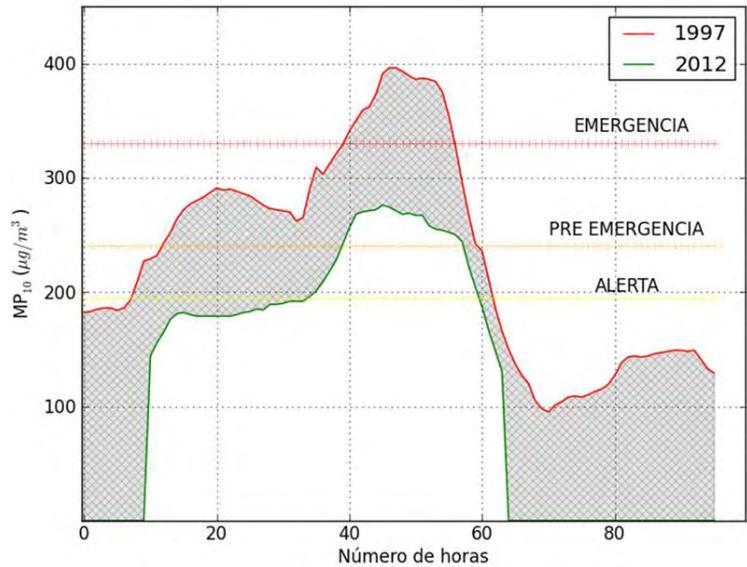


Figura 10. El área marcada corresponde al beneficio ambiental de los episodios más críticos constatados en 1997 y 2012.

Al comparar la relación existente la concentración anual de MP_{10} anual y la magnitud de los episodios críticos (Figura 11) se evidencia cierta tendencia que se repitió la mayor parte de los años, a excepción de los años 2003 y 2008. Es posible indicar que la dependencia de otras variables (meteorológicas), imposibles de ser controladas por el plan, son capaces de influir en la generación de episodios, e igualmente, en el episodio anual de peor índice según niveles de calidad del aire.

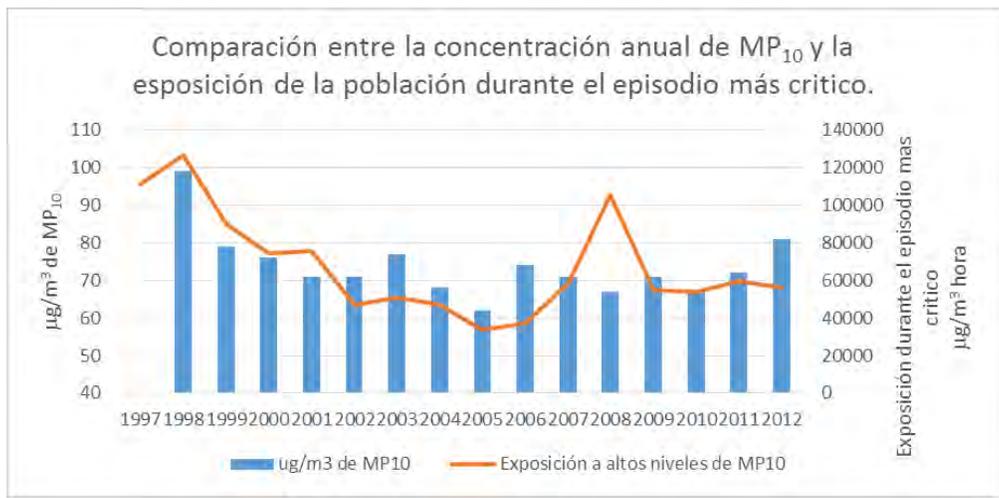


Figura 11. Relación entre la concentración de MP_{10} promedio anual y la exposición de la población durante el episodio más crítico constatado desde 1997 al 2012.

Con el propósito de recopilar la información que ha sido presentada a lo largo de los párrafos anteriores, se consideró la realización de entrevistas y entrega de cuestionarios a organismos del Estado. La transcripción de las minutas respectivas puede ser encontrada en la sección Anexa de este informe, y junto a ello, el detalle de las medidas previamente evaluadas.

1.3 Evolución y tendencia de la calidad del aire de Santiago

A partir de la evaluación de cumplimiento del plan, en sus medidas relevantes en cuanto a disminución de $MP_{2,5}$, se puede verificar el efecto de éstas en la calidad de aire, para lo cual se presenta, cumpliendo con el segundo objetivo del estudio, una completa evaluación y análisis de la evolución y tendencia de la calidad del aire para los contaminantes normados (MP_{10} , $MP_{2,5}$, CO, SO_2 , NO_2 , y O_3) y no normados (Carbono orgánico y elemental, CO_2) disponibles en la RM (1997-2012).

1.1.2 Recopilación y análisis de estudios referidos a calidad y caracterización fisicoquímica del MP.

Material Particulado MP_{10}

A lo largo del tiempo, el MP_{10} ha mantenido presente su condición de saturación, tanto en su estándar diario como anual (Figura 12 y Figura 13). Al año 2012 el percentil 98 representaba un 132% del nivel de la norma, al mismo tiempo que la concentración anual lo era en un 158%.

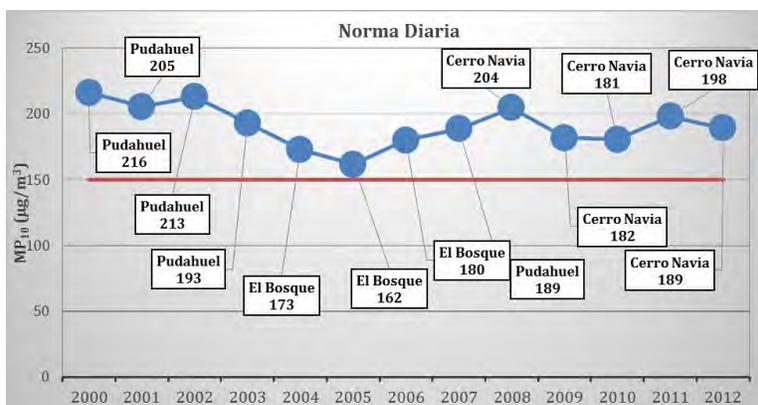


Figura 12: Evolución del percentil 98 de concentración de 24 hrs. Indicados en la serie están tanto la concentración como la estación MACAM que presentó la máxima concentración anual.

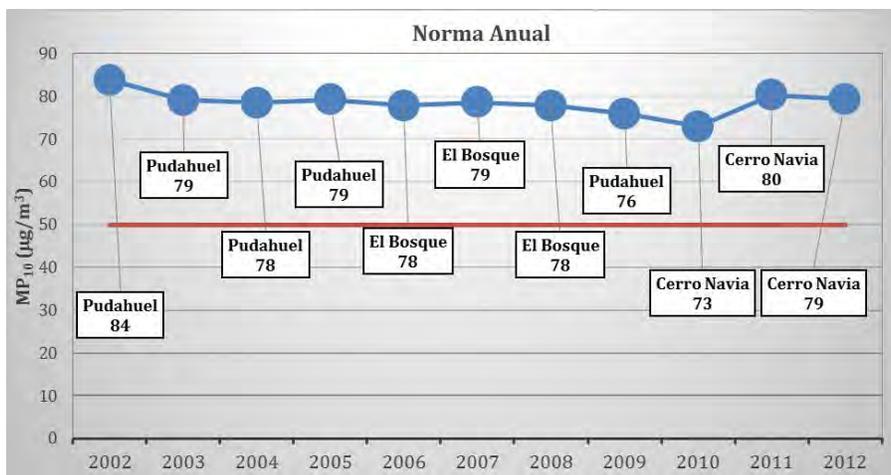


Figura 13: Evolución del promedio trianual de la concentración anual. Indicados en la serie están tanto la concentración como la estación MACAM que presentó la máxima concentración anual.

Respecto a la concentración diaria, se observa que hasta el año 2005 existió una tendencia decreciente en la concentración promedio, siendo las estaciones de Pudahuel y El Bosque de la Red MACAM, aquellas que presentaron peores niveles de calidad del aire. Posteriormente, con el ingreso de la estación Cerro Navia, se generó un leve incremento de las concentraciones, desplazando a Pudahuel a un segundo lugar como estación más contaminada, en términos de concentración diaria de MP_{10} .

La serie de concentración anual (promedio de tres años sucesivos) suavizó, en cierto grado, el efecto del período 2005-2009, al igual que el ingreso de la estación Cerro Navia a la Red. Las estaciones más impactadas corresponden, al inicio de la serie, a Pudahuel y El Bosque, mientras que durante los últimos 5 años, la estación Cerro Navia mantuvo su prevalencia.

Para analizar en detalle la evolución de la tendencia, se entregan los promedios anuales y los percentiles 98 para cada estación de monitoreo de la Red MACAM (Figura 14). Se observa que en ambos casos, la estación Las Condes muestra concentraciones menores a las observadas el resto. También debe señalarse que para el caso de promedios anuales, todas las estaciones se encuentran en condición de saturación al año 2012. No obstante lo anterior, tanto en las series de tiempo del percentil 98 como de la concentración anual, se observa una tendencia hacia la disminución, aunque estancada a partir del año 2010.

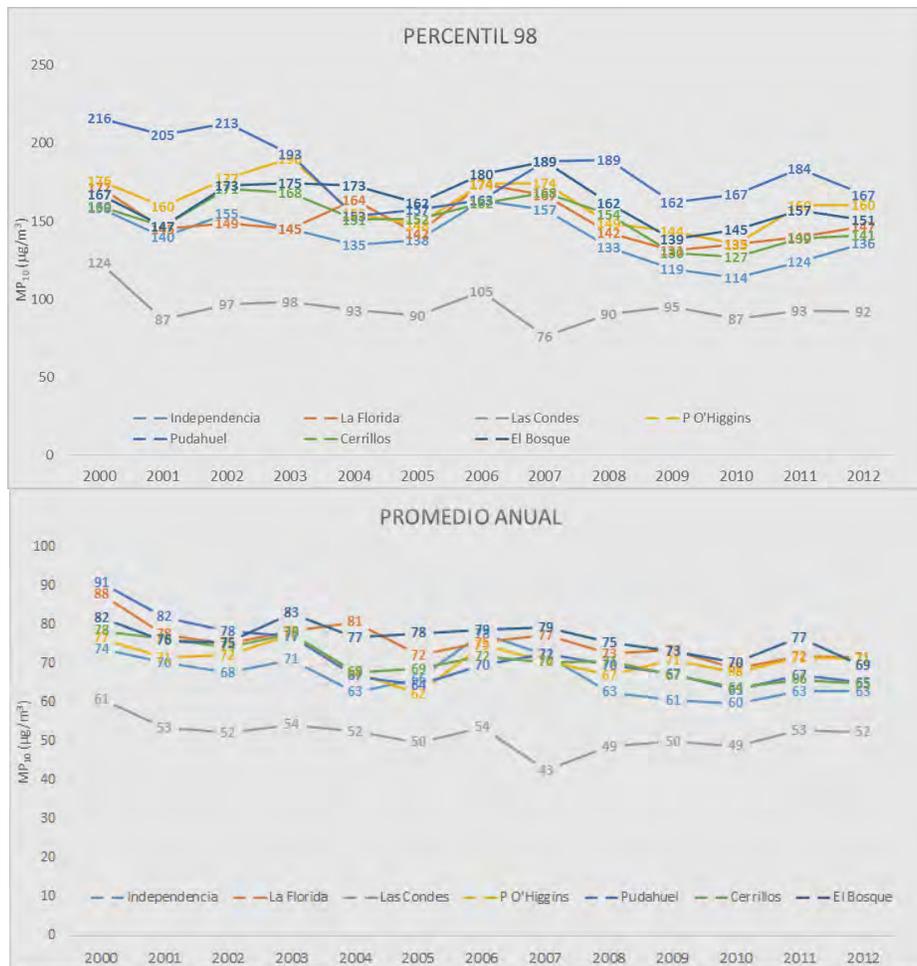


Figura 14: Percentil 98 y promedio anual de concentración de MP_{10} en estaciones red MACAM con datos desde el 2000.

Solo para el caso del percentil 98 se observó que Pudahuel presentó mayores concentraciones con relación a las otras estaciones, mientras que para el promedio anual, esta estación mantuvo concentraciones similares al resto. Lo anterior es debido a que durante invierno las concentraciones se incrementan en forma no uniforme en las estaciones de la Red MACAM, siendo aquellas ubicadas en el sector poniente de la ciudad las que presentan mayor aumento.

Con el ingreso a la Red de las nuevas estaciones (Cerro Navia, Puente Alto, Talagante y Quilicura) se amplió el área de cobertura de medición de MP, en ambas fracciones. Sin embargo, el contar con cuatro años dificulta la identificación clara de una tendencia. De la

Figura 15 se observa que Puente Alto ha mantenido una tendencia progresiva hacia el aumento de MP_{10} .

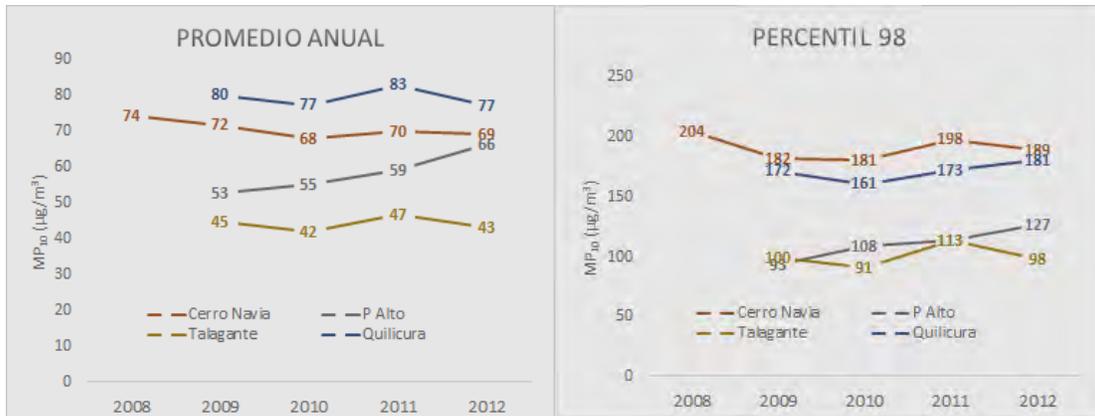


Figura 15: Percentil 98 y el promedio anual de concentración de MP₁₀ nuevas de la red MACAM.

Material Particulado Fino MP_{2,5}

De la misma forma que el MP₁₀, el MP_{2,5} ha presentado condición de saturación a lo largo de su serie de tiempo (Figura 16 y Figura 17). Para el año 2012 el percentil 98 representaba un 166% del nivel de la norma, al mismo tiempo que la concentración anual lo era en un 145%.

Hasta el año 2005 se observa una tendencia hacia la disminución en concentración, con niveles máximos registrados en las estaciones Pudahuel y El Bosque. Durante el período 2005-2009 se observa un incremento de la concentración, cuyo valor extremo se da en el 2008, año en que Cerro Navia se posiciona como la estación más contaminada de la Red.

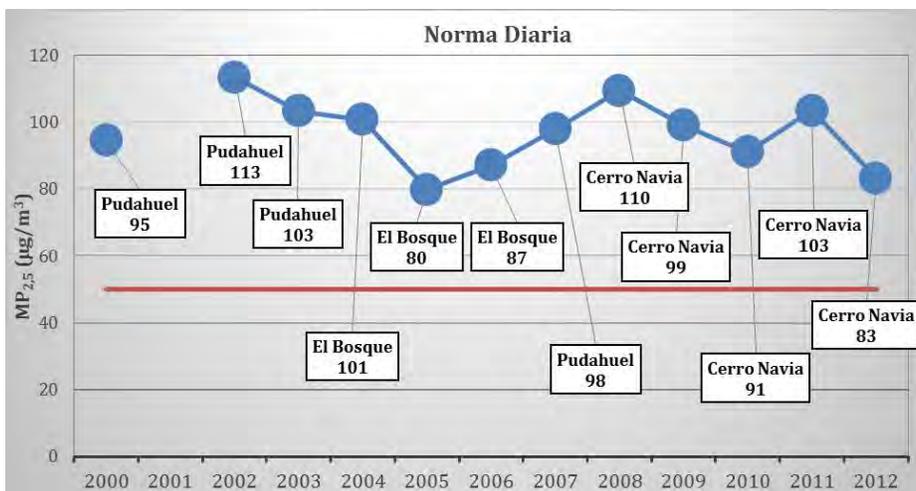


Figura 16: Evolución del percentil 98 de concentración de 24 horas. Indicados en la serie está tanto la concentración como la estación MACAM que presentó la máxima concentración anual.

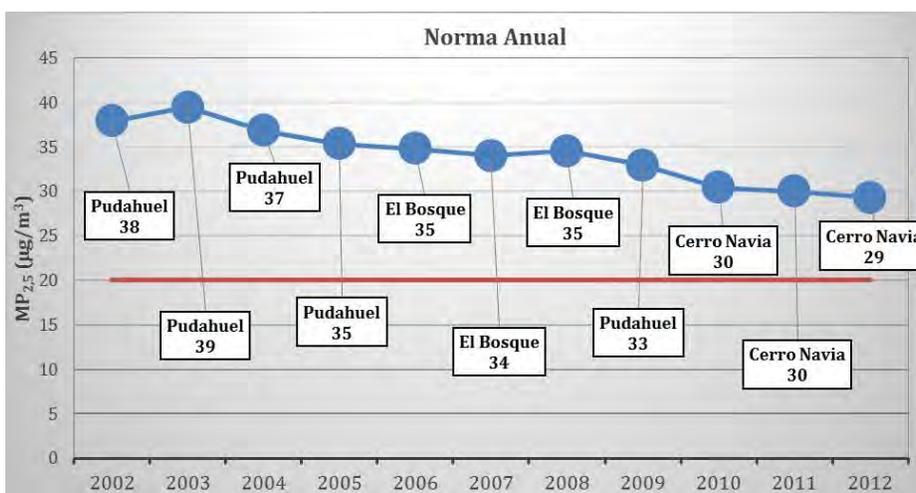


Figura 17: Evolución del promedio trienal de la concentración anual. Indicados en la serie están tanto la concentración como la estación MACAM que presentó la máxima concentración anual.

La serie de concentración anual permite evidenciar en forma más clara la tendencia hacia la disminución continua de la concentración de $MP_{2.5}$. Durante los tres últimos años es mínima la variación de los niveles, hecho que se observa los promedios registrados en Cerro Navia.

De la

Figura 18 y Figura 19 se puede observar la tendencia desagregada para cada estación de monitoreo. Nuevamente, las mismas observaciones realizadas para el MP_{10} se observan para el $MP_{2.5}$, no obstante se debe mencionar que la tendencia expresa una mayor reducción para la fracción fina en comparación con el MP total. Lo anterior fue esperable debido a que en un principio, el PPDA de la Región Metropolitana para MP_{10} estuvo enfocado en la disminución de la fracción fina del MP, es decir en el control de la emisión de los precursores de MP secundario.

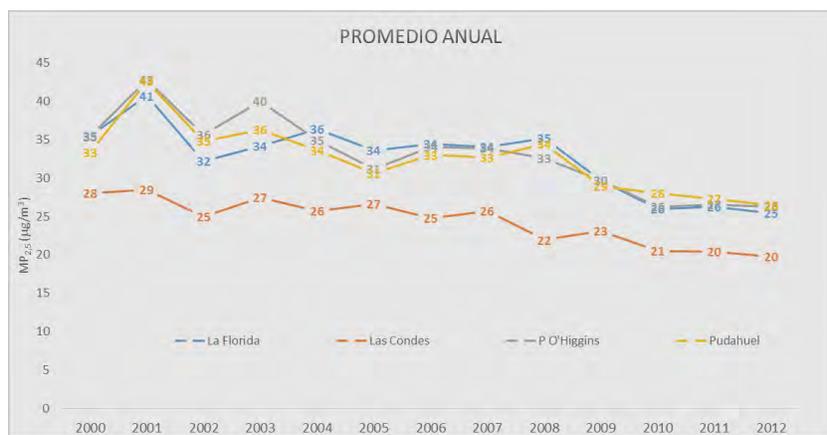
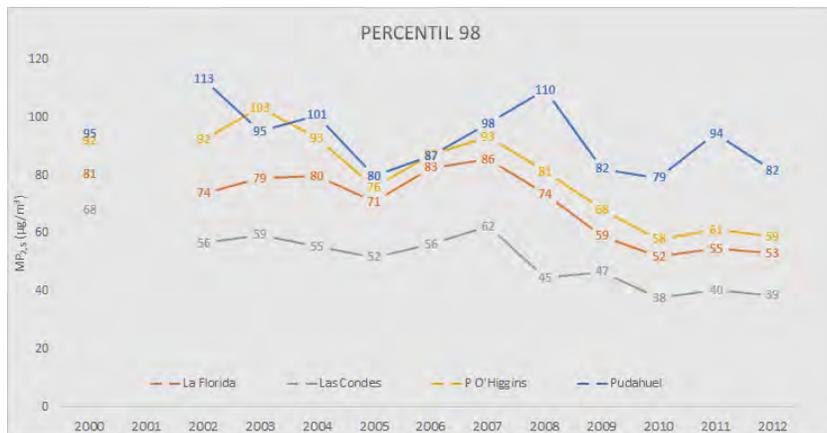


Figura 18: Evolución del Percentil 98 y el promedio anual de concentración de $MP_{2,5}$ en todas las estaciones de la red MACAM con datos a contar del 2000.

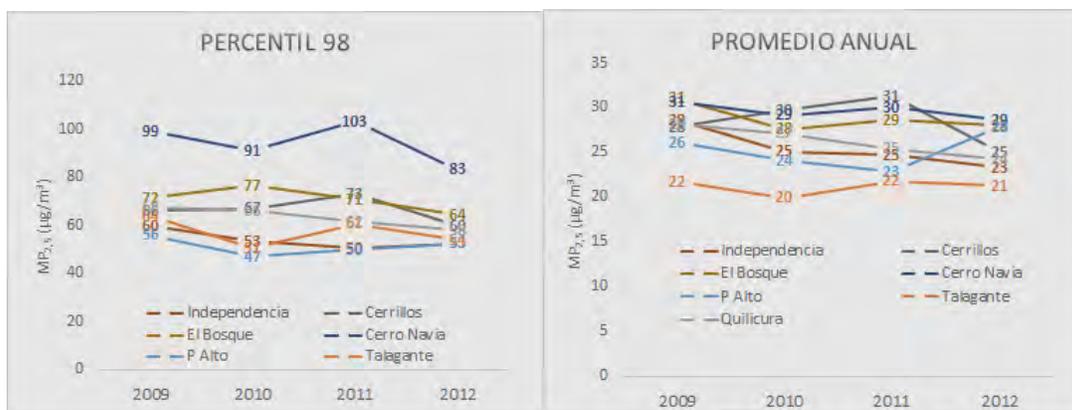


Figura 19: Evolución del Percentil 98 y el promedio anual de concentración de $MP_{2,5}$ las estaciones nuevas de la red MACAM.

Por otra parte, los datos de concentración elemental del $MP_{2,5}$ provenientes de la estación Parque O'Higgins, entre los años 2010 y 2012, indicaron, mediante el modelo estadístico PMF de identificación de fuentes (*Positive Matrix Factorization*), que las fuentes móviles fueron el principal agente en aportar a la masa del MP fino durante los meses invernales, seguido de aquellas fuentes que utilizaron combustibles y aceites en sus procesos (industrias). De forma contraria, en meses estivales, la aparición de elementos térreos en la mayoría de los factores, permitió indicar la preponderancia de la re-suspensión de polvo de suelo y pavimento, mayoritariamente contaminado por partículas provenientes de fuentes móviles que han permanecido depositadas a lo largo del tiempo. Se debe mencionar, que esta aproximación no toma en cuenta la formación secundaria del $MP_{2,5}$ (masa aportada por sulfatos y nitratos), como tampoco su fracción orgánica.

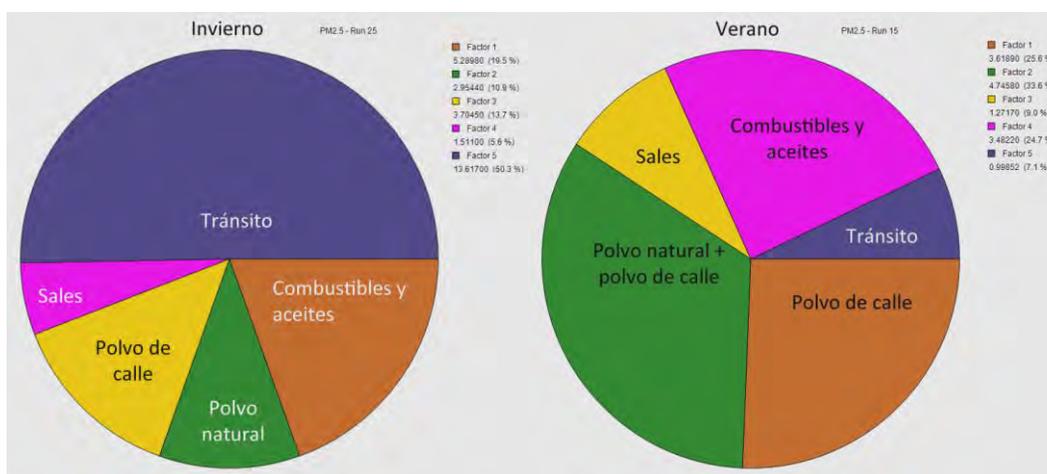


Figura 20. Identificación de contribución por fuentes en la estación Parque O'Higgins. Se utilizó el programa modelo EPA PMF 3.0.

Monóxido de Carbono (CO)

La evolución del promedio trianual de percentil 99 de concentración de 8 horas, entre los años 2002 y 2012, mostrado en la

Figura 21, indica que para el año 2012 existió una condición de latencia por concentración de 8 horas, representando un 91% del nivel de la norma. Hasta el año 2006 se observaba una disminución del percentil 98, sin embargo, coincidentemente con el ingreso de la estación Cerro Navia a La Red MACAM, la tendencia se ve interrumpida constatándose una condición de saturación entre los años 2008 y 2010.

Con respecto al promedio horario (Figura 22), no se observa condición de saturación ni latencia. El promedio trianual al año 2012 corresponde a un 43% del nivel de la norma.

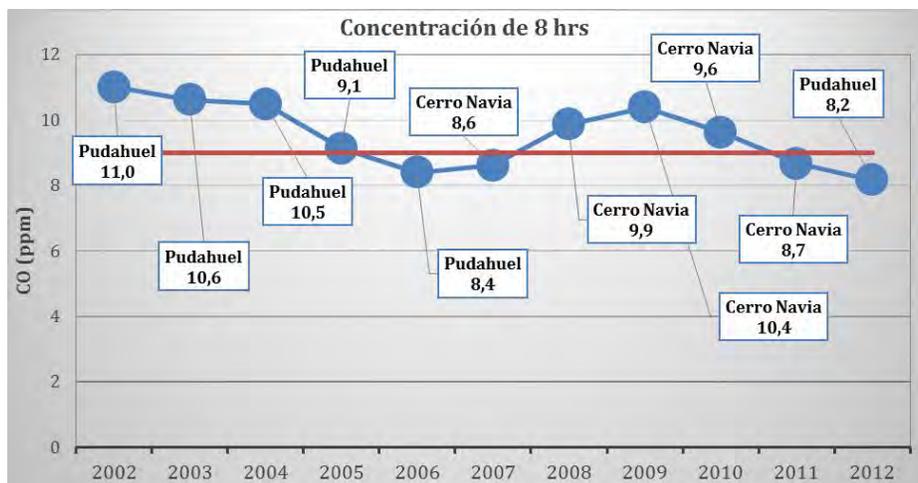


Figura 21: Evolución del promedio trianual del percentil 99 de concentración de 8 horas. Indicados en la serie están tanto la concentración como la estación MACAM que presentó la máxima concentración anual.

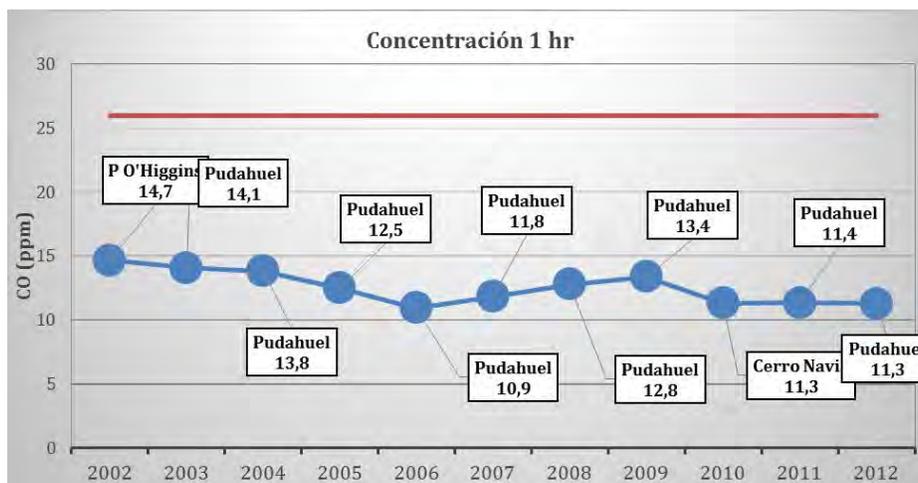


Figura 22: Evolución del promedio trianual del percentil 99 de concentración de 1 hora. Indicados en la serie están tanto la concentración como la estación MACAM que presentó la máxima concentración anual.

Es destacable que durante el período 2008-2010, la serie de tiempo, tanto para la concentración de 8 horas como la de 1 hora, presentó un quiebre en la disminución progresiva que se venía presentando durante los años anteriores. Si bien, durante este período de tiempo la estación de Cerro Navia comenzó a tener la completitud necesaria de datos como para ser incluida en la evaluación del nivel de la norma, el hecho que tal aumento se observe en casi todas las estaciones de la Red MACAM, permite indicar que la inclusión de esta estación a la Red no fue la razón del incremento del nivel de concentración durante este período.

En efecto, en la Figura 23 se observa que particularmente en las estaciones El Bosque, Pudahuel, Parque O'Higgins y La Florida, se constató un incremento significativo del valor de la concentración durante el período 2005-2009. En el resto de las estaciones (Cerrillos, Las Condes, Independencia) no se distinguen aumentos significativos. Lo anterior evidencia que durante el periodo

mencionado existió un factor externo que influyó el empeoramiento de la calidad del aire por CO dentro de la Región Metropolitana.

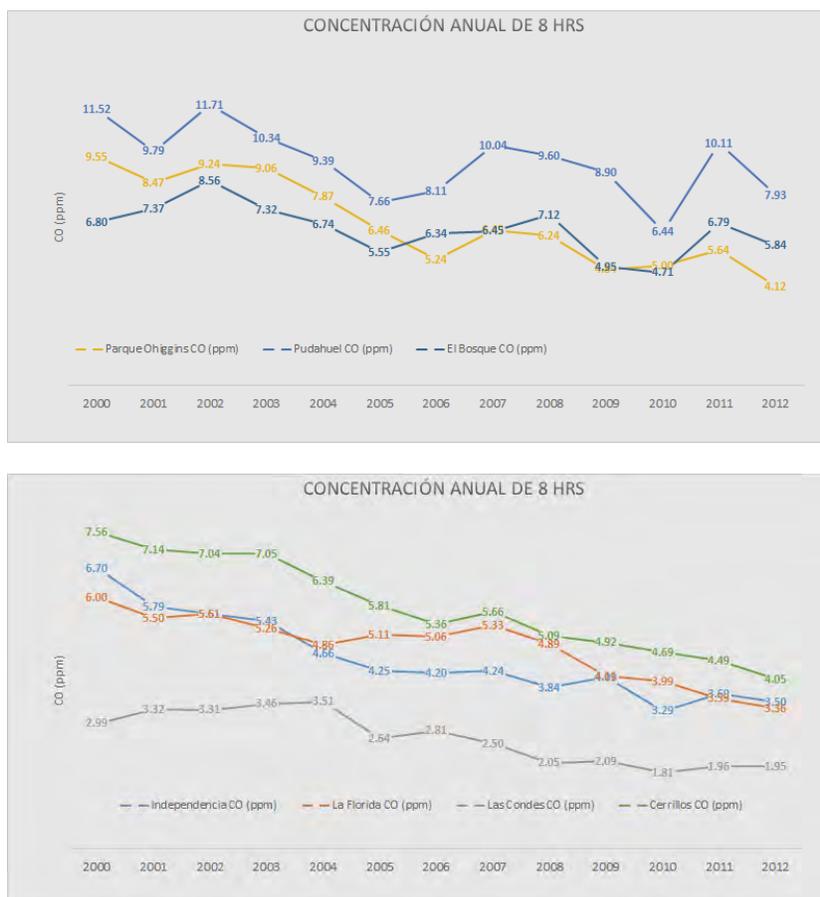


Figura 23: Concentración anual de 8 horas de CO en todas las estaciones de la Red MACAM.

El CO está relacionado con procesos de combustión y además puede ser considerado como contaminante primario, puesto que su química es lenta dentro de los tiempos considerados en los promedios (1 hora y 8 horas). Por consiguiente a lo observado anteriormente, el factor generador del alza en los niveles de CO puede estar relacionado a la calidad de los combustibles usados durante ese período de tiempo.

Ozono (O₃)

En el caso de la concentración de ozono, se observa una condición de saturación para el año 2012 con un valor que es el 128% el nivel de la norma. También es posible observar una tendencia continua hacia la disminución, aunque estancada a contar del año 2010 (aproximadamente 78 ppb como concentración de 8 horas).

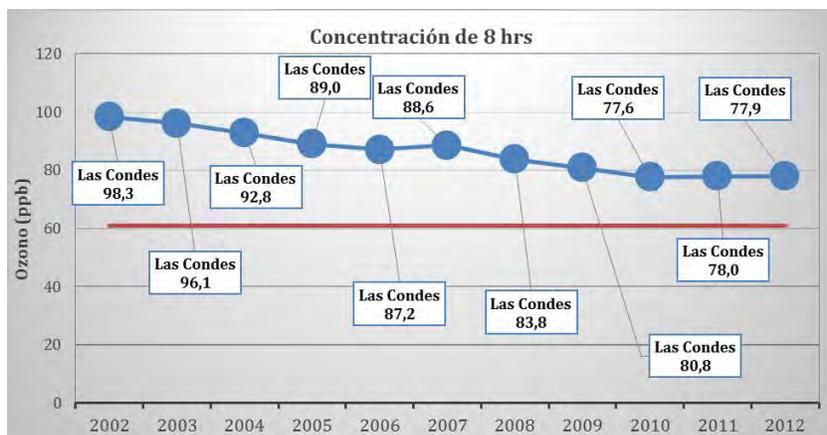


Figura 24: Evolución del promedio trianual del percentil 99 de concentración de 8 horas. Indicados en la serie está tanto la concentración como la estación MACAM que presentó la máxima concentración anual.

Como es de esperar para un contaminante fotoquímico, la estación dominante corresponde a Las Condes, cuyo emplazamiento a mayor altitud y longitud oeste, la caracteriza en mayores concentraciones de contaminantes secundarios.

Desde el punto de vista del nivel de concentraciones de O₃, las estaciones de la Red MACAM se pueden diferenciar en 2 grupos. El primero lo constituye la estación de Las Condes, con concentraciones significativamente superiores al resto de las estaciones (situación explicada en el párrafo anterior). El segundo grupo está constituido por todas las otras estaciones, que representan entre un 60 y 90% de las concentraciones reportadas en Las Condes.

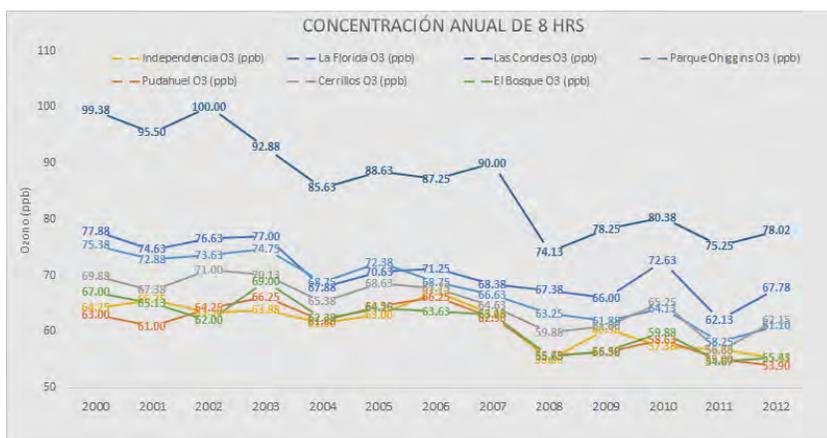


Figura 25: Concentración anual de 8 horas de O₃ en todas las estaciones de la Red MACAM.

La Tabla 4 entrega un análisis del porcentaje que representa la concentración de cada estación MACAM con respecto a la que reporta la estación Las Condes. La estación de La Florida es la que ocupó el segundo lugar, en cuanto a la concentración de O₃, durante todos los años (a excepción del 2004 y 2005, donde Parque O'Higgins desplazó a La Florida). Las menores concentraciones se observan en distintas estaciones, destacándose Pudahuel, Independencia y Cerro Navia. Es importante mencionar que a contar del año 2009, la estación de Talagante fue la que registró los

valores más bajos de la Red, siendo posible de considerar como concentraciones de borde urbano para la RM, ya que se encuentra fuera del Gran Santiago (a pesar que existe una urbanización importante en este lugar, y en efecto, su concentración anual tiene una tendencia hacia el aumento). Las concentraciones anuales en esta última estación van desde 47 a 52 ppb entre 2009 y 2012, lo que representaría en el mejor de los casos, una condición cercana a la latencia.

Como fue mencionado anteriormente, la tendencia hacia la disminución de concentración de O₃ se observa para todas las estaciones MACAM, siendo la pendiente de Las Condes, la más pronunciada. Esto genera como consecuencia que todas las estaciones de la Red MACAM tiendan a igualar sus concentraciones con respecto a las de Las Condes. La única estación que escapa de este comportamiento es Quilicura, puesto que presenta incluso, mayor pendiente de disminución que Las Condes.

Tabla 4: Porcentaje de concentración de estación MACAM referente al valor medido en Las Condes. En color rosado se indican los valores más altos por año. En color naranja los valores menores.

Año	Independencia	La Florida	Parque O'Higgins	Pudahuel	Cerrillos	El Bosque	Cerro Navia	Puente Alto	Talagante	Quilicura
2000	65%	78%	76%	63%	70%	67%				
2001	69%	78%	76%	64%	71%	68%				
2002	64%	77%	74%	64%	71%	62%				
2003	69%	83%	80%	71%	76%	74%				
2004	72%	79%	80%	72%	76%	73%				
2005	71%	80%	82%	73%	77%	72%				
2006	77%	82%	79%	76%	78%	73%	70%			
2007	70%	76%	74%	69%	72%	70%	68%			
2008	74%	91%	85%	75%	81%	75%	68%			
2009	77%	84%	79%	72%	78%	72%	73%	83%	60%	77%
2010	71%	90%	80%	73%	81%	74%	72%	80%	64%	73%
2011	76%	83%	77%	73%	75%	73%	73%	81%	58%	68%
2012	71%	87%	78%	69%	80%	71%	73%	81%	67%	70%

A continuación, en la Figura 26, se observa la variación de la concentración de ozono troposférico entre 1997 y 2012, cabe notar que la norma la norma primaria de O₃ (120 µg/m³ como promedio de 8 horas) se supera frecuentemente en la estación Las Condes en el periodo de verano, lo que indica que el plan de descontaminación no ha sido totalmente efectivo en el cumplimiento de esta norma primaria. Con respecto al número de veces que se ha sobrepasado la norma por año, ha existido una reducción paulatina tal como muestra la Figura 27, indicando que en el caso de O₃, el plan de MP₁₀ no ha perdido efectividad considerando su reducida capacidad para disminuir estos eventos.

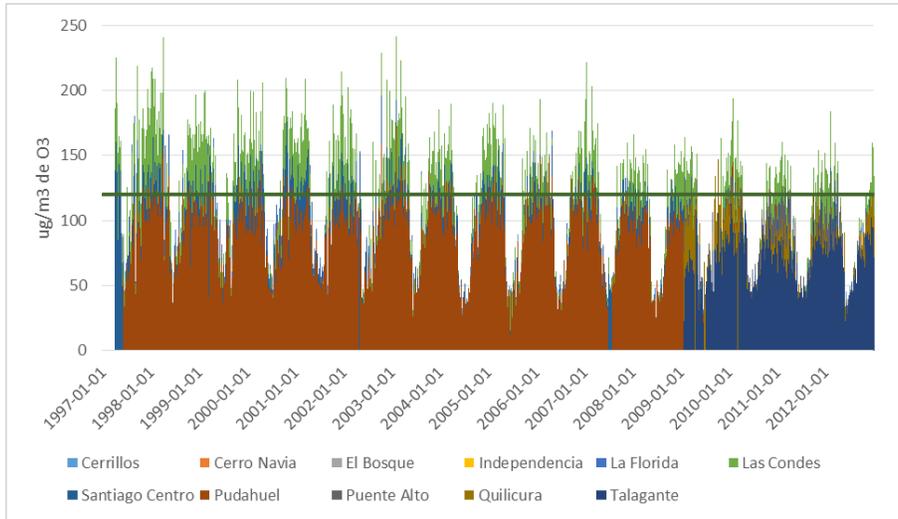


Figura 26. Promedios de 8 horas de ozono troposférico entre 1997 y 2012 en las estaciones de la RM.

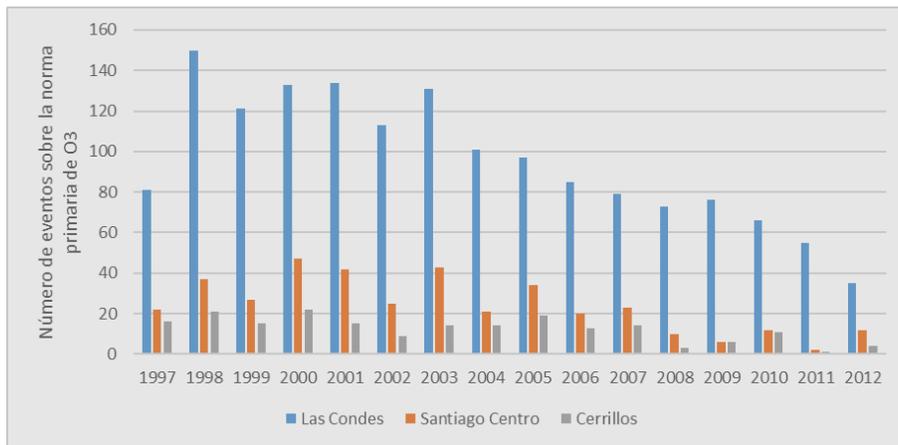


Figura 27. Número de veces que se ha sobrepasado la norma primaria en las estaciones de monitoreo Las Condes, Santiago Centro y Cerrillos

Dióxido de Azufre (SO₂)

En relación a los niveles de SO₂ puede señalarse que hay cumplimiento tanto de la norma anual como diaria. Al año 2012 el valor anual fue 26% el de la norma, mientras que el diario fue de 2%. A contar del año 2008 se constata un descenso importante en los valores, sin embargo es importante tomar en consideración la falta de información de este contaminante, desde el año 2009 a la fecha, en las estaciones de Pudahuel, Cerrillos y Cerro Navia (de acuerdo con la base de datos utilizada para el análisis).

Con respecto a la norma anual (Figura 28), los niveles máximos ocurrieron en 4 estaciones: Cerrillos, Independencia, El Bosque y Puente Alto. Similar situación se observó para la norma de 24 horas (Figura 29), en la cual la estación Parque O'Higgins presentó, en forma consecutiva, los valores más altos durante los últimos 3 años.

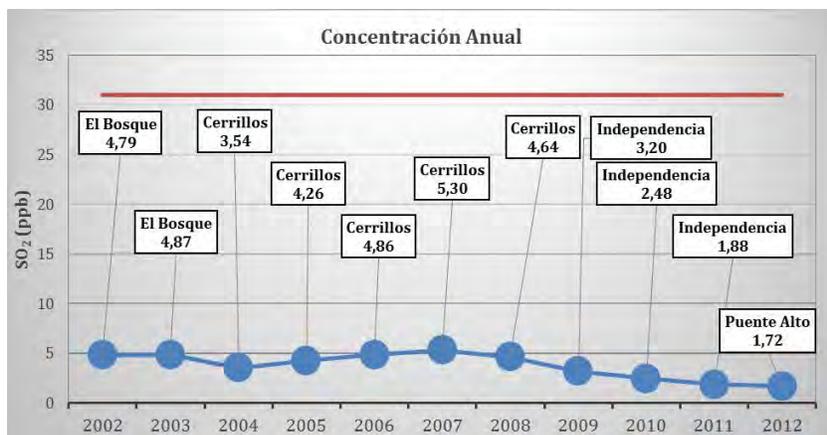


Figura 28: Evolución del promedio trianual la concentración anual. Indicados en la serie están tanto la concentración como la estación MACAM que presentó la máxima concentración anual.



Figura 29: Evolución del promedio trianual del percentil 99 de concentración de 24 horas. Indicados en la serie están tanto la concentración como la estación MACAM que presentó la máxima concentración anual.

La serie de concentración anual desagregada para todas las estaciones se entrega en la Figura 30, en la cual se destaca la tendencia decreciente para todas las estaciones de monitoreo. Para el año 2012 todas las estaciones convergieron hacia un valor aproximado de 1,4 ppb, con excepción de Parque O'Higgins que presentó concentraciones casi dos veces superiores al resto.

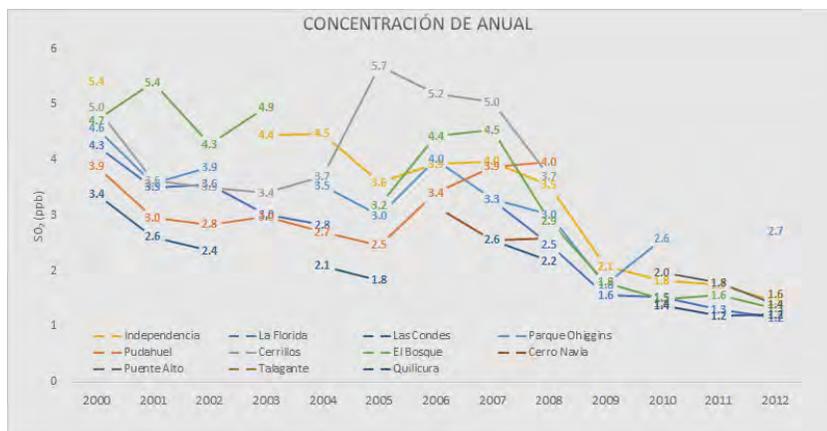


Figura 30: Concentración anual de 24 horas de SO₂ en todas las estaciones de la Red MACAM.

Las restricciones sufridas en el suministro de gas natural entre los años 2005 – 2008, junto con el aumento de la producción de combustibles pesados durante el mismo periodo (Figura 31), generaron un aumento en la concentración de SO₂, que se reflejó en prácticamente todas las estaciones de la Red, aunque con mayor notoriedad en las estaciones de El Bosque y Cerrillos, las cuales se ven directamente influenciadas por las actividades industriales emplazadas en estas comunas.

La tendencia de la concentración SO₂, es en general, a la disminución en toda la Región Metropolitana, permaneciendo casi invariable durante los últimos años. Dos hitos de gran relevancia en este logro alcanzado, lo son:

- i) Desulfuración de los combustibles; desde 1500 ppm a 100 ppm en el año 2000, a 50 ppm en el 2004 y a 15 ppm en el año 2011.
- ii) Los planes voluntarios de reducción de emisiones de SO_x, por parte de los mayores emisores de la Región Metropolitana.

En la Figura 31 se observa que la mayor cantidad de combustible utilizado a nivel nacional corresponde a diesel, seguido por la gasolina, y posteriormente por el petróleo combustible. El efecto de la desulfuración del combustible durante el año 2004 solo puede observarse después del período de restricción del gas natural, debido a que el contenido de S en los petróleos pesados es 2000 veces superior al diesel, y por lo tanto, el incremento en su uso generó mayores emisiones de SO_x en comparación con los otros combustibles.

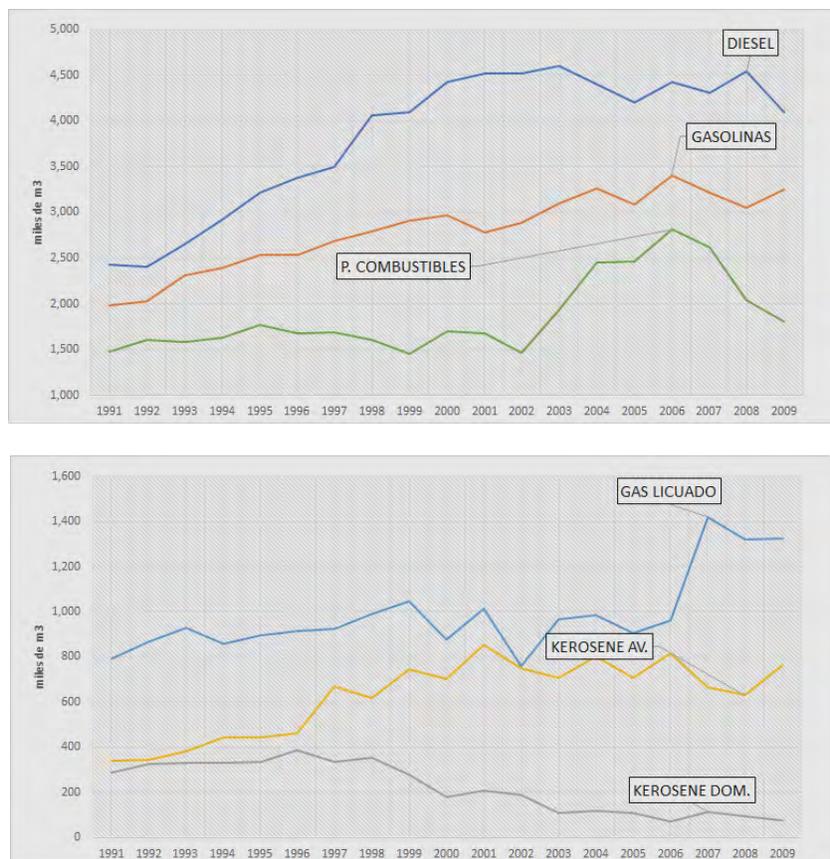


Figura 31: Producción nacional de combustibles derivado del petróleo.
Fuentes: Balances Energía (hasta el 2008), ENAP (2009 y 2010).

Los planes de reducción voluntarios de SO_x de los mayores emisores, comenzaron durante el año 2005 con la implementación de plantas de ácidos en MOLYMET. Al año 2012 se puede considerar que la totalidad de los mayores emisores cumplieron con sus planes de reducción, no obstante, sus efectos, solo pueden ser observados a partir del año 2009, producto del mayor uso de petróleos pesados durante el periodo de restricción de gas natural.

Si bien se puede señalar los niveles de este contaminante se han mantenido bajo control, es importante recalcar su participación como sulfato, en la formación de aerosoles inorgánicos secundarios, que corresponden a una parte importante de la generación del $\text{MP}_{2,5}$.

Dióxido de Nitrógeno (NO_2)

Con respecto a la norma anual, no se dispone de completitud necesaria durante toda la serie para evaluar el cumplimiento de la norma durante los siguientes años: 2004, 2005, 2009, 2010 y 2011 (Figura 32), por lo tanto tampoco es posible identificar alguna tendencia durante todo el período. La concentración al año 2012 indica cumplimiento de la normativa, representando un 59% del valor límite. Es interesante indicar que la estación Independencia en el año 2012, presenta los valores más altos de toda la serie, así como también de la Red.

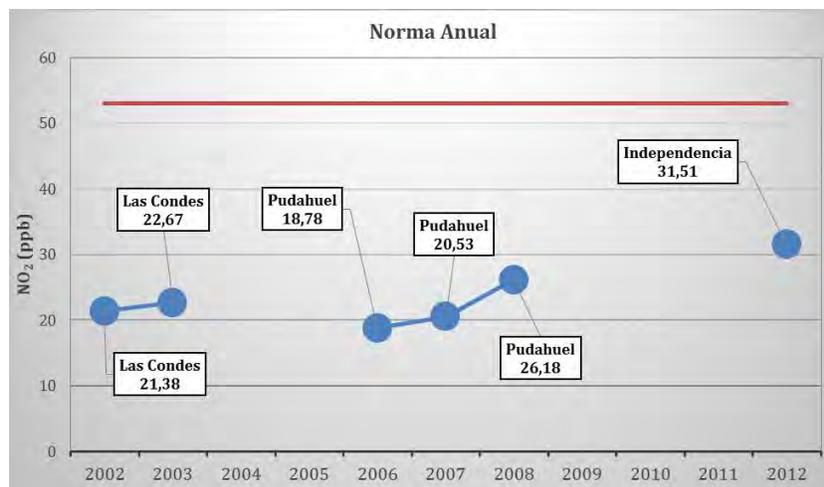


Figura 32: Evolución del promedio trianual la concentración anual. Indicados en la serie están tanto la concentración como la estación MACAM que presentó la máxima concentración anual.

Con respecto a la norma de 1 hora (Figura 33), se encontró al año 2012 un valor que representa un 59% del valor de la norma. Las Condes fue la estación con mayores concentraciones durante el año 2002 y 2003, mientras que posteriormente Pudahuel predominó hasta el año 2010. Cabe mencionar que entre el año 2004 y 2005 no existe completitud para Las Condes.

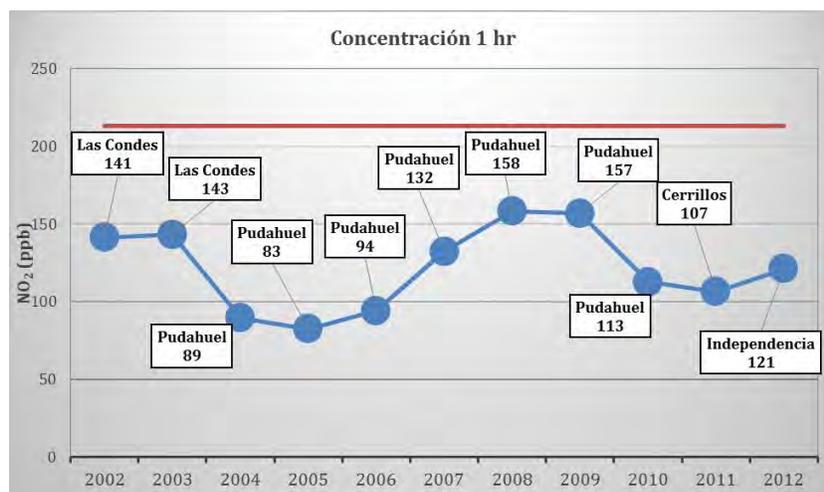


Figura 33: Evolución del promedio trianual del percentil 99 de concentración de 1 hora. Indicados en la serie están tanto la concentración como la estación MACAM que presentó la máxima concentración anual.

La evolución por estación permite investigar tendencias. En este caso, solo las estaciones de Las Condes, Pudahuel y Cerrillos pueden ser utilizadas para visualizar tendencias a lo largo de todos los años. Este análisis se muestra en la Figura 34, y se concluye que no existe una tendencia definida como en el caso de los contaminantes anteriores. Por lo tanto, es posible inferir que la concentración de NO₂ a nivel de ciudad entre los años 2000 y 2012 se ha mantenido prácticamente en un estado estacionario. La estación de Pudahuel presenta un comportamiento diferente al de Las Condes o Cerrillos, ilustrando un incremento durante el período 2006-2009 que

no se observa en las otras estaciones. Por otra parte, las nuevas estaciones de Quilicura, Talagante, junto a la histórica de Independencia, solo presentan datos a contar del año 2010. Se estima que la mayor fuente emisora de NO_x en la RM son las emisiones de escape de los vehículos motorizados. El parque vehicular en la Santiago crece a una tasa del 5% anual, lo que puede explicar la tendencia al incremento del NO₂ en las anteriores estaciones.



Figura 34: Concentración máxima anual de 24 horas de NO₂ en algunas las estaciones de la Red MACAM.

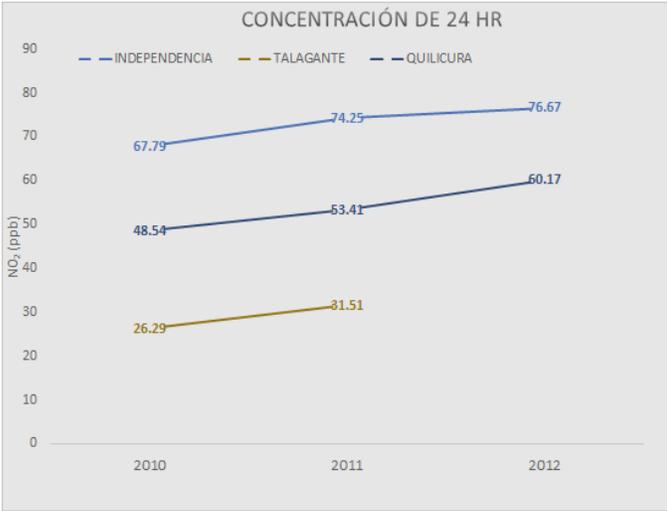


Figura 35: Concentración máxima anual de 24 horas de NO₂ en algunas las estaciones de la Red MACAM.

A pesar de que, tanto la concentración anual como la horaria, se encuentran bajo los límites de la norma, se debe mencionar el NO₂ tiene una participación trascendental en la formación de aerosoles inorgánicos secundarios, en la formación de O₃ y en la generación de radicales activos en procesos fotoquímicos, que tienen un rol importante en la formación del MP_{2,5}.

1.1.3 Recopilación y análisis de estudios de contaminantes no normados.

La estación Parque O'Higgins dispone de una base de datos histórica de resultados de concentración de $MP_{2,5}$ en filtros, como también de análisis de composición elemental (Figura 36). Esta información se ha utilizado como herramienta fundamental para identificar algunas de las medidas implementadas por el Plan de Prevención y de Descontaminación Ambiental para MP_{10} .

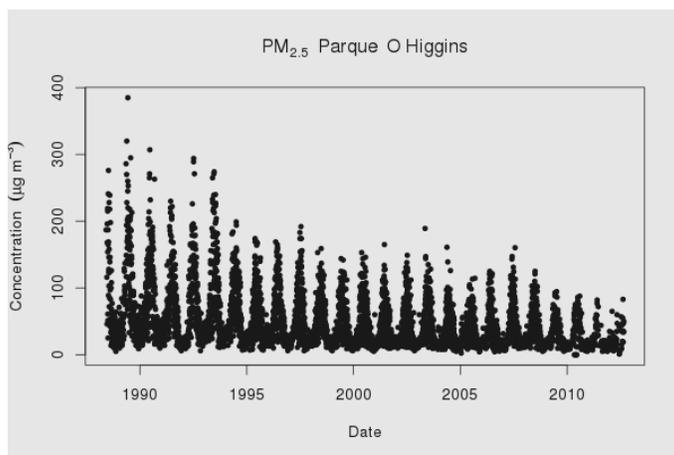


Figura 36: Promedios diarios de concentración de $MP_{2,5}$ en Parque O'Higgins. Muestreador dicotómico.

Las medidas planteadas en los sucesivos PPDA, y sus modificaciones, han implicado cambios en la composición química y elemental del $MP_{2,5}$. Es así como, por ejemplo, el retiro de plomo (Pb) en la gasolina durante el año 2001, significó, en términos del porcentaje de Pb en $MP_{2,5}$, una reducción de más d

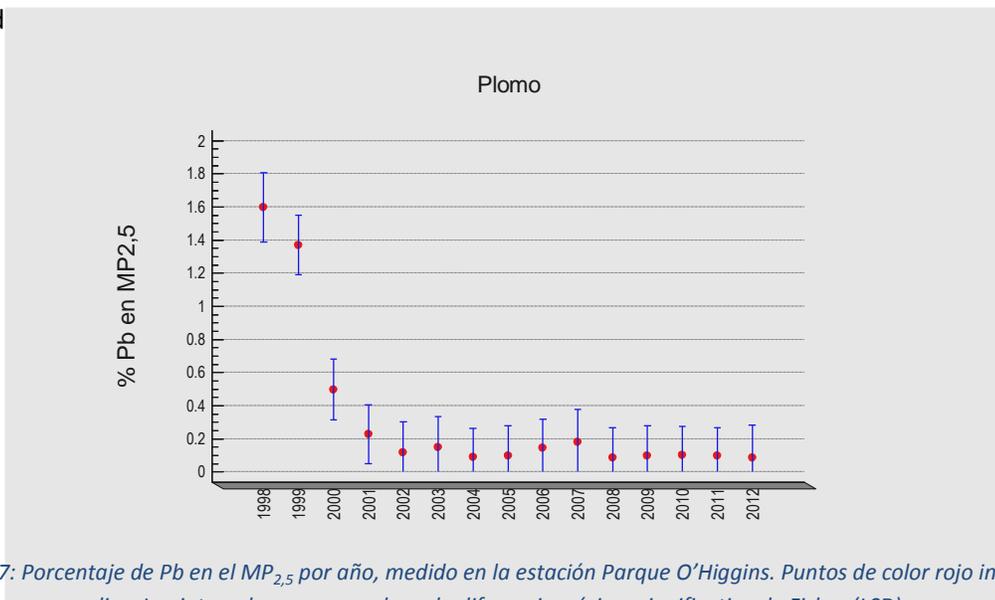


Figura 37: Porcentaje de Pb en el $MP_{2,5}$ por año, medido en la estación Parque O'Higgins. Puntos de color rojo indican medias. Los intervalos corresponden a la diferencia mínima significativa de Fisher (LSD).

El azufre (S) es otro elemento de comportamiento interesante. Previamente, se debe aclarar que la mayor parte del S elemental medido en la serie se encuentra como sulfato, obedeciendo a la oxidación del SO_x emitido durante combustión de materiales que contienen de S. Para este elemento, la serie iniciada el año 1998 (Figura 38), permite observar los mayores hitos en cuanto

a su reducción, relacionados a la desulfuración de los combustibles (año 2000 y 2004). Como resultado, el S en el MP_{2,5}, que en el año 1999 presentaba un 8,5%, bajó hasta un 4.5% en el año 2004, para luego mantenerse estable hasta la fecha. A partir del año 2004 las medidas más importantes con respecto a concentración de azufre han sido los programas de reducción voluntaria, por parte de los mayores emisores de SO_x de la Región Metropolitana. Entre estos se destaca MOLYMET, POLPAICO S.A., Cristalerías Chile, Cristalerías Toro e Industrias Princesa S.A.

De acuerdo con la información entregada por el Inventario de Emisiones de la Región Metropolitana, en la actualidad todos estos programas han sido ejecutados, no obstante, la estabilización del contenido de S en el MP_{2,5} permite indicar que el SO_x proviene tanto del transporte vehicular como del resto de las emisiones industriales.

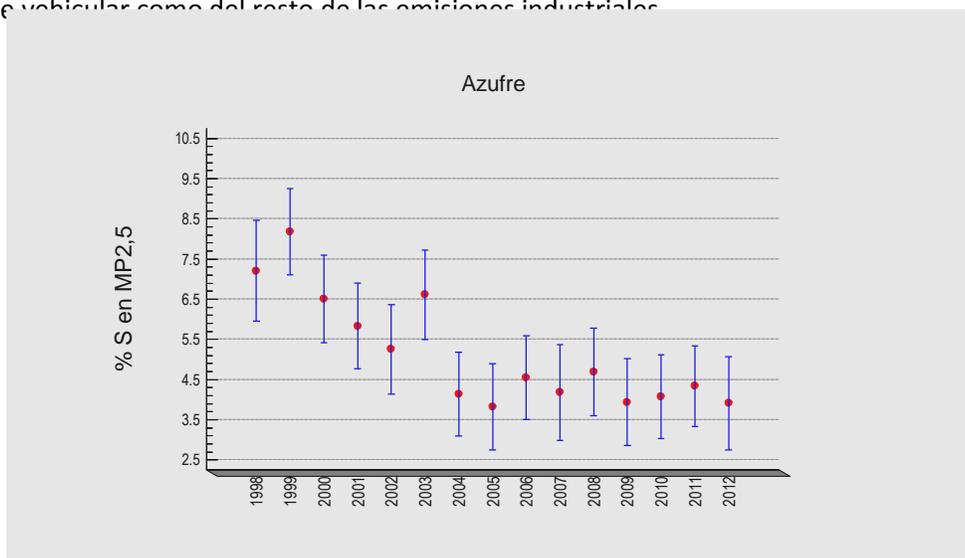
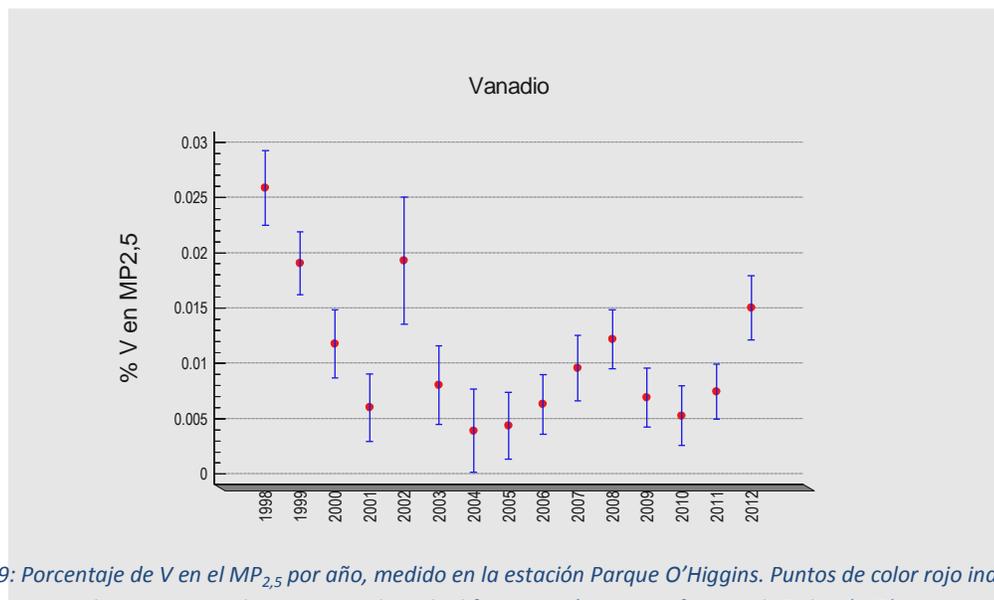


Figura 38: Porcentaje de S en el MP_{2,5} por año, medido en la estación Parque O'Higgins. Puntos de color rojo indican medias. Los intervalos corresponden a la diferencia mínima significativa de Fisher (LSD).

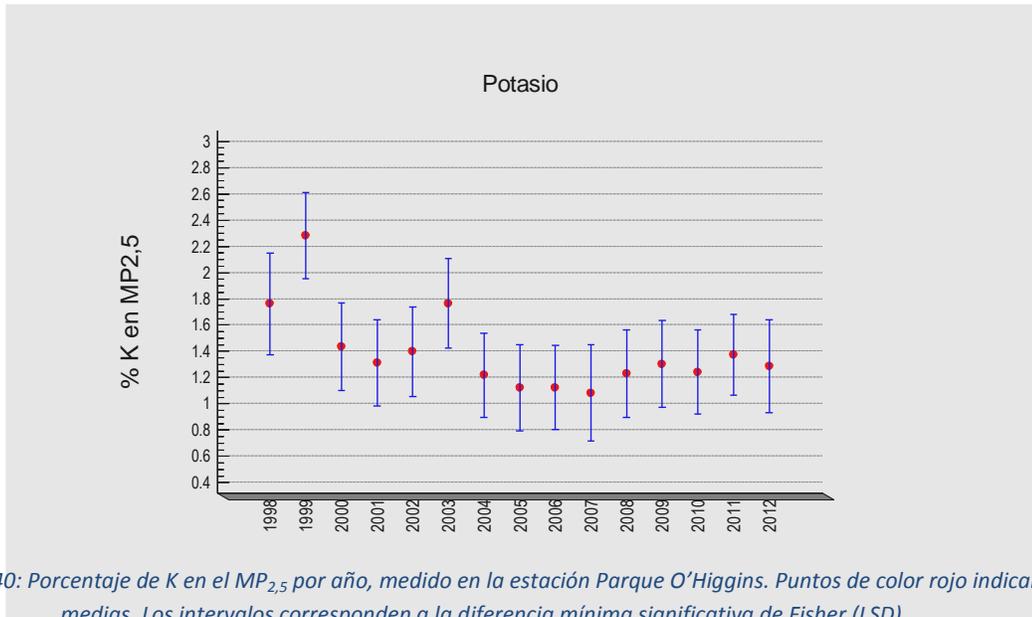
Otro elemento que refleja los cambios introducidos en el sector combustible, es el vanadio (V). Su serie de tiempo permite observar los cambios establecidos en la Región Metropolitana entre los años 1998 – 2008, que se reflejan en la reducción porcentajes de este elemento en el MP_{2,5} (0,025% – 0,005%). El V se relaciona con el uso de petróleos pesados en el sector industrial, por lo que esta disminución se encuentra asociada principalmente a la introducción del gas natural en la región. Otro aspecto a considerar es la desaceleración económica mundial ocurrida entre los años 1997 y 2000, la cual afectó fuertemente la producción industrial. Adicionalmente, el terremoto ocurrido el año 2010 introduce un nuevo aspecto en la serie de tiempo, ENAP principal abastecedor de hidrocarburos del país, se vio afectada en su producción, lo que generó una importación de combustibles pesados de baja calidad, situación reflejada en los últimos años de la serie de V.



El Potasio (K) es un elemento que debe ser estudiado en forma especial, debido a que es un trazador de quema de biomasa, aunque también puede ser emitido por combustión de carbón y petróleo, además de existir en el polvo natural re-suspendido (suelo). Se debe aclarar que el K emitido por combustión es soluble en agua, mientras que el K de origen térreo no lo es. Esta propiedad se manifiesta en el perfil anual del K, la cual disminuye su concentración en invierno y aumenta en verano.

Desde el año 2004 el porcentaje de K en el MP_{2,5} se ha mantenido prácticamente constante, dado que el método analítico usado (fluorescencia de rayos X) entrega la concentración total de K, no diferenciando el K soluble del insoluble. Sin embargo, se puede indicar que en invierno el uso de biomasa y en verano el polvo natural, como también las quemas agrícolas e incendios forestales, son las principales fuentes de este elemento, siendo las concentraciones durante el periodo estival las más altas.

Los datos de las concentraciones de componentes químicos en el MP en la Región Metropolitana se iniciaron durante la década de los 90. En sus comienzos predominaron el uso de tecnologías discretas (captura de partículas en filtros por un determinado tiempo y posterior análisis químico en los laboratorios respectivos), que luego evolucionaron a mediciones en tiempo real, con capacidad de análisis fisicoquímicos in-situ (distribución por tamaño y composición química del MP).



Los datos sobre la composición química del MP fino indican un predominio de la fracción orgánica cercana a un 38% de la masa total. El segundo compuesto en abundancia corresponde al carbono elemental (CE), representando ambos, más del 50% de la masa. Con respecto a los componentes inorgánicos, el nitrato de amonio destaca como el componente principal.

El CE es un contaminante primario que proviene únicamente de las fuentes de combustión, así como también una fracción de los aerosoles orgánicos. Materiales naturales como restos de vegetales, esporas y hongos, también es posible encontrarlas en aerosoles orgánicos, sin embargo, debido al tamaño, es bajo el aporte que realizan a la fracción fina. La característica principal de estos aerosoles es que una parte importante proviene de la conversión gas-partícula, a través de sus precursores. Los gases orgánicos (antropogénicos y biogénicos) son liberados a la atmósfera, lugar en el cual son oxidados sucesivamente hasta que su presión de vapor es suficientemente baja, logrando la partición hacia la fase aerosol. Esta descripción se refiere al mecanismo de formación del Aerosol Orgánico Secundario (SOA), materia de estudio en la ciencia atmosférica hoy en día.

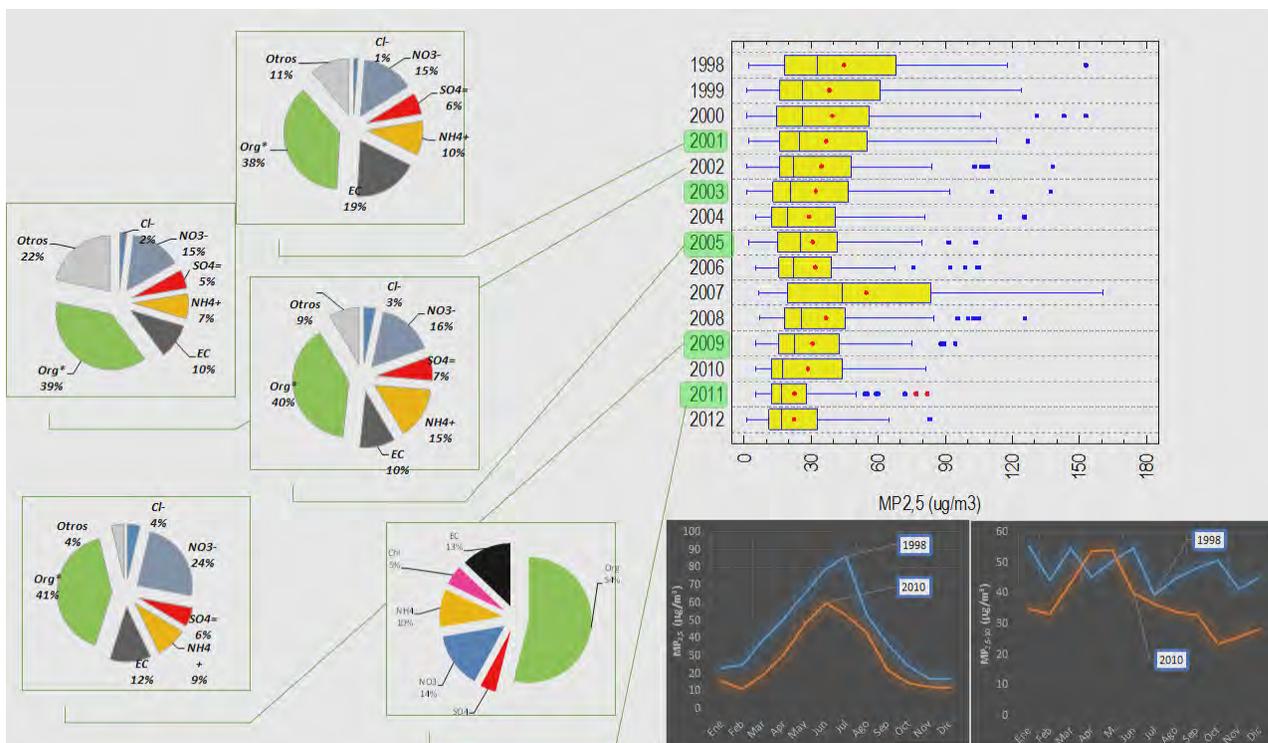


Figura 41: Concentración de $MP_{2,5}$ y caracterización química realizada durante distintos años.

Por otra parte, el nitrato de amonio se forma por la conversión fotoquímica de los NO_x (principalmente liberados por el tráfico vehicular), y luego, por su transformación de gas a partícula.

En concordancia a los párrafos anteriores, se concluye que tanto los aerosoles orgánicos como el nitrato de amonio deben ser las principales prioridades de las medidas de descontaminación del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica del $MP_{2,5}$ (PPDA $MP_{2,5}$). Particularmente, el Carbono Orgánico representa uno de los mayores desafíos al que se enfrentará la RM durante la ejecución del PPDA $MP_{2,5}$. Como fue mencionado anteriormente, este grupo aporta cerca del 60% de la masa del $MP_{2,5}$ y está relacionado tanto con emisiones primarias como secundarias de compuestos orgánicos. Con los avances tecnológicos, los procesos de combustión aumentan su eficiencia, en términos de emisión directa de MP, lo que ha tenido una consecuencia directa en la disminución de componentes primarios en el $MP_{2,5}$ (especialmente de CE), no obstante, las emisiones gaseosas de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs), como también los óxidos de nitrógeno (NO_x) han incrementado su importancia.

La Figura 42 presenta la tendencia creciente de la relación Carbono Orgánico/Carbono Elemental (OC/EC), lo cual indica que con el transcurso de los años, la Región Metropolitana ha experimentado una modificación importante, tanto en términos de sus fuentes emisoras (de industria a transporte), como de su composición química (de S a OC/EC).

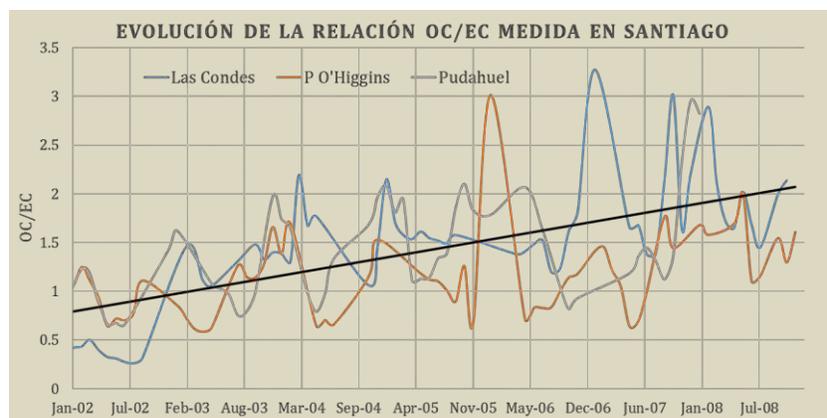


Figura 42: Tendencia de aumento de la participación de componentes orgánicos en el $MP_{2,5}$.

1.1.4 Recopilación y análisis de estudios de impacto en salud.

La revisión bibliográfica seleccionada para el presente sub-capítulo, hacen referencia a estudios de asociaciones entre contaminantes del aire y datos epidemiológicos en la población, como por ejemplo, ingresos a hospitales, mortalidad y morbilidad por diversas patologías, aunque también se incluirán la recopilación de estudios relacionados con escenarios fisiológicos, es decir experimentos toxicológicos.

Dentro de la primera categoría mencionada, una de las publicaciones más antiguas corresponde a Ilabaca et al. 1999⁷, los cuales analizaron el impacto de la variación diaria de $MP_{2,5}$ y otros contaminantes atmosféricos regulados, en el número diario de casos de emergencias respiratorias en niños. Utilizando datos de registros de un hospital pediátrico entre los años 1995 y 1996, y datos de calidad del aire de cuatro estaciones de monitoreo, los autores determinaron asociaciones significativas entre los niveles de $MP_{2,5}$ o MP_{10} , con el aumento en el número de visitas hospitalarias en niños. La asociación fue más fuerte para el $MP_{2,5}$ y el aumento en el número de casos asociados, es medido hasta 3 días después del evento. Los autores también destacaron la influencia del SO_2 y NO_2 en el número de visitas hospitalarias. Finalmente, concluyen que la contaminación del aire y específicamente el MP fino afectan la salud respiratoria de los niños que residen en Santiago. Cabe destacar que los autores informaron que un aumento de $45 \mu g/m^3$ en el $MP_{2,5}$ se relacionó con un 2.7 % de aumento en el número de visitas hospitalarias.

En otra de las publicaciones seleccionadas, se comparó el exceso de morbilidad respiratoria en niños y adultos mayores habitantes de Cerro Navia expuestos a altas concentraciones de MP_{10} con

7 Ilabaca, M., Olaeta, I., Campos, E., Villaire, J., Tellez-Rojo M. M. and Romieu, I. (1999). Association between Levels of Fine Particulate and Emergency Visits for Pneumonia and other Respiratory Illnesses among Children in Santiago, Chile. J. Air & Waste Manage. Assoc. 49: 154-163.

los habitantes de otras zonas de la Región Metropolitana (Prieto et al, 2007⁸), concluyendo que los grupos expuestos a la contaminación del aire en cerro Navia presentan significativamente mayor proporción de infecciones respiratorias, neumonía, síndrome bronquial obstructivo en niños y enfermedades de las vías respiratorias bajas en adultos mayores. Dicha diferencia se correlacionó con el aumento en la concentración de MP₁₀ en Cerro Navia. De forma similar, Sanhueza et al. 2010⁹, utilizando un diseño de estudio que se enfoca en las variaciones espaciales de monóxido de carbono en distintos sitios de la región a nivel de ciudad, zona y comuna, entre los años 1998 y 2004, determinó diferentes riesgos de mortalidad cardiorespiratoria en personas mayores a 64 años. Dicho riesgo se asoció a la desigual exposición a monóxido de carbono.

Se debe destacar, que cualquier aumento medible con algún parámetro médico, o patología, depende de múltiples variables, razón por la cual es necesario analizar el efecto de la contaminación del aire con un retraso o “lag”, en el tiempo. Muñoz y Carvalho, 2009¹⁰, realizaron un análisis para determinar el lag desde la exposición a MP₁₀ y los efectos en la salud medidos, como bronquitis aguda. Considerando las mediciones horarias de MP₁₀ y el aumento en el número de admisiones de emergencia por bronquitis aguda para seis regiones de Santiago durante los años 2002 y 2004, los autores desarrollaron un modelo para evaluar el efecto de la exposición a altas concentraciones de MP₁₀. El mayor efecto en la exposición a MP₁₀ fue encontrado cuatro días después de la exposición inicial. El efecto de una hora de exposición a niveles mayores a 150 µg/m³ de MP₁₀ se relacionó con un aumento de un 3% en el número de consultas de urgencia por bronquitis aguda en niños.

Como ha sido posible inferir en esta sección, la magnitud del efecto de la contaminación del aire depende de las características de los individuos expuestos a dicha contaminación. Cuando un grupo presenta un mayor riesgo relativo a desarrollar efectos adversos en comparación a otro grupo de individuos, dicho grupo es considerado susceptible. Gran parte de los esfuerzos para determinar riesgos y efectos de la contaminación a nivel internacional han tomado en consideración esta susceptibilidad. Dentro de los grupos susceptibles más estudiados se encuentran los niños y los ancianos.

En el año 2004, Pino et al¹¹ analizaron los efectos de la contaminación del aire en niños durante el primer año de vida. Utilizando una estrategia de seguimiento y análisis de problemas respiratorios medidos como silbido o resuello, los autores relacionaron el aumento en la concentración de MP_{2,5} y el aumento en el número de diagnósticos de bronquitis. En este trabajo se evaluó mensualmente alrededor de 500 niños de cuatro meses de edad, de la zona sur-este de Santiago, durante un año. Además, los datos relacionados con la salud de los niños fueron correlacionados con las

8 Prieto, M. J., Mancilla, P., Astudillo, P., Reyes, A. and Román, O. (2007). Excess respiratory diseases in children and elderly people in a community of Santiago with high particulate air pollution. Rev Méd Chile. 135: 221-228.

9 Sanhueza, P., Pizarro, J., Vargas, C., Torreblanca, M and Passalacqua, M. (2010). Health risk estimation due to carbon monoxide pollution at different spatial levels in Santiago, Chile. Environ Monit Assess. 167: 165-173.

10 Muñoz, F and Sá Carvalho, M. (2009). Effect of exposure time to PM10 on emergency admissions for acute bronchitis. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, 25(3):529-539.

11 Pino, P., Walter, T., Oyarzún, M., Villegas, R. and Romieu, I. (2004). Fine Particulate Matter and Wheezing Illnesses in the First Year of Life. Epidemiology. 15(6): 702-708.

concentraciones de diversos contaminantes ($MP_{2,5}$, SO_2 y NO_2) tomando en consideración el efecto de otras variables como sexo, nivel socioeconómico, asma, temperatura y la presencia de hermanos mayores. Los autores concluyeron que existe una asociación entre los niveles de $MP_{2,5}$ y el aumento en el riesgo de presentar episodios de bronquitis, no obstante dicha asociación no ocurre para el SO_2 y el NO_2 . Asimismo, los autores establecen que por un aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la concentración diaria de $MP_{2,5}$, el riesgo de presentar bronquitis aumenta en un 5% al día siguiente (*lag* de 1 día). Dicho riesgo presenta un máximo cuando los datos son analizados con un *lag* de 9 días. Asimismo, otras variables como la historia familiar de asma estrechan la asociación entre bronquitis y $MP_{2,5}$, mientras que otras, como el estado socioeconómico y la presencia de hermanos mayores, también se relacionan independientemente con el riesgo de desarrollar bronquitis.

Respecto a investigaciones en otras regiones de Chile, dos trabajos, Sanhueza et al. 2006¹² y Sanhueza et al. 2009¹³, han analizado el efecto de la contaminación del aire de Temuco con la mortalidad diaria. Estos trabajos indican que Temuco es una zona contaminada por la quema masiva de leña y que la concentración de partículas en el aire se asocia significativamente con el aumento en la mortalidad de los habitantes de la zona. Sanhueza et al 2006, utilizando datos de mortalidad del Ministerio de Salud ocurridos entre 1997 y 2002, junto con concentraciones de MP_{10} en un modelo de regresión multivariable de Poisson, estimó que el riesgo relativo de mortalidad asociado al aumento de MP_{10} . Siguiendo la misma metodología, Sanhueza et al. 2009 analizó asociaciones similares entre los años 1998 y 2006, pero tomando en consideración el aumento en la morbilidad por causas respiratorias o cardiovasculares. Los autores concluyeron que los ancianos (mayores de 65 años) poseen mayor riesgo a enfermar y morir a causa del aumento en las concentraciones de MP_{10} .

Por otra parte, Dales et al. 2012¹⁴, utilizando las bases de datos de hospitalizaciones y contaminación del aire desde el 2001 hasta el 2008, encontró asociaciones significativas entre la contaminación del aire y hospitalización por complicaciones agudas en diabéticos. Este trabajo se relaciona con diversas investigaciones previas que han relacionado el efecto de la contaminación del aire en el desarrollo y promoción de la diabetes, resistencia a la insulina y otros problemas metabólicos. De forma similar, aunque previamente (Dales et al. 2010¹⁵), también concluyeron que la contaminación del aire parece ser un factor de riesgo para el desarrollo de trombos venosos y embolismo pulmonar, cuyas tasas de mortalidad son relativamente altas en el país.

¹² Sanhueza, P., Vargas, C. and Mellado, P. (2006). Impact of air pollution by fine particulate matter (PM_{10}) on daily mortality in Temuco, Chile. *Rev Méd Chile*. 134: 754-761.

¹³ Sanhueza, P. A., Torreblanca, M. A., Diaz-Robles, L. A., Schiappacasse, L. N., Silva, M. P. and Astete, T. D. (2009). Particulate Air Pollution and Health Effects for Cardiovascular and Respiratory Causes in Temuco, Chile: A Wood-Smoke - Polluted Urban Area. *J. Air & Waste Manage. Assoc.* 59:1481-1488

¹⁴ Dales, R. E., Cakmak, S. and Blanco, C. (2010) Air pollution and hospitalization for venous thromboembolic disease in Chile. *Journal of Thrombosis and Haemostasis*. 8: 669-674.

¹⁵ Dales, R. E., Cakmak, S. and Blanco Vidal, C. (2010). Air pollution and hospitalization for epilepsy in Chile. *Environment International*. 36: 501-505.

Los trabajos de Cakmak et al. 2009¹⁶, determinaron la asociación entre la mortalidad/morbilidad y diversos elementos del MP_{2,5}. Utilizando una base de datos de calidad del aire entre los años 1998 y 2006, junto con datos de mortalidad para el mismo periodo, sus resultados indicaron que el mayor efecto individual corresponde al carbono elemental. También usando análisis de factores, un número de elementos representativos de fuentes móviles de combustión estaban asociados significativamente con el incremento en la mortalidad y en el número de visitas a servicios de emergencia. Los autores concluyeron de todas las fuentes analizadas, las emisiones de combustión de fuentes móviles poseen el mayor efecto en el aumento de los efectos en la salud y la mortalidad.

En cuanto al segundo tema mencionado en el párrafo introductorio, la mayoría de los artículos científicos encontrados en el área de la evaluación de los efectos toxicológicos de MP en Chile, se remiten a las investigaciones del grupo de investigación de los Dres. Gil y Adonis que fueron ejecutados en la década de los 90' e inicios del 2000. Dichas publicaciones se concentran principalmente en la cuantificación de la concentración de Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (PAHs) y en la evaluación de su potencial carcinogénico. Estos efectos se relacionan con la exposición crónica o a largo plazo y el eventual desarrollo de cáncer. Los detalles de estas investigaciones, junto a la descripción de publicaciones donde se miden contaminantes relevantes para la salud en diversos escenarios, y publicaciones que analizan costes y beneficios económicos en salud asociados a la contaminación del aire, pueden ser encontrados en la sección Anexa.

1.4 Análisis de datos de calidad del aire existentes relacionado con contaminantes que contribuyen al cambio climático.

En la actualidad, los contaminantes asociados a los términos de Cambio Climático y Calidad del Aire, se encuentran estrechamente ligados (Figura 43). Sin embargo, la actual Red MACAM, carece de monitoreo permanente de la mayoría de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), entre los que se incluye uno de los de mayor efecto respecto al desbalance térmico a escala planetaria, como lo es el dióxido de carbono (CO₂).

¹⁶ Cakmak, S., Dales R. E., and Blanco Vidal, C. (2009). Components of Particulate Air Pollution and Mortality in Chile. Int J Occup J Environ Health. 15: 152-158.

Cakmak, S., Dales, R. E., Gultekin, T., Blanco Vidal C., Fernández, M., Rubio, M. A. and Oyola, P. (2009). Components of Particulate Air Pollution and Emergency Department Visits in Chile. Archives of Environmental & Occupational Health. 64 (3): 148-155.

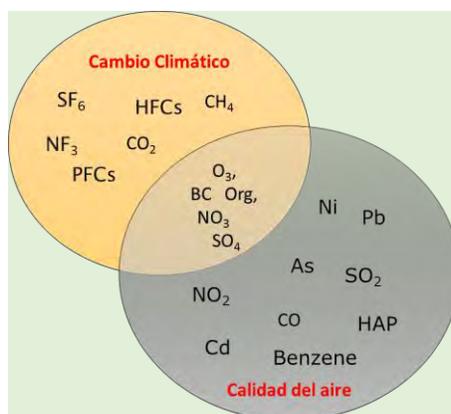


Figura 43: Esquema general de la agrupación de determinados contaminantes de cambio climático y calidad del aire.
Elaboración propia.

Se estima que las emisiones de CO₂ son responsables del 60% del forzamiento radiativo antropogénico, y debido a esto las políticas internacionales se han enfocado en la reducción de su concentración en la atmósfera. No obstante, el resto del forzamiento radiativo (40%) se concentra en el CE, O₃ troposférico, metano (CH₄) y PFCs, los que son denominados como contaminantes de cambio climático de vida corta (SLPCs, por sus siglas en inglés). Previamente, se comentó el análisis de los datos relacionados a CE, O₃, sulfatos y nitratos. Asimismo, y a pesar de la escasez de inventarios de emisiones de GEI, se podrá encontrar una primera aproximación al estado de contaminación por emisiones regionales de CO₂, en el sub-capítulo denominado “Recomendación de estrategias que permitan controlar los contaminantes que afectan el cambio climático”, dispuesto en las páginas siguientes.

Considerando ahora, la necesidad de implementar una Red de monitoreo multifuncional, en la sección Anexa del presente informe se ilustra y comenta el diseño de una Red enfocada en el seguimiento de metas específicas definidas para el Plan de descontaminación para MP_{2,5}, entre las que se incluyen la reducción de contaminantes relacionados al cambio climático, y otros elementos críticos que son especificados en el sub-capítulo a seguir.

1.5 Elementos críticos para el diseño de un plan de descontaminación del MP_{2,5} y para la reducción de emisiones de GEI.

Como ha sido mencionado anteriormente, cerca del 60% de la masa del MP_{2,5} proviene de una serie de reacciones químicas ocurridas en la atmósfera (formación secundaria). No obstante, actualmente siguen siendo relevantes las fracciones de aerosoles orgánicos y nitrato de amonio (NH₄NO₃), cuyas proporciones se han mantenido a lo largo de los años.

Del análisis anterior se desprende que la recuperación de la calidad del aire por MP_{2,5} debe enfocarse en la reducción de aquellos precursores que más aportan a su formación, estos son los compuestos orgánicos volátiles (COVs) y los óxidos de Nitrógeno (NO_x). De la misma forma, es evidente que un plan para reducir las emisiones de precursores de MP_{2,5}, también posee un potencial para la disminución de las emisiones regionales de contaminantes que afectan el clima.

Este potencial actúa directamente en la reducción de los contaminantes de vida corta, principalmente sobre el CE.

La fracción de carbono orgánico (Org) y CE puede ser desagregada en una primera aproximación como aporte fósil (proveniente de la combustión de combustibles fósiles) y no fósil (atribuida a combustión de biomasa), cuya distribución en la RM son ilustrados en la Figura 44. Como es posible observar, el aporte de la biomasa predomina en sectores rurales, en tanto que los aportes fósiles lo hacen en sitios urbanos. No obstante destaca, que el aporte no fósil sigue siendo significativo, aún dentro de la ciudad, alcanzando a contribuir con un 25% de la masa total.

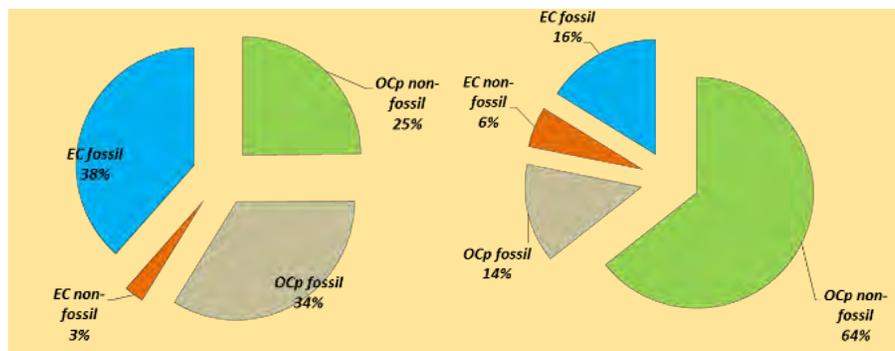


Figura 44: Distribución de carbón fósil y no fósil en el $MP_{2,5}$ de la RM. Izquierda: Sitio Urbano. Derecha: Sitio Rural.

Se ha determinado que el aerosol orgánico presente en la región se encuentra altamente oxidado (LV-OOA). Esta determinación, además, permite caracterizarlo como un aerosol perdurable, o de larga vida, en términos de permanencia atmosférica, y por lo tanto, desde su origen puede haber sido transportado desde otras regiones aledañas a la Región Metropolitana.

La anterior observación indica una fuerte influencia de la contribución *background* rural, que sumado al gran porcentaje que llega a alcanzar (34% del aerosol orgánico en invierno, aumentando a un 63% en verano), permite sugerir a la fracción orgánica, y especialmente aquellas fuentes regionales extra-urbanas, como elementos críticos en la consideración del diseño del Plan de Descontaminación para el $MP_{2,5}$.



Figura 45: Diferenciación entre Aerosol Orgánico Secundario envejecido (LV-OOA), Aerosol Orgánico Secundario recién formado (SV-OOA), Aerosol de Biomasa (BBOA) y Aerosol Primario reducido (HOA) en la RM durante invierno y verano en la RM, año 2011. Se presenta un esquema que diferencia cuáles son primarios y cuáles son secundarios. La torta solo considera la fracción orgánica del $MP_{2,5}$.

Se debe mencionar que aún existe un avance por realizar en materia de contaminantes primarios, como lo es el aerosol orgánico primario hidrogenado (HOA), generado por la combustión de biomasa y combustibles fósiles. Como estrategia, es usual que ante este escenario, se establezcan prioridades por contaminante en función de los resultados esperados, de acuerdo como lo han implementado otras ciudades con experiencia en el tema. Ciudad de México en su momento, priorizó la descontaminación por ozono y por lo tanto sus políticas estuvieron enfocadas en sus precursores. En la ciudad de Los Ángeles, EEUU, comenzaron con reducción de emisiones de SO_x , producto de que eran las medidas más costo-efectivas, para posteriormente comenzar con medidas sobre las emisiones directas de MP y emisiones de NO_x .

En definitiva, las líneas de acción conducentes a reducir las concentraciones de $MP_{2,5}$ en la Región Metropolitana, debiesen estar enfocadas a:

1. Reducciones de las emisiones directas de Material Particulado (MP) y Carbono Negro (BC). Se espera que tenga un efecto tanto en calidad del aire como en el cambio climático.
2. Reducción de las emisiones de los Óxidos de Nitrógeno (NO_x).
3. Reducción de las emisiones de los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's).

No se han considerado reducciones en Óxidos de Azufre (SO_x) dado que la concentración de sulfato en el $MP_{2,5}$ es baja, lo que no justificaría seguir reduciendo el contenido de S en los combustibles. No obstante, es recomendable continuar con el seguimiento a las medidas de abatimiento de emisiones de SO_x en el sector industrial.

El orden propuesto para la RM es el mismo propuesto para la ciudad de Los Ángeles. De esta manera, como prioridad se mencionan a las emisiones directas de MP y carbono elemental. Cabe destacar que actualmente existe tecnología disponible como la implementación de filtros en vehículos diesel, y otras similares.

Con respecto a los COVs se supone que sean los más importantes, en términos de concentración másica en el $MP_{2,5}$, sin embargo no se han privilegiado en lugar de los NO_x . Lo anterior se debe a dos razones principales:

1. Para los NO_x se dispone actualmente de tecnología para su control, y se han implementado programas con resultados positivos tanto en Europa como en EE.UU. Además, en la RM el transporte vehicular es la fuente principal de estos contaminantes.
2. Para los COVs no se tiene información suficiente que pueda señalar la participación de las principales fuentes emisoras y tampoco se tiene certeza real sobre la eficiencia de las medidas a implementar. Adicionalmente, existe incertidumbre relacionada con la participación de las fuentes antropogénicas (transporte, industriales, residenciales) y naturales (biogénicas) en la formación del Aerosol Orgánico Secundario, principal componente en el $MP_{2,5}$, objeto de estudio que en la actualidad se está investigando, en profundidad a nivel internacional.

A partir de la identificación de los contaminantes prioritarios a reducir, y con ello, la información de las fuentes responsables de su emisión, se da paso al segundo capítulo del presente documento, en donde se podrá encontrar, de forma concreta, las propuestas estratégicas más apropiadas para el control de los contaminantes, clasificadas por sector. Adicionalmente se incluyen cronogramas de aplicación, identificación de las responsabilidades institucionales en la ejecución, recomendaciones para su implementación legal y mecanismos de financiamiento.

2 ENFOQUE ESTRATÉGICO

En el presente capítulo se presenta en enfoque estratégico para enfrentar el diseño del Plan de Descontaminación de la Región Metropolitana para $MP_{2,5}$.

2.1 Generación de propuestas de enfoque estratégico y líneas de acción en el corto, mediano y largo plazo.

2.1.1 Enfoque estratégico.

La descontaminación de Santiago comenzó en 1990 en medio de una crisis ambiental por los altísimos niveles de MP_{10} y $MP_{2,5}$. La autoridad debió actuar decididamente por la presión pública, marcada durante los inviernos por los episodios críticos de alta contaminación. Al cabo de 23 años de gestión de la calidad del aire se puede afirmar que existen cambios estructurales en los patrones de producción y consumo de la Región Metropolitana que han permitido una reducción de la contaminación por partículas, la cual se observa en los promedios anuales, promedios de 24 horas y en la disminución del número de episodios críticos de alta contaminación. Los mayores cambios han sido una mejora notable de la calidad de los combustibles usados por el transporte y en parte por la industria, una transformación radical del transporte público y un control estricto del mercado automotriz, en términos de la incorporación de vehículos progresivamente más limpios. Estos son los cambios esenciales, que han permitido una reducción de la contaminación en un periodo de alto crecimiento económico.

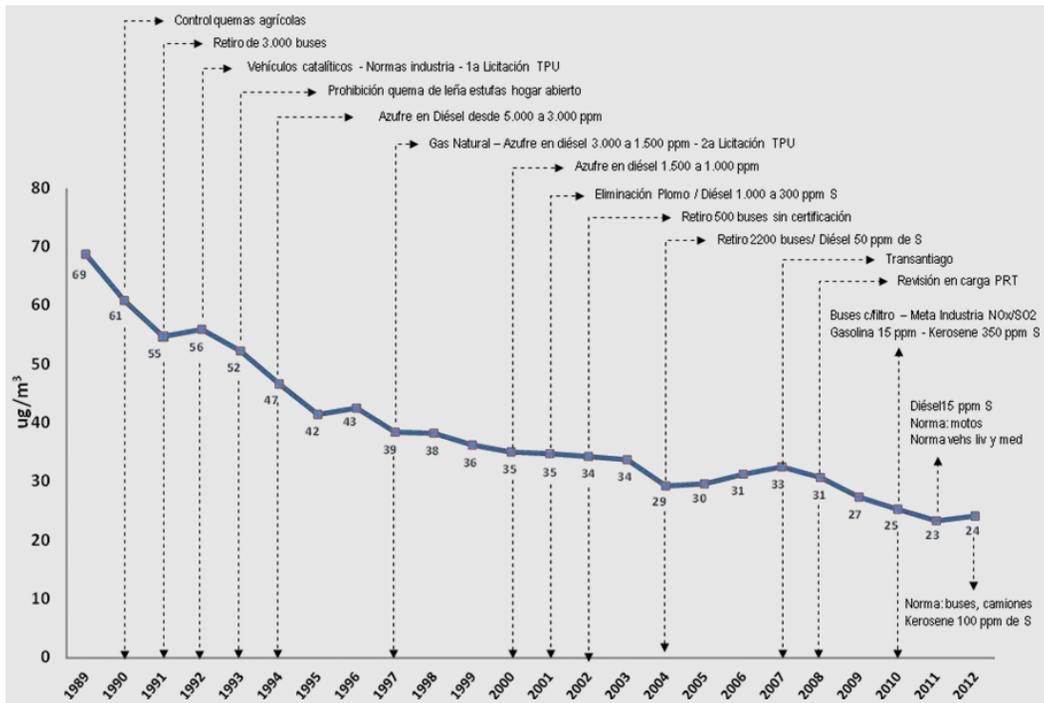


Figura 46. Principales eventos asociados a la reducción de la concentración de MP_{10} en la serie de tiempo 1989-2012.

Existen avances en la reducción del aporte de la industria a la contaminación de Santiago, donde probablemente el más relevante ha sido el desincentivo a la instalación de grandes actividades productivas en la región. Independiente de esto, se requiere de un control estricto de las grandes fuentes basado en el uso de la mejor tecnología disponible para la reducción de sus emisiones y en información de monitoreo continua y confiable. El resto de las fuentes medianas y pequeñas deben ser controladas en base a la exigencia de combustibles más limpios y la promoción de la eficiencia energética.

Persisten aun actividades dentro de la Región Metropolitana que no han experimentado una transformación relevante en términos tecnológicos, lo que las ha ido convirtiendo en las mayores responsables de los niveles de contaminación observados actualmente. Estas son las residencias que emplean calefacción a leña, el transporte comercial y de carga urbano e interurbano, las empresas distribuidoras de combustibles que distribuyen las gasolinas sin un control adecuado de sus evaporaciones, la construcción y la agricultura que emplean equipos y maquinaria diésel sin control de emisiones, las empresas de artes gráficas que no controlan adecuadamente las emisiones asociadas al uso de solventes, y las empresas que comercializan pinturas y productos que usan propulsores y solventes que emiten compuestos orgánicos volátiles. Todos estos sectores corresponden a un pasivo ambiental que dificulta cualquier avance futuro en la mejora de la calidad del aire local y en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Por lo tanto, en la Región Metropolitana conviven actividades que cumplen exigencias tecnológicas (o normativas) de países de la OCDE con otras actividades completamente obsoletas. Esto se observa claramente en la figura siguiente, donde se presentan los factores de emisión de emisiones directas de $MP_{2,5}$ y de NO_x de los sectores económicos más importantes, determinados a partir del inventario de emisiones 2012 y de la matriz energética regional presentado en el capítulo 3.7.

Los niveles de emisión de la leña en calefactores es por lejos la fuente de emisión más contaminante por unidad de energía (695 ton $MP_{2,5}$ /Millón de Gjoules); por esta razón las residencias son el sector regional más contaminante (46 ton $MP_{2,5}$ /Millón de Gjoules).

El transporte de carga es la fuente más contaminante en NO_x (728 ton NO_x /Millón de Gjoules). Considerando que además Transantiago y los vehículos *off road* también tienen niveles de emisión importantes, el transporte es el sector con mayor responsabilidad en la emisión de NO_x .

Cuando los sectores residencial y transportes se actualicen a tecnologías equivalentes a países OCDE, la descontaminación de Santiago y la mantención de los niveles de contaminación dentro de los límites definidos por las normas de calidad, van a depender estrictamente de la eficiencia energética. Resueltos los problemas de los sectores más contaminantes, un plan de prevención y descontaminación atmosférica es en el largo plazo similar a un plan de mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero.

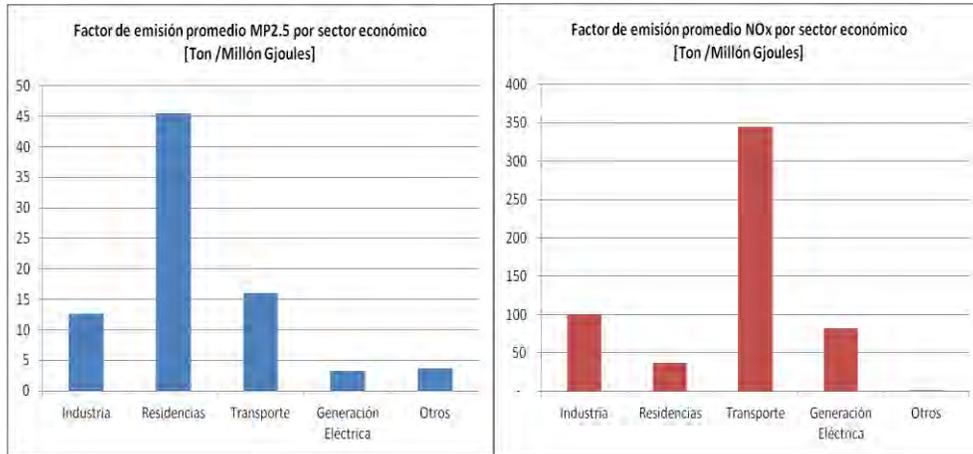


Figura 47. Factores de emisión promedio de MP_{2,5} y NOx por sector económico.

Por lo tanto, se recomienda que el plan de descontaminación actualice la visión con que se hace la gestión de la calidad del aire de la región basándose en dos premisas: primera: nivelar las tecnologías presentes en todas las actividades de la región a un equivalente ambiental OCDE; segunda: introducir los principios de la eficiencia energética en todas las actividades presentes en la región, comenzando por las que ya presentan una madurez tecnológica.

La Tabla siguiente presenta este enfoque estratégico proponiendo como prioridad para el corto plazo (cinco años) la actualización de los sectores con tecnología obsoleta y el establecimiento de las condiciones para avanzar con la certificación de eficiencia energética en sectores como el industrial y el residencial. Esta priorización permitirá el cumplimiento de las normas diaria y anual de MP_{2,5}, asegurando la protección de la salud de la población.

Para el largo plazo (2030) se recomienda exigir tecnologías más eficientes y la introducción de energéticos de menor impacto en el cambio climático, junto con la promoción masiva del transporte público y de modos no motorizados de transporte.

Tabla 5. Enfoque estratégico a corto plazo y largo plazo.

Ámbito	Corto Plazo - Contaminación atmosférica						Largo Plazo - Cambio climático									
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Tecnología y Combustibles limpios	Actualizar sectores con tecnología obsoleta en términos ambientales						Exigencia de tecnologías más eficientes y energéticos de menor impacto en el cambio climático									
Eficiencia energética	Establecer sistemas de gestión y certificación de eficiencia energética						Exigencias de certificación de eficiencia energética y promoción del transporte público y modos no motorizados									

Los mayores obstáculos para el logro de estas visiones de corto y largo plazo son financieros y de capacidades técnicas. Los sectores que deben enfrentar la actualización tecnológica, especialmente las residencias y los empresarios del transporte de carga, requieren de apoyo por

parte del Estado. Está demostrado en las versiones anteriores del Plan de Descontaminación de la RM, como también en experiencias en planes en el Sur del país, que sin este apoyo no se han alcanzado resultados relevantes, por ejemplo, en el recambio de calefactores de leña. También los programas de control de las emisiones de vehículos diésel en los EEUU han demostrado que no se van a obtener cambios sin el desarrollo de programas públicos que lideren y apoyen financieramente estas transformaciones.

Desde el punto de vista de las capacidades técnicas, se requiere un avance sustancial en el mejoramiento del control de la industria, sobre todo en la incorporación de sistemas confiables de monitoreo en línea de las mayores actividades industriales, y en un manejo actualizado, y con altos estándares de calidad, de la información de estimación de sus emisiones. Después de dos décadas de una gestión centrada en control de emisiones desde chimeneas, también se necesita crear capacidades para un control de contaminantes con los que hasta ahora no se tiene experiencia, especialmente en el caso de los Compuestos Orgánicos Volátiles.

Se requiere también un mayor involucramiento de la comunidad y de la opinión pública, ya que paradójicamente a medida que han disminuido los episodios críticos de contaminación ha disminuido el interés político en el tema. Este es un aspecto estratégico que debe abordar el futuro plan de descontaminación mediante la creación de estados de excepción a partir de la superación de la norma de 24 horas, porque pese a los avances, la salud de la población sigue en riesgo permanente de impactos crónicos por la superación de la norma anual y de impactos agudos en días de alta contaminación.

También es importante alinear todos los aspectos de la gestión de la calidad en base a los enfoques estratégicos de corto y largo plazo antes planteados, en especial las medidas que se apliquen en episodios críticos, ya que concitan gran parte de la atención de la discusión en torno a la contaminación de Santiago. La aplicación de la restricción vehicular, la paralización de la industria y la prohibición de la quema de leña deben actualizarse, ya que responden a objetivos y capacidades de principios de la década de los noventa. En particular, la restricción vehicular debe estar al servicio de la reducción de emisiones de los vehículos diésel comerciales y de carga, que son por lejos la mayor fuente de emisiones de precursores de $MP_{2,5}$ del transporte; la paralización de la industria debe servir para mejorar control de las grandes fuentes industriales, para promover la eficiencia energética en la industria en general y para modernizar la maquinaria de la construcción; la restricción a la quema de leña debe apuntar a terminar con el uso de este energético en la zona urbana de Santiago y a la promoción de calefactores con emisiones certificadas en zonas rurales.

Las fuentes industriales se afectan en episodios de alta contaminación en base a un listado de paralización que elabora la SEREMI de Salud. Este listado se construye en base a la medición de la concentración de material particulado en la emisión de las fuentes fijas, incorporando la información de más de 11.000 fuentes. Este enfoque siempre ha favorecido a las fuentes más grandes, porque pese a tener concentraciones bajas, por su gran tamaño su aporte es mucho mayor. Para ejemplificar, sólo 30 fuentes son responsables del 30% del total de material

particulado emitido por las 11.000 fuentes industriales, y 123 fuentes emiten el 50%. El listado de paralización vigente para pre emergencias incluye 1.215 fuentes, la gran mayoría de ellas pequeñas, que sumadas significan una reducción muy marginal. La aplicación de este listado en un día de episodio crítico implica un esfuerzo enorme de fiscalización con beneficios muy discutibles en reducción de emisiones. Este criterio de paralización no se ha modificado sustancialmente desde el año 1990. El camino apropiado es excluir a todas las fuentes medianas y pequeñas que acrediten usar combustibles limpios y que cuentan con sistemas de gestión de la energía certificados, y concentrar el monitoreo en las fuentes grandes, principalmente en base a monitoreo continuo de consumo de combustible y monitoreo continuo de emisiones en el caso de los mayores emisores. En días de alta contaminación deben ponerse en marcha planes de reducción de emisiones acordados con las empresas propietarias de estas grandes fuentes.

El plan de descontaminación para el $MP_{2,5}$ tiene la capacidad de influir en las tecnologías y energéticas que emplean los distintos sectores económicos de la Región Metropolitana, y en esto es una herramienta única para establecer mejores condiciones para la sustentabilidad ambiental y energética regional. Este, que es su mayor atributo, muchas veces ha sido sobre estimado, debido a la tentación de que se transforme en una herramienta que defina un conjunto de otros aspectos relacionados, como la planificación territorial, del transporte, y el desarrollo de las áreas verdes. Todos estos aspectos influyen sobre la calidad del aire y las emisiones de gases de efecto invernadero, pero sus objetivos son resolver otros aspectos esenciales para el desarrollo de la región que no pueden ser abordados en un plan de descontaminación atmosférico. Mientras más se concentre el plan de descontaminación en sus propios objetivos estratégicos, mayor posibilidad de logro tendrá.

Para la ejecución del Plan se requerirán recursos públicos y privados, por lo que la definición de las medidas específicas requiere de una adecuada planificación que facilite la adaptación de los privados que deberán invertir en transformaciones en sus fuentes de emisión. También se necesita de una adecuada planificación de los programas de inversión y gasto público permanente que se requerirá para la ejecución del Plan. La descontaminación de Santiago demanda recursos anuales estimados en 158 millones de US\$ para el período 2015 – 2020. Este monto equivale al 0,16% del PIB regional y al 28% del impacto en salud en los habitantes de la capital, estimado a partir de la superación de la norma anual de $MP_{2,5}$. El costo anual para el Estado es de 71 millones de US\$. Se recomienda la aplicación del impuesto a las emisiones definida en el proyecto de Ley de Reforma tributaria como un instrumento de recaudación de estos montos, considerando la afectación de la industria y el transporte en proporción a sus emisiones.

A partir del enfoque estratégico se han elaborado líneas de acción de corto y largo plazo para cada uno de los sectores económicos presentes en la región.

Tabla 6. Líneas de acción a corto plazo y largo plazo.

Sector	Enfoque	Corto Plazo - Contaminación atmosférica						Largo Plazo - Cambio climático
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021 a 2030
Transporte	Tecnología	Modernización parque de camiones, veh. comerciales y maquinaria off road						Eficiencia energética en el transporte comercial y de carga
	Eficiencia energética	Electrificación transporte público / incentivos a automóviles más eficientes						Promoción del transporte público y modos no motorizados
Energía y combustibles	Tecnología	Reducción de emisiones de MP y NOx en centrales térmicas y grupos electrógenos						Promoción de ERNC / biocombustibles de 2ª y 3ª generación
	Eficiencia energética	Establecer sistemas de gestión y certificación de eficiencia energética						Exigencias de certificación de eficiencia energética en distintos sectores
Industria	Tecnología	Mejor tecnología en grandes fuentes / combustibles limpios en medianas y pequeñas						Cogeneración
	Eficiencia energética	Promoción de sistemas de gestión de energía						Exigencia de sistemas de gestión de energía
Residencias	Tecnología	Prohibición uso de leña en zonas urbanas / tecnología certificadas en zonas rurales						Sistemas de calefacción distrital
	Eficiencia energética	Establecer sistema de certificación de eficiencia energética de residencias						Exigencias de certificación de eficiencia energética de residencias
Comercio	Tecnología	Recuperación de vapor de las gasolinas - Reducción de COVs en lavasecos						
	Eficiencia energética	Promoción de sistemas de gestión de energía						Exigencia de sistemas de gestión de energía
Agropecuario	Tecnología	Reducción emisiones de maquinarias, reducción NH ₃ en plántulas de animales						

En el sub-capítulo 3.1 se presentan las medidas con potencial importante de reducción de emisiones de precursores de MP_{2,5} por sector económico regional para el corto plazo. En el sub-capítulo 3.2 se determinan las prioridades a partir de la evaluación comparada de las medidas. En el 3.3 se presenta la estrategia de reducción de precursores de MP_{2,5} y en el 3.4 la estrategia de reducción de largo plazo para la reducción de las emisiones de GEI.

Se presenta a continuación, de acuerdo a lo requerido por los términos de referencia del presente estudio, un conjunto de propuesta para el abatimiento de precursores de MP_{2,5} y para la reducción de contaminantes que afectan el cambio climático. Las propuestas se han agrupado en medidas de corto plazo (cinco años) y de largo plazo (2030). Para el corto plazo se recomienda la implementación de 27 medidas agrupadas en 8 líneas de acción. Estas medidas son de carácter eminentemente tecnológico, y responden al principio de eficiencia definido por la Ley de Medioambiente, apuntando a restablecer el cumplimiento de normas en el plazo más breve posible. Para el financiamiento de las medidas de responsabilidad estatal, se propone la aplicación de impuestos ambientales a las fuentes fijas industriales y al transporte que circula por autopistas concesionadas de la ciudad de Santiago. Este grupo de medidas de corto plazo tiene un efecto importante en la reducción de los contaminantes que afectan el clima, principalmente en la disminución de las emisiones de *Black Carbon* (BC).

El grupo de medidas de largo plazo tiene por objetivo promover un cambio en los patrones de producción y consumo de la Región Metropolitana, que permita reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 30% al año 2030 respecto un escenario base sin acciones. Este conjunto de medidas ha sido definido en términos de líneas de acción. Se estima una reducción de 12 millones de toneladas de CO₂ al 2030. Esto permitirá que la capital tenga un nivel de consumo energético per cápita y de emisión de CO₂e per cápita similar a otras ciudades de tamaño equivalente dentro de los países de la OCDE. Esto será un aporte a los compromisos nacionales frente al cambio climático y hará más competitivo al país en una economía global baja en Carbono.

2.1.2 Experiencias más importantes de la aplicación del PPDA 2009.

El PPDA vigente desde el año 2009 fue efectivo en la aplicación de normas de emisión para el mercado automotriz, en la reformulación de la calidad de combustibles, y en la reducción de las emisiones del transporte público. Estas medidas han logrado una reducción de las emisiones directas de MP. En el caso de la industria, se ha logrado un avance al enfocar el control de los mayores emisores de MP, NO_x y SO₂, aunque los resultados de estos no pueden ser acreditados mientras no se cumpla la exigencia de mejor monitoreo en las mayores fuentes puntuales de contaminación. Los resultados positivos sólo han logrado contener el aumento de las emisiones en un período donde la economía ha crecido sostenidamente, por lo que el resultado neto ha sido una contención de los niveles de MP_{2,5}.

El PPDA 2009 no ha logrado cambios sustanciales en tres aspectos clave para un plan orientado al cumplimiento de las normas de MP_{2,5}: la reducción de emisiones directas de MP del transporte de carga; las reducción de emisiones de la quema de biomasa (principalmente la calefacción a leña); y la reducción de emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs). La explicación de esto se encuentra en la falta de efectividad de la aplicación de normas de emisión en el transporte de carga y la calefacción a leña, porque la mera aplicación de una norma no es suficiente para una transformación de estos sectores. Se requiere de apoyo por parte del Estado, principalmente en financiamiento. Se ha tratado de resolver este problema incorporando normas programáticas en

el plan de descontaminación. Estas normas definen compromisos a cumplir por parte de la autoridad, principalmente asociados a incentivos económicos para la transformación tecnológica del transporte y las residencias. Como no se ha dispuesto de financiamiento, estos compromisos no se han podido cumplir.

Respecto de los COVs, la causa principal es la falta de capacidades para el control en ámbitos vinculados a la emisión de este contaminante, como la industria de artes gráficas, y el comercio asociado a la distribución de gasolinas.

Para el éxito de un plan para el $MP_{2,5}$ se requiere de creación de mayores capacidades de control y de financiamiento, o si no se corre el riesgo de que el plan de $MP_{2,5}$ este compuesto de un conjunto de normas programáticas de difícil cumplimiento. En la figura siguiente se muestran las responsabilidades institucionales en la aplicación de un plan para este contaminante, determinadas a partir del inventario de emisiones 2012.

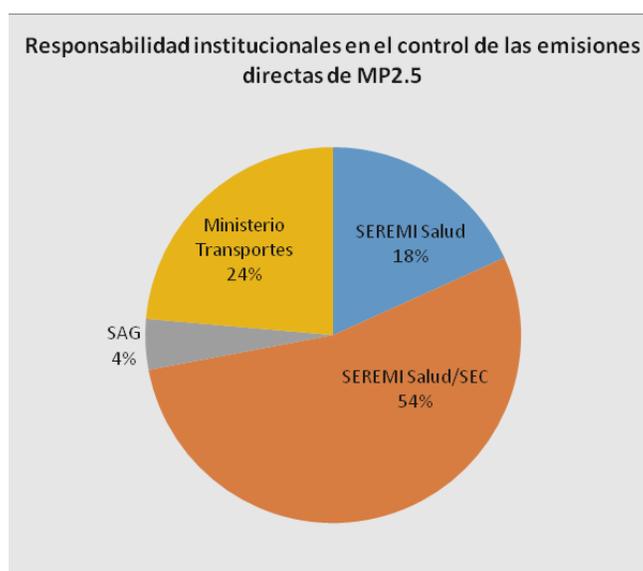
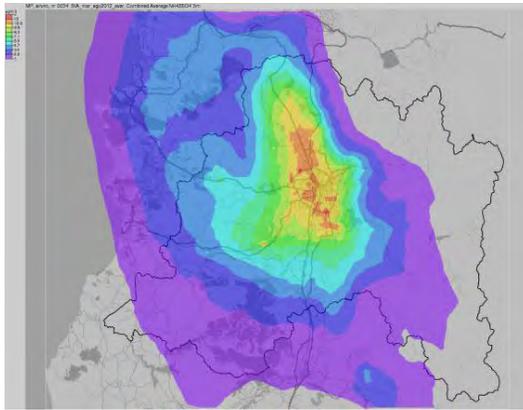
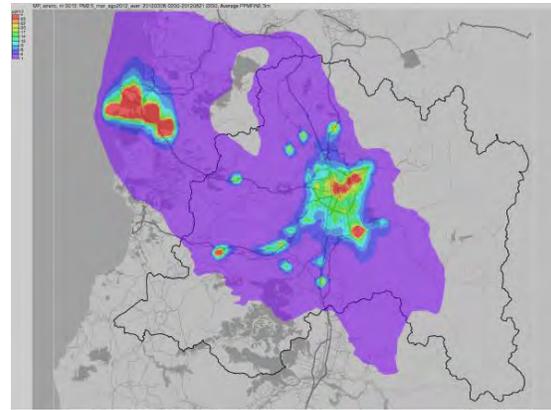


Figura 48. Distribución de responsabilidades institucionales en el control de emisiones directas de $MP_{2,5}$.

Por otra parte, si bien el plan vigente para MP_{10} expresamente incorporó como prioridad la reducción de los precursores de $MP_{2,5}$, esto fue diseñado sin considerar que este es un contaminante de gran escala, y que el incumplimiento de las normas en la Región Metropolitana está asociado también a las emisiones de fuentes emplazadas en las regiones V y VI.



Aerosol inorgánico secundario (SIA) promedio durante el período marzo – agosto 2012. (el rojo intenso empieza a 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



PM_{2,5} primario promedio durante el período marzo – agosto 2012. (el rojo intenso empieza a 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Se entiende que un plan de descontaminación sólo puede establecer medidas de control respecto de fuentes emisoras instaladas al interior de la zona saturada, por lo cual este es un aspecto que debe considerarse en la preparación de la declaración de zona saturada por MP_{2,5}, porque permitiría establecer exigencias adicionales para grandes fuentes extraregionales con aportes importantes de MP directo, NO_x y SO_x, más allá de la consideradas en las normas de termoeléctricas y fundiciones. También la quema de biomasa extraregional tiene un aporte de aerosoles secundarios al *background* de MP_{2,5} de la Región Metropolitana.

2.2 Metas de reducción de emisiones.

El cumplimiento de la norma de 24 horas para MP_{2,5} requiere que el percentil 98 no supere los 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. El año 2012 el valor correspondiente en Estación Parque O'Higgins fue de 64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

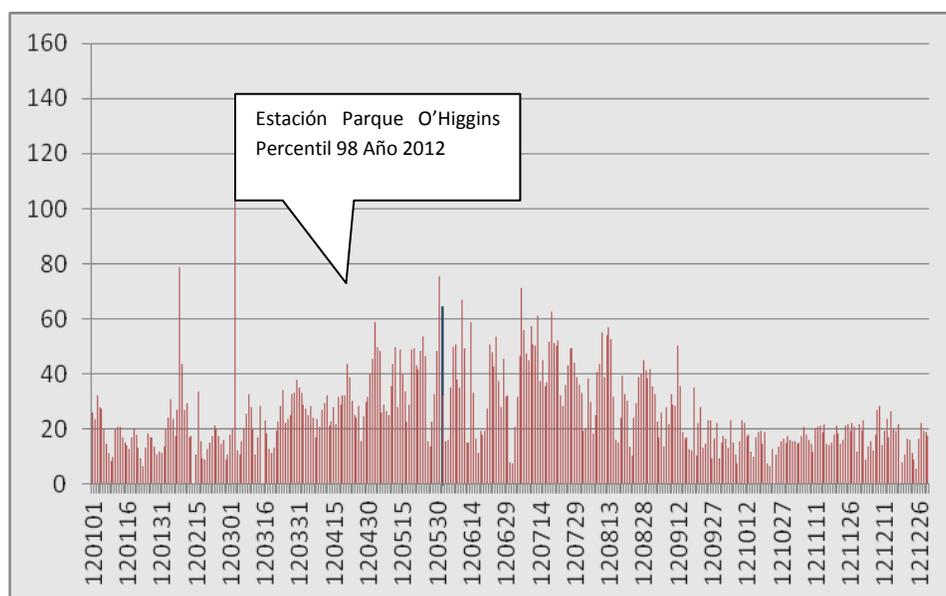


Figura 49. Percentil 98 promedios 24 horas año 2012, Estación Parque O'Higgins.

De acuerdo al capítulo 1.3, el $MP_{2,5}$ es en su mayoría un contaminante secundario, por lo que el cumplimiento de la norma diaria requiere una reducción de emisiones de precursores y de emisión directa de MP. En la Figura 50 se puede observar el impacto en calidad del aire por $MP_{2,5}$ de las emisiones de MP en Santiago el día 1 de Junio de 2012 (correspondiente al percentil 98 de los promedios diarios de ese año), obtenido a partir de una modelación gaussiana en el sistema de información Airviro.

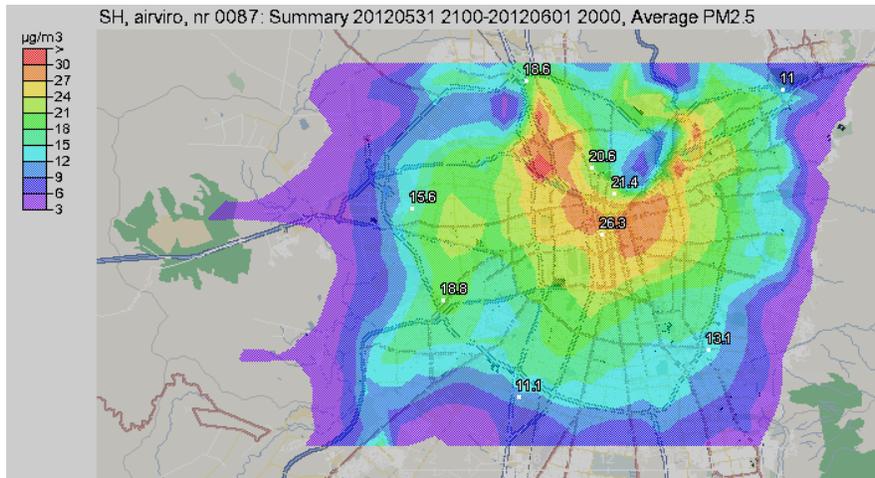


Figura 50. MP Directo - Aporte de todas las fuentes / Junio 1 2012 Percentil 98

Se observa que el impacto promedio diario de emisiones directas es de $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la zona centro sur de Santiago, donde se emplaza la estación Parque O'Higgins.

El aporte de emisiones directas de $MP_{2,5}$ se suma al *background* urbano; este *background* está bien representado por el sitio de monitoreo en USACH. Como se observa en la Figura 51, en un día promedio de invierno en Parque O'Higgins el promedio de 24 horas es de $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$, de los cuales el 50% corresponde a *background* representado por el monitoreo en USACH.

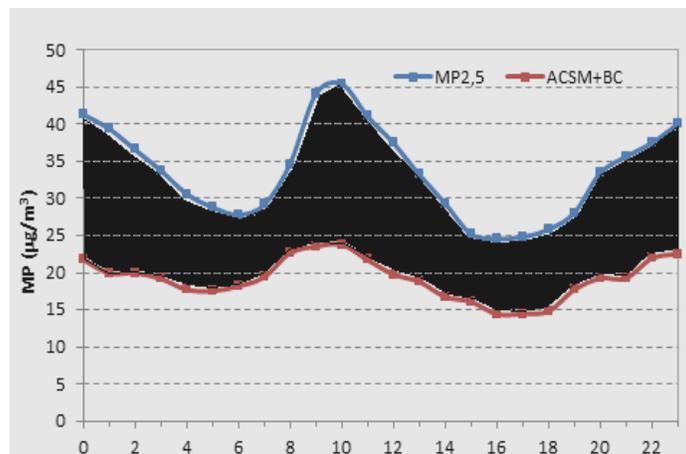


Figura 51. Perfil promedio diario de $MP_{2,5}$ medido en Parque O'Higgins y $MP_{1,0}$ no refractario (ACSM) + carbono elemental (SIMCA) en USACH

Se presenta continuación la relación entre *background* urbano para días de episodios, representando por la suma del BC y MP_{1,0} no refractario medido en USACH, y el MP_{2,5} medido en tres estaciones de la red MACAM.

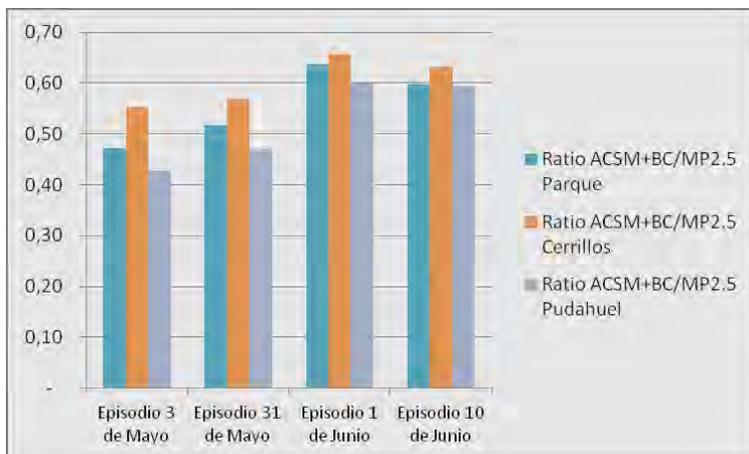


Figura 52. Ratio entre *background* urbano y promedios diarios MP_{2,5} en días de episodios del invierno 2012

El *background* urbano correspondiente al episodio del 1 de Junio (percentil 98), es de 41 µg/m³, por lo que el resto del promedio lo explica un aporte local de 23 µg/m³. Por lo tanto la modelación gaussiana presenta en forma adecuada este aporte local, con sólo un 12% de diferencia.

El *background* promedio de invierno es de 16,7 µg/m³ y en episodios alcanza un valor de 37 µg/m³. La composición en días de episodios presenta una participación mayor de aerosoles secundarios que el promedio para el invierno el 2012 en USACH, especialmente nitratos. Esto se explica por el proceso de acumulación de la contaminación por la fuerte estabilidad atmosférica presente en los episodios de alta contaminación. En la Figura 53 y Figura 54 se presenta la composición promedio en episodios y la composición promedio de invierno.

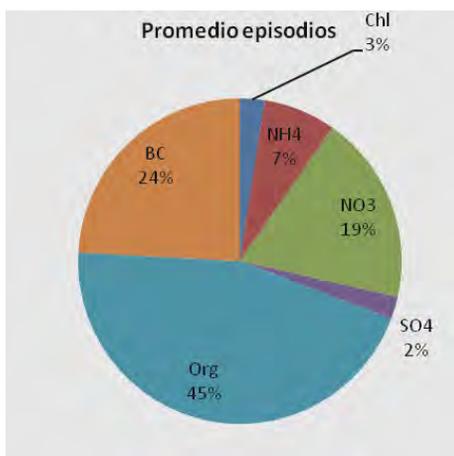


Figura 53. Composición promedio del *background* urbano (USACH) de cuatro episodios 2012

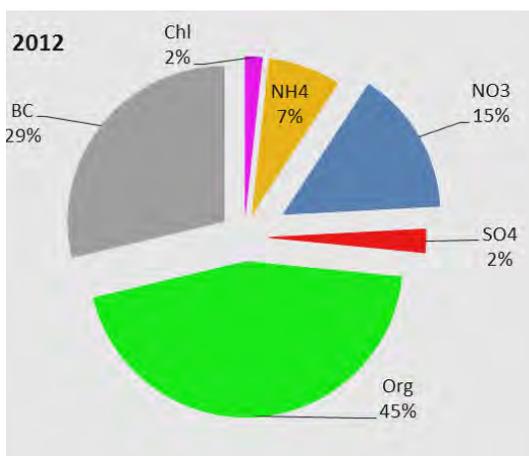


Figura 54. Composición promedio invierno 2012 del *background* urbano (USACH)

Para terminar con la saturación por $MP_{2,5}$ en términos de la norma diaria, se quiere una reducción de emisiones tal que en condiciones meteorológicas similares a las presentes el día 1 de Junio de 2012 (percentil 98) la suma del aporte local en el entorno de la Estación Parque OHiggins más el Background urbano no superen los $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Esto corresponde a una reducción de $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, la cual debe ser obtenida mediante una reducción de las emisiones directas de MP y de los precursores de $MP_{2,5}$.

Empleando modelación gaussiana en Airviro se ha estimado que una reducción del 50% de las emisiones directas de MP de estufas de leña produce una disminución de $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en un día de episodio como el 1 de Junio de 2012. Una reducción del mismo porcentaje en el transporte significa una reducción de $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la misma condición meteorológica. Estas estimaciones, que deben ser tomadas sólo como referenciales, no son suficientes para cumplir con la norma de 24 horas, por lo que se requiere además una reducción importante del aerosol secundario.

En el estudio de desarrollo del inventario de emisiones de Santiago se efectuaron modelaciones fotoquímicas que han permitido determinar una relación preliminar entre emisiones de gases y las componentes inorgánicas del aerosol secundario (SIA) presente en el $MP_{2,5}$. Se concluyó preliminarmente que esta componente está dominada por la emisión de NO_x del sector transportes. Para el período de invierno se estima un aporte de SIA entre 5 y $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación Parque OHiggins. Simplificando se puede suponer una relación lineal entre las emisiones NO_x y SIA (dominado por nitratos), lo que demuestra que para reducir la fracción inorgánica del $MP_{2,5}$ requiere de reducciones importantes de las emisiones de NO_x .

En el caso de la fracción orgánica, por la complejidad de los procesos de formación de esta componente, no se dispone de modelación. De acuerdo a los antecedentes del Capítulo 1, la componente más importante del SOA está asociada a emisiones del transporte y la leña.

Esta información reafirma la necesidad de reducir las emisiones de las fuentes precursoras, en especial el transporte diésel y la quema de biomasa. Por la complejidad de los procesos de formación del SOA no es posible establecer una relación entre la reducción de emisiones de sus precursores y la disminución de concentraciones esperables en la atmósfera.

2.1.3 Determinación de necesidades de actualización del PPDA.

Las medidas propuestas para el corto plazo deben ser implementadas a través de un nuevo Plan de Descontaminación para $MP_{2,5}$, en respuesta a la declaración de zona saturada que se llevará a cabo durante el presente año.

Las medidas de largo plazo se deben formalizar a través de una Estrategia Regional de Mitigación del Cambio Climático, y deben ser el referente para la actualización del Plan de Descontaminación para el $MP_{2,5}$ que se debe efectuar después de cinco años de comenzar su aplicación.

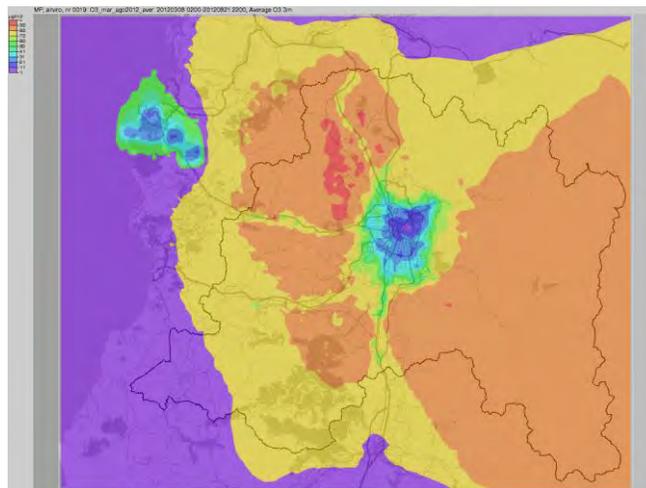
La Estrategia Regional de Mitigación del Cambio Climático también debe ser actualizada periódicamente, con el fin de velar por su coherencia con Plan de Acción Nacional para el Cambio

Climático y para que pueda incorporar nuevas medidas surgidas de la experiencia internacional así como de la discusión nacional en torno al tema. En el Plan Nacional 2008 – 2012 el lineamiento general de mitigación se definió como "Propender hacia una economía más baja en carbono, que contribuya al desarrollo sustentable de nuestro país y a los esfuerzos mundiales de reducción de emisiones".

2.1.4 Relación del nuevo plan con PPDA vigente.

De acuerdo al capítulo Evaluación y análisis de la evolución y tendencia de la calidad del aire de la Región Metropolitana, ésta se encuentra saturada por $MP_{2,5}$, MP_{10} y Ozono, y latente por CO. En el caso del $MP_{2,5}$ se superan la norma anual y de 24 horas; en el caso del MP_{10} se supera la norma de 24 horas, y en el caso del Ozono se supera la norma de 8 horas en la estación Las Condes. En el caso del CO se constata una situación de latencia (91%) respecto de la norma de 8 horas.

Considerando que el Plan de Descontaminación para $MP_{2,5}$ apunta al control de la contaminación producto de la fotoquímica de la región, debido a la gran importancia de los aerosoles secundarios, se recomienda que este plan también tenga como objetivo el cumplimiento de la norma de Ozono. El Plan para $MP_{2,5}$ considera el control del MP directo, principalmente *black carbón*, de los Óxidos de Nitrógeno y los Compuestos Orgánicos Volátiles. El control de estos últimos dos contaminantes permite también reducir la formación de Ozono.



*Figura 55. Ozono promedio durante el período marzo – agosto 2012.
(el rojo intenso empieza a $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$, por favor notar color erróneo sobre el mar)*

Considerando que las medidas propuestas en el Plan de $MP_{2,5}$ para NO_x y COVs son las que han demostrado ser más efectivas, no se requiere de medidas adicionales para salir de la condición de saturación por este contaminante.

Lo que si requiere un complemento al Plan de $MP_{2,5}$ es en el control de episodios críticos de Ozono, ya que estos ocurren en el período estival, fuera de los meses de vigencia del Plan Operacional para Enfrentar Episodios Críticos de Contaminación.

Respecto del Plan de Descontaminación vigente para MP_{10} , el Plan de $MP_{2,5}$ incorpora todas las medidas efectivas para el control de la fracción fina del MP_{10} , que es la que más contribuye a la superación de la norma de 24 horas para este contaminante.

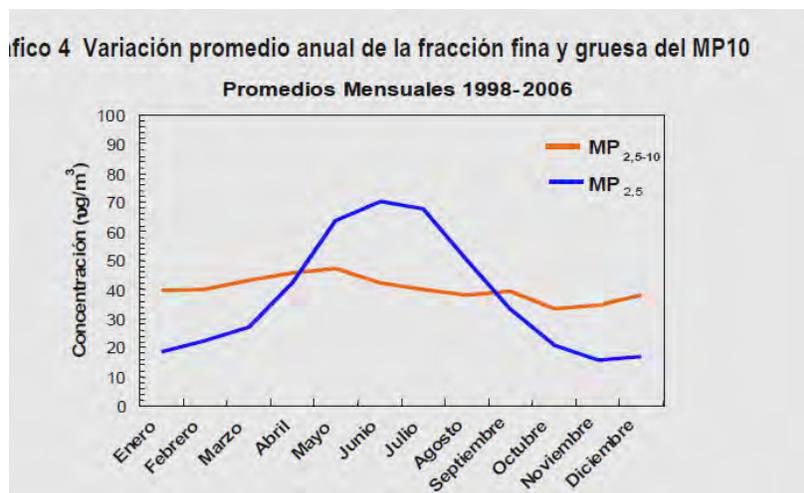


Figura 56. Variación promedio anual de la fracción fina y gruesa del MP.

La fracción gruesa corresponde en su mayor parte a la re suspensión de polvo. Algunos procesos industriales también aportan a esta fracción, aunque la mayor contribución de este sector se encuentra en la fracción fina. Por lo tanto, se recomienda mantener vigente el Plan de Lavado y Aspirado de Calles contenido en el PPDA 2009, de responsabilidad del Gobierno Regional Metropolitano de Santiago.

2.1.5 Recomendaciones legales para un PPDA para el $MP_{2,5}$.

Para que proceda la derogación del PPDA de la Región Metropolitana, se debe cumplir con los presupuestos jurídicos que lo hacen procedente. Esto es, el monitoreo de los contaminantes contenidos en las normas de calidad regulados por el PPDA deben dar como resultado que la zona declarada latente y saturada ya no se encuentre en dicho estado. Constatado lo anterior, se debe proceder a la desafectación de la zona saturada o latente mediante Decreto Supremo (DS), lo que deviene necesariamente en la derogación de las medidas del PPDA, pues no existiría la causa (en este caso, la latencia o saturación de la zona) que dio origen a la dictación del plan.

Ahora bien, cabe preguntarse si el proceso de revisión y actualización del PPDA vigente para la Región Metropolitana que tiene por objeto recuperar los valores definidos en las normas de

calidad del aire para Ozono (O₃), Material Particulado Respirable (MP₁₀) y Monóxido de Carbono (CO) en la zona declarada saturada, y evitar la superación de los valores de la norma de calidad para Dióxido de nitrógeno (NO₂) en la zona declarada latente, podría incorporar medidas para recuperar los valores de la norma de calidad primaria al aire de MP_{2,5} que, según sus mediciones, se encuentra en estado de saturación para la Región Metropolitana. En relación a este punto, se estima posible incorporar en el mismo procedimiento de revisión y actualización del PPDA, la elaboración del plan de descontaminación para al MP_{2,5}, siempre y cuando se declare previamente, por decreto supremo, zona saturada por MP_{2,5} a la Región Metropolitana, lo que hasta la fecha no ha ocurrido.

Otras Consideraciones

Además, el presente estudio ha dado cuenta que, según las mediciones y modelos, la zona saturada y latente por los contaminantes regulados por el PPDA (O₃, MP₁₀ y NO₂) y del contaminante MP_{2,5}, se extiende, no sólo a la Región Metropolitana, sino también a las regiones de Valparaíso y del Libertador Bernardo O'Higgins.

En este escenario, y dado que se cumpliría con los presupuestos jurídicos que la hacen procedente, correspondería, por una parte, modificar el decreto supremo¹⁷ que declaró zona latente y saturada a la Región Metropolitana para los contaminantes que regula el PPDA ampliando la zona a las regiones mencionadas y, por otra parte, declarar, mediante decreto Supremo, zona saturada por MP_{2,5} a la Región Metropolitana y a las regiones de Valparaíso y del Libertador Bernardo O'Higgins. Cumplido lo anterior, se podría revisar y ajustar, en un mismo procedimiento, el PPDA, incorporando el MP_{2,5} a las nuevas condiciones que generaría la consecuencia del nuevo territorio incorporado para todos los contaminantes.

Cabe hacer presente que, en la declaración de zona saturada y latente de la Región Metropolitana¹⁸, se reconoce que, dentro de la zona declarada existen áreas que no se encuentran en estado de latencia o saturación, pero que corresponden a zonas donde se verifica la presencia de fuentes que aportan con emisiones a la latencia o saturación de la zona, lo que permitió - mediante el uso de modelos- concluir que correspondía declarar zona saturada y latente a toda el área de la Región Metropolitana, aunque parte de ella no se encontrara saturada o latente. Existiría una presunción de legalidad de este criterio, al haberse efectuado el control de constitucionalidad y legalidad mediante el trámite de toma de razón del DS N° 131 de 1996 de MINSEGPRES por la Contraloría General de la República.

Finalmente, como se ha señalado más arriba, para la revisión, actualización y dictación de un plan de descontaminación o de prevención "se deberá contemplar el desarrollo de estudios científicos, análisis técnico y económico, consultas a organismos competentes, públicos y privados, y análisis de las observaciones formuladas. Para tales efectos, las etapas consecutivas dentro del proceso de elaboración del Plan serán:

¹⁷ DS N°131 de 1996 de MINSEGPRES.

¹⁸ En uno de los considerandos del DS N° 131 de 1996 de MINSEGPRES.

1. Elaboración de Anteproyecto de Plan, Desarrollo de Estudios Científicos y Análisis Técnico Económico.
2. Realización de Consulta Pública, y
3. Análisis de las Observaciones Formuladas y Elaboración de Proyecto Definitivo.

Todas estas etapas tendrán una adecuada publicidad.”¹⁹

Ahora bien, “los planes de prevención y descontaminación contendrán, a lo menos:

- a) La relación que exista entre los niveles de emisión totales y los niveles de contaminantes a ser regulados;
- b) El plazo en que se espera alcanzar la reducción de emisiones materia del plan;
- c) La indicación de los responsables de su cumplimiento;
- d) La identificación de las autoridades a cargo de su fiscalización;
- e) Los instrumentos de gestión ambiental que se usarán para cumplir sus objetivos;
- f) La proporción en que deberán reducir sus emisiones las actividades responsables de la emisión de los contaminantes a que se refiere el plan, la que deberá ser igual para todas ellas;
- g) La estimación de sus costos económicos y sociales, y
- h) La proposición, cuando sea posible, de mecanismos de compensación de emisiones.

Las actividades contaminantes ubicadas en zonas afectas a planes de prevención o descontaminación, quedarán obligadas a reducir sus emisiones a niveles que permitan cumplir los objetivos del plan en el plazo que al efecto se establezca.”²⁰

“Los planes de prevención o descontaminación podrán utilizar, según corresponda, los siguientes instrumentos de regulación o de carácter económico:

- a) Normas de emisión;
- b) Permisos de emisión transables;
- c) Impuestos a las emisiones o tarifas a los usuarios, en los que se considerará el costo ambiental implícito en la producción o uso de ciertos bienes o servicios, y
- d) Otros instrumentos de estímulo a acciones de mejoramiento y reparación ambientales”²¹.

¹⁹ Artículo 3, DS 39 de 2012 de Ministerio de Medio Ambiente.

²⁰ Artículo 45 ley 19.300.

²¹ Artículo 47, Ley 19.300.

3 PROPUESTAS DE MEDIDAS DE CONTROL

En este capítulo se presentan las propuestas de líneas de acción y medidas de control de emisiones para incorporar en el Plan de Descontaminación de MP_{2,5}. En concordancia con el enfoque estratégico propuesto, se presentan en primer lugar aquellas medidas de control para implementar en un horizonte temporal de 5 años, enfocadas principalmente al control de emisiones directas de MP y sus precursores. En segundo lugar se presentan las medidas cuyo horizonte temporal es mucho mayor y que apuntan a seguir reduciendo la contaminación por la vía de profundizar la eficiencia energética, lo cual también tendrá efectos en la reducción de contaminantes de cambio climático.

3.1 Definición de líneas de acción y medidas con potencial importante de reducción de la contaminación atmosférica.

Se ha evaluado un conjunto de 32 medidas de corto plazo, clasificadas de acuerdo al sector económico que afectan. Se han definido los siguientes sectores: transportes, energía, industrias, residencias, comercio y agricultura. Para cada sector se clasifican como medidas para fuentes existentes y medidas para nuevas fuentes.

Las medidas para fuentes existentes han sido seleccionadas a partir de su costo marginal y la magnitud de las reducciones de emisiones que aporta en el período de cinco años de aplicación. Las medidas para nuevas fuentes corresponden en general a normas de emisión para los mercados de equipos y productos para los sectores económicos relevantes de la región. También se han definido requisitos para nuevas fuentes industriales, diferenciados por el tamaño de las fuentes a partir de los criterios establecidos por el PPDA 2009 (grandes emisores).

Tabla 7. Resumen medidad propuestas para realizar en un corto plazo.

Sector	Contaminante	Medidas para la reducción de emisiones
Transporte	MP directo, NOx	Programa regional de diesel limpio- Transporte Escolar No Contaminante-Renovación vehículos anterior a 1998
		Programa regional de diesel limpio- Transporte Escolar No Contaminante- <i>Retrofit</i>
		Programa regional de diesel limpio- Transporte de carga No Contaminante- <i>Retrofit</i>
		Programa regional de diesel limpio- Transporte de carga No Contaminante-Chatarrización
		Programa regional de diesel limpio - Transporte Municipal Limpio
		Programa regional de diesel limpio - Construcción No Contaminante
	MP directo, NOx	Electrificación del Transporte Público de Superficie
	MP, NOx	Automóviles más limpios y eficientes
Energía	MP directo	Filtros de partículas diesel para Grupos Electrógenos
	NOx	Reducción catalítica Selectiva (SCR) centrales termoeléctricas
Industria	MP directo	Reducción de las metas de emisión de MP mayores emisores.
		Norma de emisión de MP en procesos industriales
		Norma de emisión de MP en calderas
		Cambio de criterios de paralización de la industria
	NOx	Exigencia de mejor tecnología disponible para NOx en procesos
		Quemadores <i>Low NOx</i> para calderas a Diesel (LNB)
		Quemadores <i>Low NOx</i> para calderas nuevas a Gas Natural (LNB)
COV	Programa de reducción de COV en grandes emisores	
Residencial	MP directo	Reemplazo parcial de calefactores menos eficientes en la RM
		Reemplazo total de calefactores menos eficientes en Zonas Rurales
		Prohibición del uso de calefactores a leña en Zonas Urbanas (Reemplazo total de calefactores a leña por GN)
	COV Evaporativas	Directiva aplicable a cambio de propulsores sin COV's en spray y aerosoles.
		Utilización de pinturas con bajo contenido de solventes
		Directiva aplicable a cambio de composición baja en COV's en agentes de limpieza.
Comercial	COV Evaporativas	Sistema de recuperación de vapores en las estaciones de servicio
		Reemplazo de tintas base a solvente a en base a agua e implementación de tecnologías de abatimiento
		Tecnologías de abatimiento en rotograbado y flexografía
		Mejorar la eficiencia de aplicación en pintado de vehículos
		Cambiar a productos bajos en solventes para pintado de vehículos
		Cambiar a productos bajos en solventes en lavasecos
		Incorporación de sistema de captura de solventes para lavasecos
Agropecuario	NH ₃	Reducción de las proteínas en la alimentación animal
		Sistemas de mitigación en los alojamientos de animales
		Gestión de los depósitos de estiércol

En el Capítulo de Anexos, se describen cada una de estas medidas en detalle mediante fichas. A continuación se presenta una descripción general de las medidas que afectan a cada sector económico.

3.1.1 Medidas para la reducción de emisiones en el sector de transporte

De acuerdo al inventario de emisiones, el transporte de carga, los automóviles livianos y medianos diesel y el transporte público son las categorías de vehículos con mayores emisiones directas de MP. Estas fuentes son además relevantes en la emisión de NOx. Para reducir las emisiones de estos vehículos se proponen tres líneas de acción:

- Transporte público más limpio
- Programa regional de diesel limpio
- Vehículos livianos y medianos más limpios y eficientes

1. Transporte Público más Limpio

a) Programa de electrificación del Transporte Público

Se ha evaluado como económica y técnicamente factible una introducción masiva de movilidad eléctrica en el sistema de transporte público de Santiago. Las alternativas evaluadas fueron trolebuses y buses con baterías, las cuales compiten económicamente si se generan condiciones apropiadas en los contratos de concesión de operadores de Transantiago, especialmente en términos de mayores plazos de los contratos.

Se presenta en la Figura siguiente una evaluación económica a 20 años mediante el valor presente neto de los costos totales de buses diesel Euro V, eléctricos con batería, trolebuses y buses híbridos. Se considera una tasa de descuento de 5% y una tasa de crédito de 7%. Se considera también un incremento anual del costo de la energía (2% para el diesel, 1% para electricidad) y una duración de las baterías de 10 años.

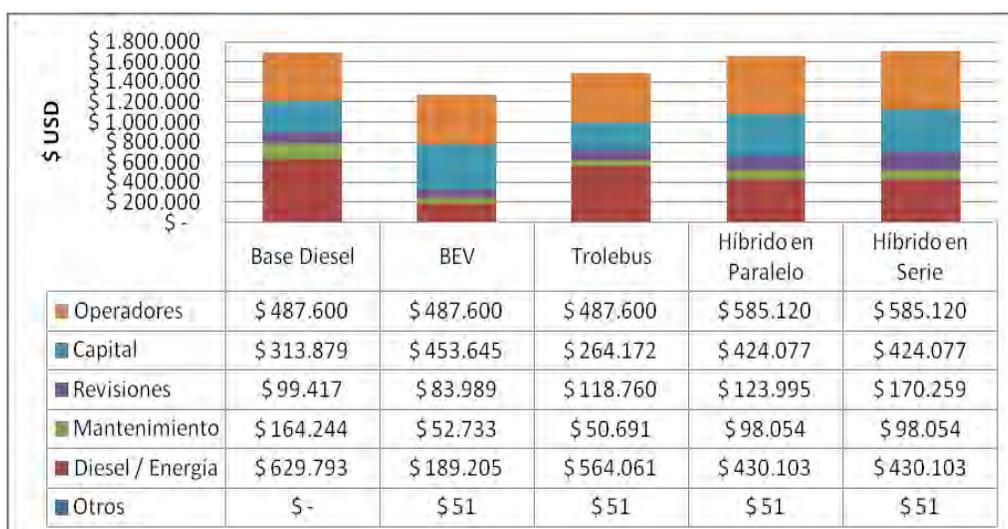


Figura 57. Evaluación económica a 20 años mediante el valor presente neto de los costos totales de buses diesel Euro V.

En el caso de los trolebuses, se considera el pago del 70% costo de la infraestructura de catenarias en los costos de energía, y se asume que el 30% restante es cubierto por el Estado (200 millones de US\$).

Se han revisado en detalle los recorridos de los buses actuales para ver los rutas idóneas donde construir la catenaria, que generalmente seguirá la línea de corredores actuales y futuros, y operarán solamente como Troncales (recorridos más largos que los alimentadores). Se ha determinado que se requiere una red de 900 kilómetros de catenaria.

El costo inicial del trolebús depende de si éste tiene baterías o no, para desplazamientos fuera de la red de catenarias. En este proyecto se consideran buses trolebús sin batería, con un costo de US\$ 250.000. El rendimiento del trolebús es muy similar al del bus eléctrico (1,2 kWh/km) y tiene la gran ventaja de que su mantenimiento es muy simple y barato (0,05\$/km) ya que no dispone batería, y su vida útil es de 30 años, lo cual los hace muy rentables en proyectos de largos periodos de concesión²².

Para el caso de buses eléctricos se considera un bus tipo B (12 a 13 m). El costo inicial del bus es más alto que el resto de las tecnologías, debido que las baterías, que corresponden al 50% del costo total del bus. Se prevé que año tras año, el precio de las baterías vaya bajando, por lo que se ha asumido una reducción anual de un 1%, lo que se traduce en una menor inversión al momento de su reemplazo. La vida útil del bus eléctrico es mayor que los diesel convencionales, aproximadamente de 15 años, por lo que su renovación es más tardía. Además, la depreciación de un bus eléctrico será más alta que la de un bus diesel convencional, así la inversión para la compra del próximo bus una vez cumplida su vida útil, será menor. Tiene la ventaja de que su rendimiento energético es mayor (1.29 kWh/km) y el coste de mantenimiento muy bajo respecto a un bus diesel de dimensiones similares.

Al realizar el estudio de recorridos aptos para ser eléctricos, resultó que un 35% de la flota tienen potencial para tener esta tecnología avanzada (Figura 59).

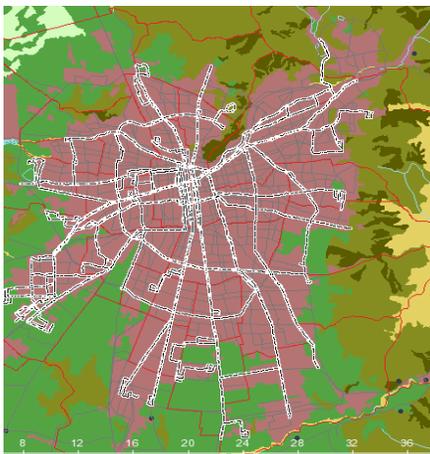


Figura 58. Red de trolebuses



Figura 59. Red de servicios con aptitud para buses con baterías

²² Fuente: Sao Paulo Transport.

A partir de lo anterior, se ha determinado que la flota de Transantiago en un escenario de penetración de la movilidad eléctrica al 2020 podría estar compuesta por 800 buses eléctricos con baterías, 1.500 trolebuses y 3.700 buses diesel. La incorporación de esta tecnología permite una reducción de 2.800 toneladas de NOx y de 40 toneladas de MP respecto del inventario 2012 para Transantiago.

Para la implementación de esta medida se recomienda el establecimiento de límite de emisión anual para Transantiago de 20 toneladas de MP y 3.000 toneladas de NOx.

Cálculo de costos e ingresos de Unidades de Operación

La siguiente evaluación económica es comparativa, puesto que las diferentes tecnologías tienen distintos años de vida útil; diesel 12 años, BEV 20 y Trolebuses 30 años. Se tomó como referencia la unidad 7 porque posee condiciones de recorridos y de renovación que la hacen atractiva para una eventual implementación de esta propuesta. Se consideraron los siguientes parámetros:

	B. Diesel	BEV	Trolebuses
Km/bus/día	250	250	250
Días/bus	26	26	26
Cambio de flota	2.100	720 + 18%*	1.380
ICT	95%	95%	95%
qt	~13.014 por bus	~13.014 por bus	~13.014 por bus
Pagos y descuentos adicionales	0	0	0
PPTO	\$ 322,50	\$ 322,50	\$ 322,50
PKjk0	\$ 360,04	\$ 360,04	\$ 360,04

*En los BEV, se requieren 18,47% (133) más de buses para cubrir las plazas (77 en el escenario base (Según contrato) y 65 para el caso estudiado (BYD k9, de acuerdo a 3CV))

ICT: Índice de cumplimiento

Qt: cantidad de pasajeros validados

PPTO: pago por pasajero transportado inicial

PK0: Pago por kilómetro, tipología y tecnología de bus inicial

Para comparar correctamente las diferentes alternativas se incorporó en el modelo de cálculo la vida útil de cada tecnología (diesel = 12 años, eléctrico = 20 años, trolebuses = 30 años), evaluando los costos (o beneficios) anuales equivalentes (CAE/BAE). Adicionalmente, como se desconoce la forma de ajustar los PK (pago por kilómetro) para cada tecnología de propulsión, se realizó una corrección de acuerdo a los montos totales que conforman los egresos básicos, vale decir, costos de inversión, operación, y gastos en mantención y la energía de propulsión, entre otros.

	CAE o BAE B. Diesel	CAE o BAE BEV	CAE o BAE Trolebuses
Costos*	\$ 103.916.010.035	\$ 29.314.198.107	\$ 69.737.421.250
Ingresos	\$ 153.557.128.714	\$ 46.844.240.103	\$ 85.932.826.206
Diferencia	\$ 49.641.118.679	\$ 17.530.041.996	\$ 16.195.404.956

*Se utilizó un horizonte de 12 años para el caso de los buses Diesel, 20 años para los BEV y 30 para los Trolebuses. Tasa de descuento del 6%. Costos de acuerdo al Modelo **Best Bus**

Si se analizan los costos y gastos asociados al desarrollo de la medida, las tecnologías alternativas que logran la mitigación buscada en las emisiones de óxidos de nitrógeno, logran competir de muy buena manera, principalmente debido al amplio horizonte al cual aspiran.

El PK es el pago por kilómetro, es decir al costo por km recorrido asociado a los costos totales. Por esta razón el PK para los trolebuses es mayor porque pagan en la energía parte importante del costo de la red de catenarias, no así en el caso de buses a batería.

Difiere el resultado al contrastar los ítems que hacen referencia a los ingresos, si bien con la corrección del PK por la inversión y gastos asociados el sistema de Trolebuses ve aumentado su factor de pago por kilómetro, no sucede lo mismo en el caso de los buses con propulsión eléctrica.

Al realizar la medida completa de acuerdo a las condiciones mencionadas resulta un costo por Ton de NOx debido a la diferencia que dejaría de percibir el operador, diferencia que puede ser corregida a través de una corrección del PK para el caso de los Trolebuses.

No se debe obviar que al realizar este tipo de evaluación sugiere de algunas condiciones que podrían no cumplirse (como la posibilidad de repetirse la implementación luego del horizonte de la tecnología aplicada, así como podría afectar la variación en los costos asociados a cada una)

b) Norma de Emisión para Buses Nuevos

En relación a transporte público, se propone la introducción de buses urbanos con motores con tecnología Euro VI en el año 2018. Esta medida no tiene ficha puesto que no fue evaluada económicamente.

Cabe mencionar que la norma Euro VI, o su equivalente americana la EPA 2010 considera la incorporación de filtro de partículas, con lo cual se asegura una reducción significativa de las emisiones del transporte público urbano de la Región Metropolitana.

2. Programa Regional de Diesel Limpio

El programa de diesel limpio tiene tres componentes:

- La exigencia de incorporación de vehículos y tecnologías de menores emisiones a través del establecimiento de zonas de baja emisión en la ciudad de Santiago y el establecimiento de exigencias dirigidas a grupos de vehículos específicos (transporte escolar, transporte municipal, especialmente camiones recolectores de basura, vehículos y equipos de la construcción, y vehículos agrícolas).
- La creación de un listado de tecnologías certificadas para la reducción de emisiones en vehículos diesel.
- La habilitación de un Fondo Regional de Promoción del Transporte Limpio, para el financiamiento de iniciativas para la reducción de vehículos diesel existentes.

Estas tres componentes del programa interactúan entre ellas para facilitar el cumplimiento de las exigencias de contar con tecnologías de menores emisiones. El Fondo Regional estará disponible para los propietarios de vehículos que deban cumplir con las exigencias tecnológicas para circular en la zona de baja emisión, y el Fondo financiará tecnologías que demuestren bajo los procedimientos que indique el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, que significan una reducción de emisiones.

De acuerdo al inventario de emisiones 2012 de la Región Metropolitana, las emisiones por categoría de vehículos diesel son las presentadas en la tabla siguiente:

Tabla 8: Emisión de MP (Ton/año) de categorías de vehículos

Categoría de vehículos	[Ton MP/año]
Vehículos diesel	211
Transporte escolar	14
Camiones	600

Se proponen a continuación las exigencias de reducción de emisiones para las distintas categorías de vehículos diesel.

a) Transporte escolar limpio

Los vehículos que prestan servicio de transporte escolar en la Región Metropolitana son 8.289, tienen una edad promedio de 10 años (Subsecretaría de Transporte, 2012) y el 82% son diesel. En la

Figura 60 se presenta la composición etaria de la flota de furgones de transporte escolar de la región correspondiente al año 2012.

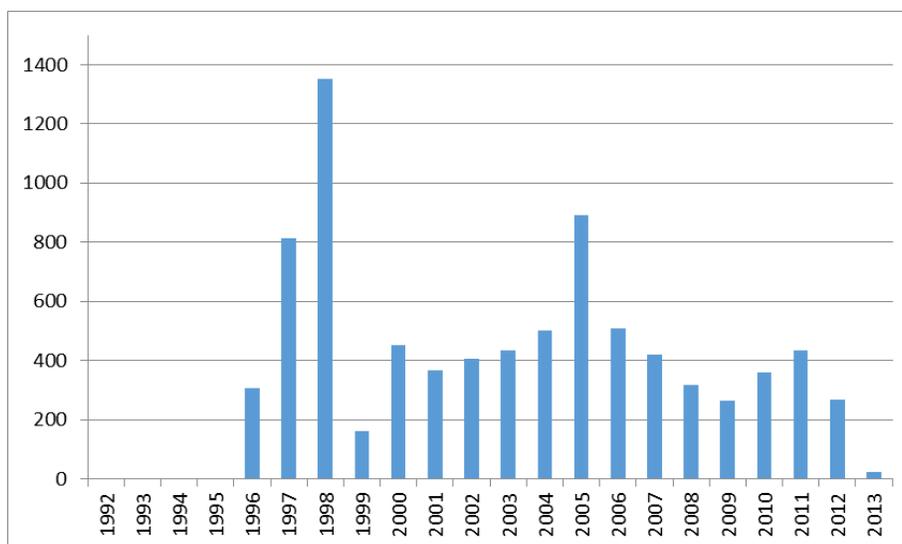


Figura 60: Composición etaria de la flota de transporte escolar en la R. Metropolitana (Subsecretaría de Transporte, 2012).

Se propone el desarrollo de un programa de renovación e incorporación de tecnologías de reducción de emisiones en furgones de transporte escolar, que apunte a que se renueven los vehículos pre Euro 2 (anteriores al año 1998) y que se incorporen tecnologías de post tratamiento en vehículos Euro 2 y 3.

En el capítulo Anexo, se presentan las evaluaciones económicas de estas dos medidas, la primera “Programa regional de diesel limpio- Transporte Escolar No Contaminante-Renovación vehículos anterior a 1998” y la segunda “Programa regional de diesel limpio- Transporte Escolar No Contaminante- *Retrofit*”

Con la primera medida se pretende reducir 8,99 Ton de MP_{2,5} en un periodo de 5 años, periodo de implementación de la medida donde se reemplazarán vehículos del transporte escolar con tecnología pre Euro 2 por vehículos con tecnología, a lo menos, Euro 4. Los costos asociados a la medida están relacionados a la entrega de subsidios a la compra de vehículos menos contaminantes, aproximadamente de un 20% del costo de este. La evaluación económica da como resultado \$UD 389.144/Ton reducida.

Se evaluó la implementación de *retrofit* en vehículos del transporte escolar con filtros de partículas diesel (DPF) en vehículos con tecnología Euro 2 y 3. La evaluación se realizó con los costos y porcentajes de abatimiento de filtros con el sistema PURImobil para vehículos Vans y Camper²³ (US\$ 3.350 y 99% respectivamente). El costo de la medida evaluada a 5 años, donde no se consideró ningún tipo de subsidio a la incorporación de los sistemas, es US\$ 14.995.422 y con la cual son reducidos 27,7 Ton de MP_{2,5} siendo el costo de la Ton reducida igual a US\$ 540.409.

b) Transporte Municipal Limpio

Puesto que el parque de camiones es cercana a 70.000 unidades y un 70% de estos corresponden a camiones pre Euro sin certificación (MTT, División de Normas y Operaciones, 2013), aplicar alguna medida costo eficiente en un periodo corto para este sector puede resultar difícil de evaluar e implementar. Es así como se evaluaron medidas para sectores específicos del transporte de carga, en este caso la incorporación de filtros de partículas diesel a camiones recolectores de basura.

Se estimó el parque de camiones recolectores de basura, utilizando información de las Toneladas de basura que ingresan a las Estaciones de Transferencia, flujos de camiones y volúmenes de basura que estos transportes. Se consideró un parque de 817 camiones para el año 2012 con un crecimiento anual de un 3,5% relacionado al aumento en las toneladas de basura. Se asumió también que la tecnología de los camiones es Euro II y Euro III (50/50).

²³ PURItech GmbH & Co. KG.

Se evaluó la implementación de *retrofit* en camiones recolectores de basura con filtros de partículas diesel (DPF). La evaluación se realizó con los costos y porcentajes de abatimiento de US\$ 8.760 y 90% respectivamente. El costo de la medida evaluada a 5 años, donde no se consideró ningún tipo de subsidio a la incorporación de los sistemas, es US\$ 6.645.365 y con la cual son reducidos 13,4 Ton de MP_{2,5} siendo el costo de la Ton reducida igual a US\$ 495.152.

c) Transporte de carga no contaminante – zona de baja emisión

Se recomienda la promoción de la incorporación de tecnología de baja emisión en vehículos de transporte de carga, mediante el establecimiento de una zona de baja emisión en la ciudad de Santiago.

Según el Decreto 18/2001 (MTT, 2001) los vehículos que tienen más de dos ejes y/o PBV superior a 18.000 kilos no pueden ingresar al anillo Américo Vespucio de Lunes Viernes de 7:30-10:00 y de 18:00-20:30 horas. Se suman a los anteriores, los vehículos que poseen PBV superior a 3.860 kg y una antigüedad superior a la presentada en la

Tabla 9.

Tabla 9: Antigüedad de camiones con prohibición de entrar al anillo Américo Vespucio

Años	Antigüedad máxima (años)
2001	25
2002	22
2003	19
2004	16
2005	14
2006 y posterior	12

Por otra parte, el PPDA 2009 aplica restricción permanente de 4 dígitos a la circulación de camiones anteriores al año 1998 (sin sello verde). En días de alerta se repite esta misma restricción al transporte de carga, y en días de pre emergencia se amplía a 6 dígitos más 4 dígitos de camiones con sello verde.

Se propone establecer el área definida por el Decreto 18/2001 como una zona de baja emisión combinando la prohibición de circulación de vehículos de más de doce años con las siguientes medidas específicas:

- Restricción vehicular permanente de 4 dígitos para vehículos de carga inscritos en el registro nacional de vehículos motorizados con anterioridad al año 2003 (camiones pre Euro y Euro I).
- Restricción en días de alerta de 4 dígitos a vehículos de carga inscritos en el registro nacional de vehículos motorizados con anterioridad al año 2011 (camiones pre Euro, Euro I, Euro II y Euro III).

- Restricción en días de pre emergencia de 6 dígitos a vehículos de carga inscritos en el registro nacional de vehículos motorizados con anterioridad al año 2011 (camiones pre Euro, Euro I, Euro II y Euro III).

Debe quedar exento de restricción cualquier vehículo de carga inscrito en el registro nacional de vehículos motorizados con posterioridad al año 2003, que acredite que cuenta con algún dispositivo incluido en el listado de tecnologías certificadas para la reducción de emisiones en vehículos diésel. Para este fin el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones debe definir un sistema de sellos que permita distinguir los vehículos que estén equipados con tecnologías certificadas. Los propietarios de los vehículos afectados pueden postular al Fondo Regional de Promoción del Transporte Limpio, con el fin de conseguir apoyo financiero para poder cumplir con las exigencias de la zona de baja emisión.

Para evaluar los efectos de esta medida se consideró que el Fondo financia dos tipos de tecnologías: *retrofit* en camiones con tecnología Euro III y chatarrización de camiones con tecnologías pre Euro.

La medida de *retrofit* pretende instalar sistemas de abatimiento a camiones con tecnología Euro III, específicamente se ha evaluado instalar DPF con sistemas pasivos, tecnología que tiene un costo entre USD \$8.000-50.000 una duración de 5-10 años y necesitan una mantención entre 6-12 meses.

Se evaluó una flota 16.000 camiones (Euro III), de estos un 18% corresponden a camiones con remolque y un 82% camiones sin remolque y más pequeños. El costo de la medida evaluada a 5 años, donde no se consideró ningún tipo de subsidio a la incorporación de los sistemas, es US\$ 122.691.090 y con la cual son reducidos 369,6 Ton de MP_{2,5} siendo el costo de la Ton reducida igual a US\$ 331.925.

La medida de chatarrización se evaluó para camiones con motores con más de 25 años de antigüedad, el año 2012 la cifra fue de 15.0000 unidades aproximadamente, la medida busca reemplazar el 100% de esta flota.

Con esta medida, las toneladas reducidas son 507,9 Ton de MP_{2,5} y 1853,6 Ton de NOx.

d) Norma de emisión camiones nuevos

En relación a los camiones nuevos, se propone la introducción de camiones con motores con tecnología Euro VI en el año 2020. Esta medida no tiene ficha puesto que no fue evaluada económicamente.

e) Construcción no contaminante

Se considera la información del informe Elaboración de Diagnóstico e Inventario de Emisión (Geasur, 2013), donde se entrega información de la estimación de emisiones del sector maquinaria fuera de ruta del rubro construcción. En el se indica el tamaño de la flota, nivel de actividad, factores de emisión, etc.

Indica también que un 43% de la flota posee estandar Stage II, con la cual es posible implementar un programa de retrofit, específicamente filtros de partículas. Se realizaron estimaciones para determinar las emisiones emitidas solo de la maquinaria de construcción Stage II, las cuales fueron: potencia nominal 79 kW-hr y Factor de carga típica 0,5.

El costo de la medida evaluada a 5 años, donde no se consideró ningún tipo de subsidio a la incorporación de los sistemas, es US\$ 24.040.219 y con la cual son reducidos 161,6 Ton de MP_{2,5} siendo el costo de la Ton reducida igual a US\$ 148.760.

f) Agricultura no contaminante

En general, para la maquinaria fuera de ruta es necesario armonizar los estándares con el resto de los sectores (camiones pesados, vehículos livianos), es por eso y tal como se recomendó en informes anteriores (Geasur, 2013) que se deben definir procesos de homologación basados en certificaciones internacionales y crear así capacidad nacional para la conformidad de producción.

Por otro lado los estándar de emisión para nuevos vehículos/maquinaria fuera de ruta deberían ser Stage IV/Tier 4, pero considerando las normativas de los países importadores (China y Brasil) se podría exigir Stage IIIA+DPF.

Se debería establecer, de igual manera que para sistemas de post tratamiento en buses, la certificación de retrofit (VERT u otro similar).

Como se definio en “Construcción no contaminante”, se debería comenzar retrofit en maquinaria de la construcción; en la maquinaria de agricultura este proceso no es adecuado principalmente por las vibraciones de estas, lo que provoca un mal funcionamiento y durabilidad de los filtros.

g) Listado de tecnologías certificadas para la reducción de emisiones en vehículos diesel.

Las tecnologías que empleen los vehículos que ingresan a las ZBE deben ser certificadas por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. Las tecnologías pueden corresponder a sistemas de post tratamiento de emisiones, como filtros de partículas, convertidores catalíticos de reducción selectiva, convertidores catalíticos de oxidación diesel, sistemas y componentes para actualización tecnológica de motores, combustibles, biocombustibles, aditivos u otros productos similares.

El Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones definirá los procedimientos de prueba y certificación, identificando claramente los modelos de vehículos y motores para los cuales aplica la certificación de la tecnología. De este proceso se generará un listado de tecnologías certificadas para la reducción de emisiones en vehículos diesel, el cual deberá ser actualizado periódicamente.

h) Fondo Regional de Promoción del Transporte Limpio

El fondo regional para transporte limpio corresponderá a un programa de apoyo a microempresarios del transporte de la Región Metropolitana para fomentar la inversión en tecnologías certificadas de reducción de emisiones. Dentro del programa se incluyen empresarios del transporte de carga con ingresos anuales menores a 20.000 UF, quienes pueden postular a un subsidio de apoyo a la compra de tecnologías certificadas en porcentaje equivalentes a los señalados en la Ley 19.764 para la recuperación del impuesto específico al diesel.

Al fondo también podrá apoyar a empresarios que presten servicio de transporte escolar y que figuren en el Registro Nacional de Transporte Público y Escolar con registro en la Región Metropolitana. También podrán postular municipios que participen en el programa de transporte municipal no contaminante, así como también empresas agrícolas y de la construcción que participen en alguna de las iniciativas del programa regional de diesel limpio.

Los recursos para el fondo provendrán de los mecanismos de financiamiento del Plan de Descontaminación indicados en el capítulo 3.6. Se estima que el fondo debe disponer de un monto anual de 23 millones de US\$.

El Programa Regional de Diesel Limpio será ejecutado por el Gobierno Regional y la Secretaria Regional Ministerial del Ministerio de Medio Ambiente.

3. Vehículos más limpios y eficientes

Los vehículos livianos y medianos representan un impacto significativo en la calidad del aire y en las emisiones de CO₂ en la Región Metropolitana. Adicionalmente, este sector se caracteriza por un crecimiento sostenido de las ventas de vehículos nuevos, lo cual representa una oportunidad para seguir profundizando el cambio tecnológico hacia vehículos más limpios y eficientes. El cambio tecnológico se puede lograr mediante la combinación de normas de entrada más exigentes disponibles a nivel mundial y la implementación de mecanismos complementarios que incentiven a los ciudadanos a elegir dentro de los vehículos que cumplen con la norma, aquellos que son más limpios y presentan menor consumo de combustible.

La creación del Ministerio del Medio Ambiente el año 2010 permitió avanzar por primera vez en la implementación de una estrategia nacional para reducir las emisiones del transporte. En este

marco se establecieron normas más exigentes para vehículos medianos (DS N°28/2012 del MMA) y livianos (DS N°29/2012 del MMA), avanzando a la norma Euro 5 a nivel nacional entre septiembre de 2013 y septiembre de 2014. Estas normas se establecieron en forma complementaria con el mejoramiento de los combustibles, llegando en septiembre de 2013 a una calidad de diesel de 15 ppm de azufre como máximo a nivel nacional.

En febrero de 2013 se inició en Chile el etiquetado obligatorio de emisiones y rendimiento para vehículos nuevos orientado a la promoción de los vehículos más limpios y eficientes. Este avance regulatorio de los ministerios de Medio Ambiente, Transportes y Energía, ha sido complementado recientemente en la propuesta de Reforma Tributaria con un impuesto a los vehículos diesel, que es inversamente proporcional a la eficiencia establecida por el etiquetado.

Considerando el contexto mencionado más arriba se proponen las siguientes medidas:

a) Norma de Emisión para Vehículos Livianos y Medianos

Ante la necesidad de seguir reduciendo emisiones de partículas y sus precursores, especialmente las emisiones de NOx, la norma Euro 5 no resulta suficientemente buena para la Región Metropolitana de Santiago. Por esta razón se plantea avanzar a la norma Euro 6 (y su equivalente EPA) al año 2016.

Esta medida no tiene ficha puesto que no fue evaluada económicamente.

b) Mecanismo de incentivo a vehículos más limpios y eficientes

Se propone esperar a que la Reforma Tributaria establezca el tipo de impuesto que se establecerá a los vehículos diesel antes de avanzar en una propuesta complementaria que pueda incorporar a todos los vehículos livianos y medianos independiente del combustible. Los mecanismos de incentivo que se definan deberían apuntar en la línea de la propuesta realizada por el Centro Mario Molina el año 2012, considerando un sistema de tipo *feebate*.

Para diseñar este sistema se debe realizar un profundo análisis del mercado actual de forma tal de establecer cómo ha cambiado el panorama tecnológico de la Región Metropolitana con la entrada de las nuevas normas de emisión y el etiquetado vehicular.

Esta medida no tiene ficha puesto que no fue evaluada económicamente.

3.1.2 Medidas para la reducción de emisiones en el sector de generación eléctrica regional

1. Reducción de emisiones de NOx para centrales termoeléctricas

La sociedad Eléctrica Santiago es la única central termoeléctrica de la Región Metropolitana, situada en la Comuna Renca. La sociedad cuenta con dos centrales: la central Renca y la central Nueva Renca, ambas forman parte hoy día del Complejo Renca, el cual suministra energía al Sistema Interconectado Central (SIC). Nueva Renca es responsable de casi el 5% de las emisiones de NO_x totales de la Región Metropolitana.

Actualmente, y según la información ofrecida por la Memoria Anual de la Sociedad (Sociedad Eléctrica de Santiago, 2012), la central Nueva Renca cuenta desde el año 2009 con un convertidor catalítico de reducción selectiva (SCR, *Selective Catalytic Reduction*), para contaminantes (NO_x) cuando se utiliza como combustible el petróleo diesel. La eficiencia en reducción de emisión de NO_x de estos convertidores SCR es del 60%. Por ello, se ha propuesto adaptar este sistema ya instalado para cuando la central opere con otro combustible.

Gracias a la información facilitada por el Ministerio de Energía en su documento “Consumo de Combustibles de Centrales del SIC”, se ha observado que la Central Nueva Renca utilizó como combustible gas natural la mayor parte del tiempo, por lo que se recomienda la adaptación del sistema SCR para cuando la central utilice este combustible.

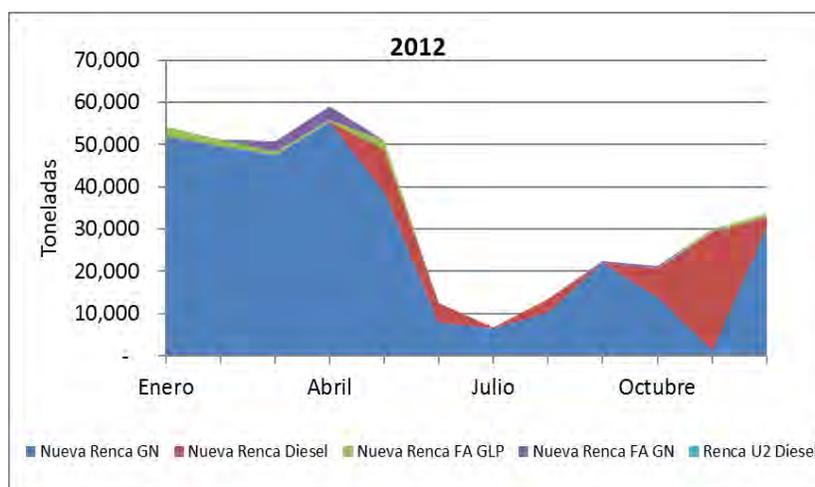


Figura 61. Consumo combustible central Nueva Renca

La norma vigente para termoeléctricas no impone una norma de NOx para centrales operando con gas natural, por lo que se recomienda establecer un límite de emisión para este contaminante de 2,5 ppm que deberá ser cualquier cumplido por las centrales termoeléctricas de más de 3 MW emplazada en la Región Metropolitana. Este límite se cumple con el uso de un SCR.

Según el informe de la Agencia de Protección de Medio Ambiente de los EEUU (EPA, 2002), el costo de inversión para instalar un Sistema SCR en una central termoeléctrica con una turbina de gas grande es de 3500 US\$/MW, es decir, para la Central Nueva Renca el costo de inversión es de 1.3 millones de dólares iniciales (ya que la potencia es de 379 MW). Además, tiene un costo anual de 850US\$/MW y un costo de operación y mantenimiento es de 350 US\$/MW.

Sumando todos estos costos, durante los 5 años para los que está previsto el plan de descontaminación, y tras el análisis de las toneladas evitadas de contaminante, el coste por tonelada reducida es de US\$ 2.762. Con este sistema SCR se evitan aproximadamente 4.000 toneladas de NOx para el periodo estudiado.²⁴

2. Programa de reducción de emisiones para Grupos Electrógenos

Según la base de datos de fuentes fijas de la SEREMI de Salud para la Región Metropolitana, existen 1.337 fuentes registradas como grupos electrógenos de respaldo, utilizando como combustible petróleo diesel.

Los grupos electrógenos cuentan con un motor de combustión interna y un generador de electricidad, donde el eje del motor de combustión le transfiere movimiento al eje del generador para producir electricidad. Es en éste motor donde ocurre la combustión cuyas emisiones son consideradas como compuestos tóxicos, entre los cuales están el Material particulado (MP), compuesto en gran parte por hollín, Óxidos de nitrógeno (NOx), Monóxido de carbono (CO) e Hidrocarburos (HC), debido a la combustión incompleta del combustible, finalmente el Dióxido de azufre (SO₂), proveniente del azufre presente en el combustible, que en el caso de la Región Metropolitana ya cuenta con niveles máximos de 15 ppm de azufre.

Para paliar las emisiones de MP procedentes de estas fuentes existen tecnologías de filtros de partículas diesel (DPF, por sus siglas en inglés) ampliamente probadas a nivel internacional. Los filtros DPF reducen en gran medida el material particulado, alcanzando eficiencias del 90%. El costo de la tecnología va a depender de la potencia de los grupos electrógenos, y van desde los 25.000 USD a los 54.000 USD. Para asignar un costo, se agruparon las fuentes según su potencia, obteniendo 4 grupos, que van desde los 360 kW (la más baja) a los 1.640 kW (la más alta).

Se proponen incorporar las siguientes medidas para el control de emisiones de los grupos electrógenos en la Región Metropolitana. Estas medidas suponen la instalación de horómetros para diferenciar los GE de respaldo y los GE de emergencia, exigencia que incorporada en el Plan vigente.

a) Incorporación de filtros de partículas en Grupos Electrógenos de Respaldo

Se recomienda establecer una medida que exija la incorporación de filtros de partículas en Grupos Electrógenos de Respaldo existentes (potencia > 40 kW). El plazo para acreditar el cumplimiento

²⁴ Para más información ver Tablas en Anexos

de esta medida debería ser 24 meses, considerando el costo que este dispositivo significa y la demanda por instalar estos filtros por parte del sector industrial.

b) Norma de entrada para Grupos Electrónicos Nuevos

Establecer como norma de entrada para los grupos electrónicos nuevos que instalen en la Región Metropolitana y que sean utilizados como respaldo la norma *Tier 4* (potencia > 40 kW) o *Stage IV*.

c) Paralización en Episodios Críticos

A partir del año 2017 deben parar en días de episodios críticos todos los grupos electrónicos de respaldo que no acrediten que pertenecen a un establecimiento que cuenta con un sistema de gestión de la energía ISO 50.001 certificado.

Tras el estudio y posterior análisis de las toneladas de emisiones evitadas, la inversión y los gastos de operación y mantenimiento requeridos por la tecnología, la reducción de una tonelada de MP_{2,5} tiene un costo US\$768.750. Esta medida reduce 85,5 ton de MP_{2,5} en los 5 años de duración del programa.²⁵

3.1.3 Medidas para la reducción de las emisiones en fuentes industriales existentes

Evolución de la Regulación Industrial en la Región Metropolitana

Al analizar la regulación de las emisiones industriales en la Región Metropolitana se puede observar una evolución desde el control del material particulado, prioritario en los años noventa, hacia la incorporación de los gases precursores como el SO₂, NO_x a partir del PPDA publicado el año 2004. En la primera etapa, tanto el Decreto 4 (DS 4/1992 del Ministerio de Salud) como el primer Plan de Prevención y Descontaminación de la Región Metropolitana (DS 16/1998 del Minsegpres), definieron tres ejes fundamentales para la regulación industrial de la Región Metropolitana:

- Límite de concentración en chimeneas para material particulado de 112 mg/m³ y se establecieron criterios de paralización industrial en episodios críticos.
- Se estableció un techo a las emisiones de la industria y un sistema de compensación de emisiones.
- Se estableció un enfoque neutro para la regulación que no distinguía ni por tecnología ni por tipo de combustibles.

²⁵ Para más información ver Tabla en Anexos.

En una segunda etapa, plasmada en la revisión del Plan de Descontaminación (DS 58/2004 de Minseges) se agregaron elementos que permitieron avanzar en una regulación más integral:

- Se incorporó el concepto de mayores emisores para fortalecer y focalizar mejor la regulación industrial en aquellas fuentes que producían el 80% de las emisiones de MP, NOx y SO₂, estableciendo metas de reducción y plazos para alcanzarlos.
- Se incorporaron incentivos para promover el uso de combustibles limpios, especialmente en fuentes de menor tamaño.
- Se profundizó el sistema de compensación de emisiones como un mecanismo para mantener un techo de emisiones en los principales contaminantes (MP, NOx y SO₂)

El último Plan de Descontaminación publicado (DS 66/2010 del Minseges) no incorporó grandes cambios a la regulación, porque el plan anterior había establecido los años 2007 y 2010 para el cumplimiento de las metas de MP y NOx respectivamente. Sin embargo, este plan identificó como prioritario avanzar en el control de emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles, que habían estado completamente al margen de las regulaciones anteriores, enfocadas en las emisiones desde chimeneas. Para avanzar en la generación de la información base para regular este tipo de emisiones, el plan estableció la obligación de declarar emisiones de COV's a todos los establecimientos con emisiones superiores a 50 ton/año. Lamentablemente la información que se esperaba generar con esta exigencia todavía no se encuentra del todo disponible para el diseño de la regulación.

Criterios que se han considerado para el diseño de la propuesta de regulación

Impacto en salud: Necesidad de reducir las emisiones de material particulado y gases, así como también algunos compuestos tóxicos en el MP. Por ejemplo, la OMS clasificó el año 2012 a las partículas diesel, como cancerígenas en el Grupo 1.

Costos y Beneficios de incorporar diferentes tecnologías: En la Región Metropolitana, después de 20 años de control de la contaminación, cada nueva reducción de emisiones representa costos comparativamente mayores a las anteriores. Por esta razón es importante evaluar los costos de las medidas de control, pero también dimensionar sus beneficios. Al establecer las relaciones costo-beneficio se puede respaldar mejor las exigencias regulatorias.

Simplicidad de la regulación: La regulación aplicable a industrias en la Región Metropolitana se ha complejizado a través de los años. Esta complejidad no radica sólo en la regulación propiamente tal, sino también se debe a la aplicación práctica de estas regulaciones que han llevado a cabo los organismos competentes. Como parte del diseño regulatorio se espera incorporar elementos que simplifiquen esta regulación para mejorar su comprensión, su implementación y también su fiscalización.

Necesidad de actualizar las normativas: Como se comentó anteriormente, la última regulación que se le aplicó al sector industrial data del PPDA publicado el año 2004. En los 10 años que han

transcurrido, otros sectores han avanzado en la incorporación de tecnologías (por ejemplo el 50% de los buses de Transantiago cuentan hoy con filtros DPF). En el sector transporte e industrial se mantienen hasta la fecha restricciones que han perdido vigencia, tal es el caso de los criterios de paralización industrial definidos en los noventa para acelerar el recambio tecnológico.

Nueva institucionalidad y problemas observados en la implementación de las regulaciones:

Teniendo en consideración las dificultades que se han observado en el sistema de compensación de emisiones de MP y NOx, y lo importante que ha sido mantener las exigencias de compensación de emisiones para fuentes nuevas, se debe hacer un esfuerzo importante en la modernización de la administración del sistema de compensación de emisiones, para adecuarlo a la nueva institucionalidad

Nuevo Plan de Descontaminación: Junto con lo anterior, se debe aprovechar la oportunidad de que este será un nuevo plan para poder generar una nueva línea de base, nuevos sistemas de registro de las emisiones más modernos y eficientes.

Cambio Climático: A nivel internacional existe gran interés por el control de los contaminantes climáticos de vida corta (CCVC) dentro de los cuales encontramos el carbono negro (BC, por su sigla en inglés) que constituye actualmente el segundo contaminante climático en importancia después del CO₂. Por esta razón, se pondrá un énfasis especial en la identificación de medidas que permitan reducir las emisiones del MP y su fracción más importante, el BC.

Incentivos a los combustibles limpios: Considerando que la Región Metropolitana se caracteriza por una gran cantidad fuentes fijas de menor tamaño, se deben mantener y, en lo posible, profundizar los incentivos al uso de combustibles limpios.

Eficiencia Energética: En el caso de calderas y grupos electrógenos se considera importante incorporar exigencias relacionadas con los sistemas de gestión de energía (ISO 50.001).

Junto con los criterios anteriores, se debe tener presente que, después de 2 décadas de regulación, el sector industrial de la Región Metropolitana cuenta con un marco regulatorio principalmente enfocado al control de MP, NOx y SO₂. Para CO sólo existe una norma en procesos de combustión y para el COV las exigencias indicadas en el párrafo anterior orientadas a mejorar la caracterización de las emisiones del sector. A continuación se entrega un resumen de las regulaciones aplicables a MP, NOx y SO₂, que sirve de base a la propuesta de medidas para incorporar en un plan de MP_{2,5}.

Resumen de la Regulación Industrial en la Región Metropolitana (MP-NOx-SO₂)

MP FUENTES EXISTENTES	GRANDES Decreto 4: Fuentes puntuales (> 1.000 m ³ /hora caudal) PPDA 2004: Grandes emisores de MP >2,5 ton/año (procesos)	PEQUEÑAS Decreto 4: Fuentes grupales (< 1.000 m ³ /hora caudal) PPDA 2004: No son grandes emisores de MP <2,5 ton/año (procesos)
Calderas	<ul style="list-style-type: none"> • Norma concentración: 112 mg/m³ • Norma de emisión: EDI = Caudal x 32 mg/m³ x 24 horas (Emisión Diaria) Asignado a partir del año 2004. • Paralizan en episodios > 32 en preem. y >28 en emergencias • Medición CH5 anual • Si usan comb. limpios: GLP-GN pueden estimar 15 mg/m³ - 30 mg/m³ con Diesel (CHA-CH3A) • Pueden cumplir compensando emisiones con otras fuentes (confirmar) 	<ul style="list-style-type: none"> • Norma concentración: 56 mg/m³ • Norma de emisión: NO • Paralizan en episodios > 32 en preem. y >28 en emergencias • Medición CH5 cada tres años • Si usan comb. limpios: GLP-GN pueden estimar 15 mg/m³ - 30 mg/m³ con Diesel (CHA-CH3A)
Procesos	<ul style="list-style-type: none"> • Norma concentración: 112 mg/m³ • Mayores Emisores de MP > 2,5 ton/año (PPDA 2004) (cálculo de emisiones para año base 1997). • Meta de reducción 50% de emisiones al 01/05/2007. • Paralizan en episodios > 32 en preem y >28 en emergencias • Paralizan en episodios si no acreditan cumplimiento de la meta de emisión de MP • Medición CH5 anual (sobre 16 ton/año MP: CEMS) • Pueden cumplir compensando emisiones con otras fuentes en forma individual o por establecimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Norma concentración: 56 mg/m³ • Paralizan en episodios > 32 en preem y >28 en emergencias • Medición CH5 cada tres años
Panaderías (Hornos panificadores)	<ul style="list-style-type: none"> • No existen 	<ul style="list-style-type: none"> • Norma concentración: 56 mg/m³ • Paralizan en episodios > 32 en preem. y >28 en emergencias • Medición CH5 cada tres años • Si usan combustibles limpios: GLP-GN- Diesel pueden estimar 15mg/m³ Gas natural-GLP 30 mg/m³ Diesel (CHA-CH3A)
Grupos Electrónicos	<ul style="list-style-type: none"> • Norma concentración: 112 mg/m³ • Paralizan en episodios > 32 en preem. y >28 en emergencias • Medición CH5 anual (verificar tamaño a partir del cual se determina frecuencia de medición) • Incorporar horómetro para diferenciar GE de Respaldo y de Emergencia 	<ul style="list-style-type: none"> • Norma concentración: 56 mg/m³ • Paralizan en episodios > 32 en preem. y >28 en emergencias • Medición CH5 cada tres años • Incorporar horómetro para diferenciar GE de Respaldo y de Emergencia

FUENTES NUEVAS	GRANDES	PEQUEÑAS
Calderas	<ul style="list-style-type: none"> • Norma concentración: 112 mg/m³ • Compensación emisiones: 150 % (Emisión Diaria = Caudal x concentración mg/m³ x 24 horas) • Paralizan en episodios > 32 en preem y >28 en emergencias • Medición CH5 anual 	<ul style="list-style-type: none"> • Norma concentración: 56 mg/m³ • No compensan emisiones • Paralizan en episodios > 32 en preem y >28 en emergencias • Medición CH5 cada tres años • Si usan combustibles limpios: GLP-GN pueden estimar 15mg/m³, 30 mg/m³ Diesel (CHA-CH3A)
Procesos	<ul style="list-style-type: none"> • Norma concentración: 112 mg/m³ • Emisiones de MP > 2,5 ton/año compensa emisiones en 150% (base anual) (PPDA 2004) • Restricción a la toxicidad del MP (Resolución del Minsal publicada 2012) • Paralizan en episodios > 32 en preem y >28 en emergencias • Paralizan en episodios fuentes que no han acreditado sus compensaciones de MP • Medición CH5 anual (sobre 16 ton/año MP: CEMS) • Pueden acreditar cumplimiento de forma individual o por establecimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Norma concentración: 56 mg/m³ • No son mayores emisores de MP < 2,5 ton/año (PPDA 2004) (se hizo cálculo de emisiones por procesos para el año base 1997). • Paralizan en episodios > 32 en preem y >28 en emergencias • Medición CH5 cada tres años
Panaderías (Hornos panificadores)	<ul style="list-style-type: none"> • No existen 	<ul style="list-style-type: none"> • Norma concentración: 56 mg/m³ • Paralizan en episodios > 32 en preem y >28 en emergencias • Medición CH5 cada tres años • Si usan comb. limpios: GLP-GN pueden estimar 15 mg/m³ - 30 mg/m³ con Diesel (CHA-CH3A)
Grupos Electrógenos	<ul style="list-style-type: none"> • Norma concentración: 112 mg/m³ • Compensan emisiones si MP > 2,5 ton/año (art. 98 PPDA 2010) • Paralizan en episodios > 32 en preem y >28 en emergencias • Medición CH5 anual (verificar tamaño a partir del cual se determina frecuencia de medición) • Incorporar horómetro 	<ul style="list-style-type: none"> • Norma concentración: 56 mg/m³ • Paralizan en episodios > 32 en preem y >28 en emergencias • Medición CH5 cada tres años • Incorporar horómetro

1) Una fuente puntual de 1.000 m³/hora con 32 mg/m³ de concentración emite 0,28 ton/año.

2) En calderas el límite tácito para compensar es 56 mg/m³ (límite grupales) que es equivalente a 0,5 ton/año

NOx FUENTES EXISTENTES	GRANDES Decreto 4: Fuentes puntuales (> 1.000 m ³ /hora caudal) PPDA 2004: Grandes emisores de MP >8 ton/año	PEQUEÑAS Decreto 4: Fuentes grupales (< 1.000 m ³ /hora caudal) PPDA 2004: No son grandes emisores de NOx <8 ton/año
Calderas	<ul style="list-style-type: none"> • Mayores Emisores de NOx > 8 ton/año (PPDA 2004) (cálculo de emisiones para año base 1997). • Meta de reducción 50% de emisiones al 31/12/2010. • Medición CH7E anual (si caudal >2.000 m³/hora) + CEMS (si emisión anual > 70 ton) 	<ul style="list-style-type: none"> • Nada
Procesos		
Panaderías (Hornos panificadores)	<ul style="list-style-type: none"> • Nada 	<ul style="list-style-type: none"> • Nada
Grupos Electrógenos	<ul style="list-style-type: none"> • Mayores Emisores de NOx > 8 ton/año (PPDA 2004) (cálculo de emisiones para año base 1997). • Meta de reducción 50% de emisiones al 31/12/2010. • Medición CH7E anual (si caudal >2.000 m³/hora) + CEMS (si emisión anual > 70 ton) 	<ul style="list-style-type: none"> • Nada

Fuentes Nuevas	GRANDES	PEQUEÑAS
Calderas	<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones de NOx > 8 ton/año compensa emisiones en 150% (base anual) (PPDA 2004) • Medición CH7E anual (si caudal >2.000 m³/hora) + CEMS (si emisión anual > 70 ton) 	<ul style="list-style-type: none"> • Nada
Procesos		
Panaderías (Hornos panificadores)	<ul style="list-style-type: none"> • Nada 	<ul style="list-style-type: none"> • Nada
Grupos Electrógenos	<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones de NOx > 8 ton/año compensa emisiones en 150% (base anual) (PPDA 2004) • Medición CH7E anual (si caudal >2.000 m³/hora) + CEMS (si emisión anual > 70 ton) • Compensación de emisiones de NOx (Art 98 PPDA 2010) 	<ul style="list-style-type: none"> • Nada

1) una fuente puntual de 1.000 m³/hora con 500 mg/m³ de conc. emite 4,38 ton/año, con 2.000 m³/hora, emisión es de 8,7 ton/año.

Fuentes Existentes	SO ₂ GRANDES EMISORES	SO ₂ PEQUEÑOS EMISORES
Calderas	<ul style="list-style-type: none"> Fuentes puntuales (> 1.000 m³/hora caudal) Norma de concentración: 30 ng/joule Medición CH6C anual (se exceptúan de medir < 200 mil kjoule/hora, y las que usen diesel A1, gas natural, GLP, biogás) Si emisión anual > 80 ton SO₂ debe usar CEMS 	<ul style="list-style-type: none"> Norma de concentración: 30 ng/joule Medición CH6C anual (se exceptúan de medir < 200 mil kjoule/hora, y las que usen diesel A1, gas natural, GLP, biogás)
Procesos	<ul style="list-style-type: none"> Meta de emisión de SO₂ (establecimientos industriales con emisiones > 100 ton/año) Si emisión anual > 80 ton SO₂ debe usar CEMS 	Nada
Panaderías (Hornos panificadores)	<ul style="list-style-type: none"> Norma de concentración: 30 ng/joule Medición CH6C anual (se exceptúan de medir < 200 mil kjoule/hora, y las que usen diesel A1, gas natural, GLP, biogás) 	<ul style="list-style-type: none"> Norma de concentración: 30 ng/joule Medición CH6C anual (se exceptúan de medir < 200 mil kjoule/hora, y las que usen diesel A1, gas natural, GLP, biogás)
Grupos Electrógenos	<ul style="list-style-type: none"> Norma de concentración: 30 ng/joule Medición CH6C anual (se exceptúan de medir < 200 mil kjoule/hora, y las que usen diesel A1, gas natural, GLP, biogás) Si emisión anual > 80 ton SO₂ debe usar CEMS 	<ul style="list-style-type: none"> Norma de concentración: 30 ng/joule Medición CH6C anual (se exceptúan de medir < 200 mil kjoule/hora, y las que usen diesel A1, gas natural, GLP, biogás)

Fuentes Nuevas	SO ₂ GRANDES EMISORES	SO ₂ PEQUEÑOS EMISORES
Calderas	<ul style="list-style-type: none"> Fuentes puntuales (> 1.000 m³/hora caudal) Norma de concentración: 30 ng/joule Medición CH6C anual (se exceptúan de medir < 200 mil kjoule/hora, y las que usen diesel A1, gas natural, GLP, biogás) Si emisión anual > 80 ton SO₂ debe usar CEMS Compensar 150% si emisiones > 50 ton/año (art 98 PPDA 2004) 	<ul style="list-style-type: none"> Norma de concentración: 30 ng/joule Medición CH6C anual (se exceptúan de medir < 200 mil kjoule/hora, y las que usen diesel A1, gas natural, GLP, biogás)
Procesos	<ul style="list-style-type: none"> Medición CH6C anual (se exceptúan de medir < 200 mil kjoule/hora, y las que usen diesel A1, gas natural, GLP, biogás) Si emisión anual > 80 ton SO₂ debe usar CEMS Compensar 150% si emisiones > 50 ton/año (art 98 PPDA 2004) 	<ul style="list-style-type: none"> Nada

Fuentes Nuevas	SO2 GRANDES EMISORES	SO2 PEQUEÑOS EMISORES
Panaderías (Hornos panificadores)	<ul style="list-style-type: none"> • Norma de concentración: 30 ng/joule • Medición CH6C anual (se exceptúan de medir < 200 mil kjoule/hora, y las que usen diesel A1, gas natural, GLP, biogás) 	<ul style="list-style-type: none"> • Norma de concentración: 30 ng/joule • Medición CH6C anual (se exceptúan de medir < 200 mil kjoule/hora, y las que usen diesel A1, gas natural, GLP, biogás)
Grupos Electrógenos	<ul style="list-style-type: none"> • Norma de concentración: 30 ng/joule • Medición CH6C anual (se exceptúan de medir < 200 mil kjoule/hora, y las que usen diesel A1, gas natural, GLP, biogás) • Si emisión anual > 80 ton SO₂ debe usar CEMS • Compensar 150% si emisiones > 50 ton/año (art 98 PPDA 2004) 	<ul style="list-style-type: none"> • Norma de concentración: 30 ng/joule • Medición CH6C anual (se exceptúan de medir < 200 mil kjoule/hora, y las que usen diesel A1, gas natural, GLP, biogás)

1. Control de Material Particulado en Procesos Industriales

a) Redefinir metas de emisión de MP

Reducción de las metas de emisión de MP en procesos industriales denominados mayores emisores. Para esto se recomienda establecer las nuevas metas de forma que sean equivalentes a EAD (Emisión Anual Declarada el año 2012). Esta medida de incluir una auditoría a todos los establecimientos con fuentes denominadas “Mayores Emisores” y/o que cuentan con exigencia de cumplimiento de monitoreo continuo en chimenea.

b) Norma de emisión de MP

Establecer una nueva norma de emisión de MP en procesos industriales existentes – nuevos de acuerdo con el criterio siguiente:

- Procesos puntuales: 15 mg/m³
- Procesos grupales: 56 mg/m³

c) Criterios de paralización en episodios

Se reemplaza listado de paralización en episodios de alta contaminación por programas de reducción de emisiones en episodios críticos que serán presentados por los titulares de los **mayores emisores** a la autoridad para su aprobación. **Estos programas deberán reducir al menos un 15% en días de alerta, un 30% en pre emergencias y un 50% en emergencias, todo en base a la información de monitoreo continuo.**

2. Control de Material Particulado en Calderas

a) Norma de emisión de MP

Para calderas nuevas y existentes se establece un límite máximo de emisión de MP de 15 mg/m³. El plazo para alcanzar el cumplimiento de este límite será de 24 meses.

Todas las calderas grupales que operen con Gas Natural o GLP se asumirá que cumplen con el límite establecido sin necesidad de realizar mediciones (como incentivo al uso de combustibles limpios).

b) Criterios de paralización en episodios

A partir del año 2017 deben parar en días de episodios críticos todas las calderas que no acrediten que pertenecen a un establecimiento que cuenta con un sistema de gestión de la energía ISO 50.001 certificado.

3. Control de NOx en Calderas

a) Incorporación de quemadores Low NOx

Se recomienda definir una regulación que exija la incorporación de quemadores *Low NOx* en calderas nuevas y existentes con potencias superiores a 1 MW.

Esta exigencia deberá ser implementada en un plazo de 24 meses.

b) Norma de emisión de NOx

Se propone establecer una Norma de Emisión de NOx para calderas nuevas y existentes de acuerdo a la potencia nominal según se indica a continuación:

- 9 ppm NOx (potencia 1 – 3MW)
- 2,5 ppm NOx (potencia > 3 MW)

Esta exigencia deberá ser implementada en un plazo de 24 meses.

4. Control de NOx en Procesos Industriales

Se propone que a los procesos industriales considerados como grandes emisores para este contaminante, se les establezca como exigencia incorporar tecnologías de control bajo el criterio de “Mejor Tecnología de Control Disponible”.

Esta exigencia deberá ser implementada en un plazo de 24 meses.

5. Verificación del cumplimiento de los programas de reducción de SO₂

Considerando que el Programa de Reducción de SO₂ tiene más de 5 años desde su implementación, se recomienda realizar un proceso de auditorías al cumplimiento de los programas individuales. Estas auditorías deberán ser realizadas en el marco de las atribuciones de la SMA.

Aquellos procesos industriales que tengan como exigencia la implementación de sistemas de medición continua de emisiones (CEMS) deberán conectarse en línea con las plataformas de la SMA para el seguimiento de las emisiones de SO₂.

6. Control de emisiones de COV en grandes emisores industriales

Para avanzar en la reducción de las emisiones de COV del sector industrial, se recomienda dar continuidad al enfoque planteado en el PPDA vigente (DS 66 / 2009) y establecer un Programa de Control de Emisiones de COV en grandes emisores industriales orientado a reducir sus emisiones

en un 50%. Este enfoque regulatorio permitió implementar el Programa de Reducción de SO₂, instrumento exitoso en la reducción de emisiones de SO₂ en los mega emisores, al considerar caso a caso a todos los establecimientos cuyas emisiones superaran las 100 ton/año de SO₂. Dicho programa les estableció las metas de reducción acordes a un análisis de factibilidad técnica y económica.

De acuerdo a las etapas que se establecían en el PPDA vigente, hasta ahora se han logrado los siguientes avances:

- Se implementó un Sistema de Declaración de Emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles, de forma tal de mejorar la información disponible y avanzar en su control.
- Se diseñó un formulario para las actividades industriales y comerciales que deben declarar una vez al año a la Seremi de Salud de la Región Metropolitana. La forma y contenidos de esta declaración fue establecida mediante una Resolución de la Seremi de Salud.
- La Seremi de Salud R.M. cuenta con un registro de los establecimientos cuyas emisiones de COV superan las 50 ton/año.

En virtud de estos avances, se proponen las siguientes etapas para implementar un Programa de Reducción de COV en la industria:

- Los establecimientos industriales con fuentes estacionarias correspondientes, y cuyo aporte de emisiones de COVs sea superior a 50 (ton/año), deberán presentar al Ministerio del Medio Ambiente, para su aprobación, un Programa de Reducción de Emisiones de COVs.
- El objetivo del programa deberá apuntar a reducir en 50% las emisiones de COV del total emitido por todas las fuentes que participen del programa.
- La aprobación del programa estará sujeta a criterios técnicos y a la factibilidad de poder llevar a cabo la reducción de emisiones. Las metas de reducción considerarán los esfuerzos de incorporación tecnologías de control implementados con anterioridad a la publicación del plan.
- El plazo de presentación del Programa de Reducción de Emisiones de COVs, será de 12 meses contados desde la publicación del presente decreto en el Diario Oficial.
- El Programa deberá contener, a lo menos, las metas, plazos y acciones de reducción de emisiones, y un mecanismo de monitoreo y control.
- La SMA será responsable de la fiscalización del cumplimiento de este Programa.

3.1.4 Medidas para la reducción de emisiones en el sector residencial

1. Control de Emisiones de combustión residencial de leña

El control de las emisiones de material particulado proveniente del uso de leña para calefacción en zonas urbanas y rurales de la Región Metropolitana debe ser considerado como prioritario en el Plan de MP_{2,5} porque constituye la principal fuente de emisión directa de este contaminante. Los ejes de esta regulación deben apuntar a:

- Implementar la prohibición de los calefactores en uso que establece el PPDA vigente (DS 66/2009) a partir de noviembre de 2014 en zonas urbanas. Esta prohibición debe ser complementada de forma tal que no se permita el uso de biomasa para calefacción en las zonas urbanas de la región, aun cuando los calefactores cumplan con norma.
- Asociar la implementación de la prohibición con la entrega del subsidio PPPF (mejoramiento de aislación térmica) para aquellas viviendas de sectores vulnerables que deberán cambiar sus sistemas de calefacción.
- En zonas rurales, donde no se prohíben los calefactores en uso, se recomienda considerar el desarrollo de un programa de recambio por calefactores nuevos certificados, de bajas emisiones y alta eficiencia.
- Reducir la demanda energética de viviendas nuevas, de forma tal de promover el uso de combustibles limpios y reducir el consumo de energía.

Para llevar adelante esta regulación se debe tener como fundamento que se está apuntando a reducir las emisiones de la principal fuente de material particulado de la región, según los últimos inventarios realizados. Esta es una tarea desafiante ya que requiere el control sobre aproximadamente, 120 mil fuentes residenciales que se encuentran distribuidas en zonas urbanas y rurales de la Región Metropolitana.

Otro elemento importante es que la norma de emisión para calefactores nuevos que entró en vigencia en noviembre de 2013 en la Región Metropolitana, que establece un límite de 2,5 gramos/hora, no es suficientemente estricta considerando los altos niveles de MP_{2,5} que se alcanzan en los días de invierno en las zonas urbanas de la región.

a) Implementar la prohibición de los calefactores en uso en zonas urbanas

El PPDA vigente establece la prohibición de uso en zonas urbanas de todos los calefactores que no cumplan con la norma del mismo plan (2,5 gr/hora) la cual debe ser implementada a partir de noviembre de 2014. Para esto, la Seremi de Medio Ambiente está desarrollando un registro de estos calefactores con apoyo de los municipios.

Teniendo en consideración el impacto económico de implementar una prohibición como esta se recomienda incorporar en el nuevo plan un aumento de los subsidios PPPF (Protección del Patrimonio Familiar) que se focalice exclusivamente al mejoramiento de aislación térmica para aquellas viviendas de sectores vulnerables que deberán cambiar sus sistemas de calefacción.

Adicionalmente, como estos subsidios se enfocan a viviendas de menos de 600 UF, en el mismo plan se debe discutir un mecanismo para hacerlo accesible a viviendas de hasta 1000 UF.

b) Implementar un programa de recambio de calefactores a leña para zonas rurales

El parque de calefactores se encuentra dominado por estufas de doble cámara, sin embargo las estufas tipo salamandras, braseros, chimeneas y otros (artesanales), sobrepasa el 40% del parque total (Figura 62). Este último grupo se asocia, a su vez, a mayores emisiones debido a que cuenta con peores tecnologías para el proceso de combustión. De la misma forma, casi cerca del 70% del consumo de leña se establece en comunas rurales de la región, específicamente en el uso de salamandras y calefactores de doble cámara.

Al comparar el nivel de contaminación por cada Mega Joule (MJ) de energía entregado a la habitación del calefactor, se ha estimado que los calefactores de doble cámara emiten una décima parte de lo que contamina una salamandra. Esto permite indicar que el principal esfuerzo en la reducción de emisiones provenientes de este sector, debiera ser aplicado en reemplazos de salamandras y otros similares en zonas rurales, por calefactores que cumplan con la norma vigente o bien por otros sistemas de calefacción más limpios, en un enfoque de elección voluntaria de las familias.

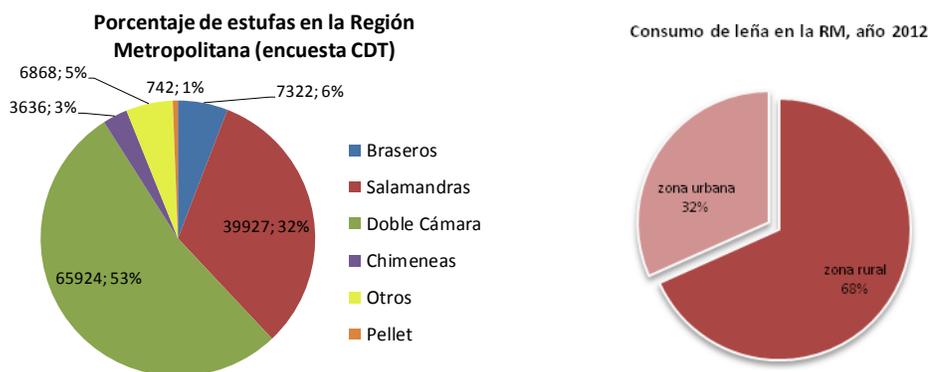


Figura 62. Porcentaje de calefactores y consumo de leña en la RM, 2012.

c) Implementar la prohibición total de uso de leña-biomasa en calefactores de zonas urbanas

En la misma línea que las anteriores, un tercer escenario fue asociado a una prohibición total del uso de calefactores a leña en las zonas urbanas de la Región Metropolitana, en el cual además el parque se permutó hacia calefactores en base a Gas Natural. Si bien, los programas de recambio a nivel internacional han dado buenos resultados²⁶, especialmente por la reducción en la demanda del uso de leña, promoción de combustibles limpios, y la disminución de los niveles de

²⁶ Strategies for Reducing Residential Wood Smoke. Publicación EPA-456/B-13-001.

contaminación intramuros, estos deben ser acompañados, imprescindiblemente, de normas y programas de mejoramiento térmico en viviendas. La comparación de los 3 escenarios se ilustra a continuación, destacándose el beneficio otorgado por un programa de reemplazo en zonas rurales, en cuanto a la cantidad de contaminantes evitado, y el costo total invertido.

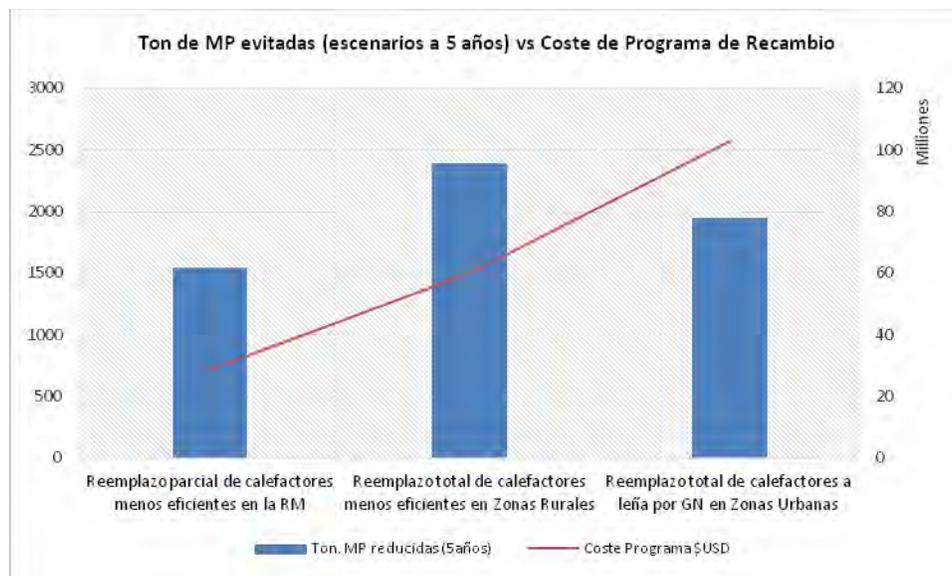


Figura 63. Comparación de los escenarios planteados por distintas medidas de recambio de calefactores a leña.

La prohibición del uso de leña-biomasa debe ser evaluada considerando que producirá la migración a combustibles fósiles u otras energías no renovables, que adicionalmente contribuyan con emisiones de gases de efecto invernadero. Por lo anterior, es relevante establecer mayores exigencias de aislación térmica a las nuevas viviendas e implementar instrumentos para promover el mejoramiento de las viviendas existentes.

2. Mejoramiento de la aislación térmica de las viviendas

De acuerdo a los antecedentes que dispone el Ministerio de Vivienda, más del 90% de las viviendas construidas en Chile no cumple ningún estándar de aislación térmica. Esta falta de aislación térmica determina demandas de energía muy altas para la zona climática donde se localiza la Región Metropolitana y empuja a las familias a elegir los combustibles de menor costo, que en general son los más contaminantes (leña, kerosene).

En esta línea, los planes de descontaminación donde la calefacción residencial tiene un aporte significativo a las emisiones de material particulado deben considerar el establecimiento de exigencias adicionales de aislación térmica a las nuevas viviendas. Para la Región Metropolitana se recomienda incorporar al menos dos exigencias en el plan de MP_{2,5}:

a) Reducción de la Demanda de Energía en Viviendas Nuevas

Viviendas nuevas que se construyan en la zona saturada deberán acreditar el cumplimiento de un estándar más exigente de aislación térmica, equivalente al 50% de la demanda energética que permite la norma actual. El detalle técnico de este estándar debe ser definido por el Ministerio de Vivienda.

b) Etiquetado de Calificación Energética de Viviendas Nuevas

Para toda vivienda nueva y edificaciones que se construyan en la zona saturada, será obligatorio obtener la Calificación Energética, la cual deberá ser presentada ante la Dirección de Obras Municipales respectiva, para obtener la recepción municipal definitiva. La calificación energética obtenida deberá ser exhibida, para información al público, en cada una de las viviendas o departamentos de los proyectos inmobiliarios al momento de la venta y será parte de la difusión.

3. Solventes de Uso Doméstico

Las emisiones residenciales son una fuente compleja de controlar, debido que depende del criterio, conciencia y educación de las personas ante cualquier actividad emisora de COV's, y por mucho que existan campañas de información es difícil llegar con el mensaje a todas las personas, es por esto que se recomienda que las medidas estén enfocadas a cambios en la composición de los productos. En este sentido, los productores y la sensibilidad de los consumidores tiene que enfocarse a la aceptación de la reducción de solventes o incluso productos libres de solventes. Es por esto que se aconseja la aplicación de Directiva aplicables a distintos productos de uso doméstico.

a) Directiva aplicable a cambio de propulsores sin COV's en spray y aerosoles.

Esta medida se focaliza en reemplazar los comunes propulsores en spray y aerosoles de COV's a gases inertes como CO₂ y N₂.

b) Directiva aplicable a cambio de composición baja en COV's en agentes de limpieza.

Al igual que para el caso de los spray y aerosoles se propone como medida la disminución del contenido de solventes en los productos de limpiezas del hogar, y como modelo a seguir se recomienda la DIRECTIVA 2004/42/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, 21 de abril de 2004, Relativa a la limitación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV)

La reducción de los solventes en productos para el hogar puede llevar a una disminución directa de problemas de salud, debido a las conocidas repercusiones negativas de los disolventes. Sin embargo, cada uno no debe dar lugar a la sustitución de una mejora en este sentido, y perjudicar en otros, ya que los sustitutos pueden crear otros problemas, por ejemplo, sustitutos soluble en

agua pueden crear problemas de contaminación del agua. Esto ha de resolverse en cada caso individualmente con la modificación de productos.

La aplicación de estas Directivas conllevan una inversión de US\$ 500/tonelada reducida, y una eficiencia de abatimiento del 38%, disminuyendo de 26.740 toneladas emitidas para el 2018 a 16.580 toneladas emitidas, una descripción detallada de tales medidas se entregan en el Anexo 1.

4. Pintado arquitectónico

Al igual que la actividad de uso de solventes doméstico la reducción de las emisiones de COV's pasan principalmente por la reducción de estos compuestos en la composición de los productos. La sustitución de pinturas con alto contenido de solvente por recubrimientos con bajo contenido de solvente y a base de agua puede reducir considerablemente las emisiones de este sector.

a) Utilización de pinturas con un máximo de 12% de solventes para pinturas de uso residencial.

El rendimiento de los recubrimientos a base de agua ha mejorado en los últimos años, y los consumidores han llegado a aceptar que el rendimiento de algunos recubrimientos a base de agua como equivalente al de los recubrimientos a base de solvente. Dado que los costos son similares, los usuarios toman su decisión basados en características de manejo, que son mejores los recubrimientos a base de agua que los recubrimientos a base de solvente. Actualmente, aproximadamente el 50% del recubrimiento utilizado, por el que lo puede hacer por su cuenta, es con bajo contenido de solvente, por su facilidad de aplicación, menos olor y la facilidad de limpieza de estos productos. Es por esto que la medida a recomendar es limitar el uso de contenido de solventes en los productos de pintado de uso residencial.

Esta medida se centra en cambiar o limitar la composición de disolventes orgánicos en las distintas pinturas utilizadas para usos domésticos con un máximo del 12 %, para esto se puede tomar como ejemplo la Directiva Europea 2004/42/CE, la cual limita las emisiones de COV's debido al uso de disolventes orgánicos en determinadas pinturas y barnices.

La evaluación de esta medida considera una inversión de US\$0,28 por cada habitante al año. Durante el periodo evaluado (5 años) son reducidas 4.405 Ton de COV's, el costo total del programa es US\$ 2.967.000, por lo tanto el valor de la tonelada reducida con esta medida es de US \$145.

Adoptar medidas que impliquen creación de norma o directivas pueden ser llevadas en un mediano plazo, alrededor de los 3 años.

Más detalle del análisis para esta medida se encuentra en el documento Anexo.

3.1.5 Medidas para la reducción de emisiones en el sector agropecuario.

La producción animal es la principal fuente responsable de las emisiones de NH₃ de la región (DICTUC, 2007); (USACH, 2014), uno de los precursores del MP_{2,5}.

Las medidas de mitigación y abatimiento de NH₃ presentadas en este capítulo están basadas en el contenido del documento “*Guidance document for preventing and abating ammonia emissions from agricultural sources*” presentado por el grupo de trabajo sobre nitrógeno reactivo de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (UNECE). Este documento resume las opciones de mitigación de NH₃ de primera categoría, de acuerdo al protocolo de Gotemburgo²⁷.

A continuación se presentan las medidas de mitigación y abatimiento de NH₃ propuestas.

1. Reducción de las proteínas en la alimentación animal.

Reducir el contenido de proteína cruda en las dietas es una de las medidas más costo-efectivas para reducir las pérdidas de NH₃. Para lograrlo se debe incrementar la proporción energía/proteína en las dietas de los animales. En el caso de los rumiantes se puede utilizar “*pasto viejo*” (pastos bien crecidos) y/o incorporar pastos de alta energía (como maíz ensilado).

Para los cerdos, esta medida implica formular dietas basadas sobre nutrientes digeribles incorporando suplementos aminoácidos con bajo nivel de proteínas. El contenido de proteína cruda en las raciones puede ser reducido si la cantidad de aminoácidos es optimizada a través de la adición de aminoácidos sintéticos como lisina, metionina, treonina o agregando componentes especiales.

En tanto para las aves de corral, el potencial para reducir el nitrógeno excretado es más limitado que en los cerdos. Una reducción del 1 o 2% puede ser alcanzada dependiendo de la especie y el punto de partida.

Dependiendo de los costos económicos, aplicar esta medida cuesta entre -2,5 y 2,5 US\$ por kg NH₃-N no emitido.

2. Sistemas de alojamiento.

Las técnicas para reducir las emisiones de NH₃ del ganado, en general se basan en reducir el área que se encuentra en contacto con el estiércol, absorción de la orina (por ejemplo a través de paja), remoción rápida de la orina, separación rápida de las heces y orina, reducir la velocidad del aire

²⁷ http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2012/EB/N_6_21_Ammonia_Guidance_Document_Version_20_August_2011.pdf

que se encuentra sobre el estiércol, reducir la temperatura del depósito de residuos, cubrir el estiércol e incrementar el campo de pastoreo.

Los sistemas de alojamiento para ganado deberán estar equipados con sistemas para permitir el drenaje de la orina a través de surcos con perforaciones ("*toothed scraper*"). Esto permite reducir las emisiones de amoníaco entre 25 y 46%. Además que una óptima climatización con aislamiento térmico en los techos y/o ventilación natural controlada provoca una reducción moderada de las emisiones debido a que disminuye las altas temperaturas y reduce la velocidad del viento.

En el caso de los cerdos, el uso de suelo parcialmente emparrillado o con rejillas (*slatted floors*) metálicas o de plástico recubierto (aproximadamente 50% del área) permite que los residuos se filtren más rápidamente hacia los pozos, reduciendo las emisiones de NH₃. Se propone también remover frecuentemente el estiércol (lodo líquido) a un depósito de estiércol, utilizando sistemas de descargas y tratamiento del aire a través de lavadores de gases (*acid scrubbers*) o biofiltros certificados (*biotrickling – trickling filters*) instalados en los sistemas de ventilación.

3. Almacenamiento de estiércol.

Después de remover el estiércol de los alojamientos de animales, este es comúnmente guardado sobre concreto, tanques de acero o silos, o en una laguna de tierra (con superficie impermeable). Las emisiones de los depósitos de estiércol pueden ser reducidas, disminuyendo o eliminando el flujo de aire alrededor de la superficie o reduciendo el área superficial por unidad de volumen.

Una de las mejores técnicas de abatimiento, consiste en cubrir los depósitos con una carpa, techo o estructura. La aplicación de estas técnicas a depósitos existentes depende de sus características. Es importante también considerar algún tipo de ventilación que permita prevenir la acumulación de gases inflamables como el metano.

Más detalles sobre estas medidas y su potencial de mitigación se pueden encontrar en el documento Anexo.

3.1.6 Medidas para la reducción de emisiones en el sector comercial.

1. Distribución de combustible

El sub-sector de distribución de combustible según el informe de seguimiento del PPDA 2011 (MMA, 2012) presenta un porcentaje de avance de un 88% con respecto a las medidas presente en tal plan, no obstante de acuerdo al informe "Consultoría para el apoyo e implementación de nuevas medidas del PPDA en transportes y combustibles" (FCFM, 2008) existen grandes inconsistencias en lo exigido en el PPDA y lo que realmente ocurre. En tal informe se constató mediante pruebas que los SRV en las estaciones de servicio en la RM no cumplían con el correcto funcionamiento, por ende independiente que las exigencias en el PPDA estén establecidas, no existe en la práctica una correcta instalación y funcionamiento de los SRV. Debido a esto se presentan las siguientes medidas a considerar.

- Implementación de sistemas de recuperación de vapores en todas las estaciones de servicio.
- Implementación de SRV en camiones cisternas además de la elaboración de protocolos para evaluar y fiscalizar los sistemas de captura y recuperación de vapores en tales camiones.
- Implementación de SRV en las islas de carguío de camiones en el terminal de combustible de Maipú, además de la elaboración de protocolos para evaluar y fiscalizar los sistemas de recuperación de vapores en las islas de carguío y plantas de recuperación de vapores.

De las medidas recién nombradas se evaluó la implementación de sistemas de recuperación de vapores en estaciones de servicio. Se considera un costo de tecnología de recuperación de vapores de US\$32.500 por cada estación de servicio. El costo total del programa es US\$37.127.105, por lo tanto el valor de la tonelada reducida con esta medida es de US\$1.010.

Estas medidas se deben implementar a la brevedad debido a que los estudios de diseño ya se han realizado, y corresponden sólo a medidas mal implementadas por las distintas empresas ya identificadas.

Para mayor detalle de la evaluación de esta medida ver Anexos.

2. Artes Gráficas

El sub-sector artes gráficas es una actividad de relevancia en emisiones de COV's, corresponde a la principal fuente comercial emisora.

Debido a que la mayoría corresponden a microempresas, medianas y pequeñas las cuales no están en la categoría de fuentes puntuales si no que en fuentes areales, no controlan sus emisiones por medio de tecnologías de abatimiento y no implementan las mejores prácticas según el informe *"Diagnostico del sector imprentas, como base para proponer un acuerdo de producción limpia"* (ASIMPRES, 2008). Es por esto que las medidas propuestas consideran el reemplazo del contenido de solventes en tintas con un máximo de un 30%, además de la incorporación de las tecnologías de incineración catalítica y absorción con carbón activado.

La evaluación de estas medidas consideró un costo de inversión por tecnología de USD \$3.500 además de la utilización de tintas bajas en solventes con un costo aproximado de 500 USD \$ por tonelada reducida. Durante el periodo evaluado (5 años) son reducidas 20.000 Ton de COV's, el costo total del programa es USD \$ 80.000.000, por lo tanto el valor de la tonelada reducida con esta medida es de USD \$1.000. Más detalle de la evaluación de estas medidas ver Anexo.

Para este sub-sector se debe comenzar con medidas de levantamiento de información, para comenzar con una identificación, revisar su estado y realizar un diseño de medidas acorde a los

diferentes tipos de fuentes, este tipo de medidas y su maduración puede llevar años para su correcta implementación.

3. Pintado de vehículos

Para este sub-sector se promueve adoptar las medidas de:

- Mejorar la eficiencia de aplicación en pintado de vehículos, con pistolas a alta presión (HVLP)
- Cambiar a productos bajos en solventes para pintado de vehículos

Se considera un costo por medidas adoptadas de USD \$807 por cada taller de la categoría pequeña de pintado de vehículos y un costo de USD \$1.500 para talleres medianos. El costo total del programa es USD \$394.630, por lo tanto el valor de la tonelada reducida con esta medida es de USD \$130.

Si bien no existe la información de consumo de pinturas detallado por sector ni por la base de su elaboración, se cree que en la mayoría de ellos abundan las malas prácticas y uso de pintura en base a solvente. Es por esto que como medida adicional se sugiera realizar un levantamiento de información con respecto a este sub-sector, para identificar las fuentes, conocer las prácticas habitualmente realizadas y generar medidas específicas de reducción, este tipo de medidas se consideran que pueden ser abordadas a un largo plazo superado los 5 años, debido que se debe realizar en un principio un diseño y luego evaluar la tal implementación. Más detalle de la evaluación de estas medidas ver Anexo 1.

4. Aplicación de Asfalto

Este sub-sector es uno de los más desconocidos, poco se sabe de las prácticas realizadas, y de la composición de las mezclas utilizadas. Principalmente para esta actividad se necesita como primera medida disponer de la información relevante, como por ejemplo prácticas realizadas en la aplicación de asfalto, composición de los solventes utilizados y actividades de secado. Con esta información se puede gestionar medidas acordes con la actividad, que pueden ir en prácticas más eficientes de aplicación hasta alternativas en los solventes utilizados, por ejemplo de solventes con un alto contenido de compuestos orgánicos volátiles hasta algunos con un alto porcentaje de agua.

Las medidas de reducción para este sub-sector es a largo plazo debido que inicialmente se debe levantar información, luego diseñar un programa de medidas específicas a las actividades realizadas y su posterior implementación.

5. Control de Emisiones de Percloroetileno en Lavasecos

Este sub-sector al igual que la aplicación de asfalto es desconocido, no existe información del número de fuentes ni prácticas empleadas. Según encuesta realizada por CENMA 2010, en la Región Metropolitana hay sólo 67 lavasecos publicados en las páginas amarillas, y sólo 1

corresponde a una cadena con más de 350 trabajadores, si esto se compara con la importación de percloroetileno, el principal solvente utilizado en este rubro que asciende las 1300 ton/año y las emisiones reportadas por este sector que no superan las 500 ton/año, se deja en manifiesto lo subestimada que está esta actividad.

A nivel nacional no existen regulaciones de ningún tipo para esta actividad, ni para el tipo ni uso de solvente, ni para las prácticas realizadas, debido a esto como primera medida se precisa un levantamiento de información y posteriormente la elaboración de medidas específicas. Para este informe se evaluó la principal medida implementada en la unión europea, la cual consta de la incorporación de sistema de captura por carbón activado, se considera un costo por medida adoptada de USD \$5.600 por cada lavaseco al año. Durante el periodo evaluado (5 años) son reducidas 324 Ton de COV's, el costo total del programa es USD \$432.000, por lo tanto el valor de la tonelada reducida con esta medida es de USD \$800.

6. Otros Emisores de COV

Los restaurantes y locales de comida rápida son una fuente de COV's que a la actualidad no han sido incluidas en el inventario de emisiones y por ende en el plan de descontaminación. Según inventarios internacionales esta fuente se categoriza como *mediana fuente de COV's*, estando por debajo de la distribución de combustibles, artes gráficas y pintado de vehículos.

En Chile no existe a la fecha ningún registro a parte del registro comunal de patentes, que clasifique a estos establecimientos por tipo de comida, combustible utilizado y hornos o parrillas empleadas, información fundamental para estimar los contaminantes emitidos. Por lo tanto dentro de las medidas urgentes para estas fuentes emisora es hacer un catastro de todas las fuentes existente con la clasificación de tipo de comida, tipo de combustible y artefactos a utilizar para su cocción, además del nivel de actividad, que corresponden para una estimación sencilla a número de empleados hasta Kg de comida preparada, y de esta manera generar la información de emisión de esta fuente y posteriormente generar las medidas de mitigación. Es por esto que como medida primaria para este sub-sector es el levantamiento de información para identificar, diagnosticar, categorizar y posteriormente desarrollar un diseño que permita crear medidas específicas de reducción para las distintas clasificaciones de restaurantes.

Con respecto a las normativas para calidad de aire en los COV's es bastante compleja debido al gran número de especies químicas involucradas y a que las técnicas de muestreo y análisis aún representan un alto costo y cierta complejidad. Otro aspecto que dificulta el estudio y control de los COV es la gran variedad de fuentes involucradas.

En los Estados Unidos, a pesar de que se realizan mediciones de COV en muchas ciudades, no constituyen por sí mismos un parámetro de calidad del aire, debido a la diversidad de sus especies, de sus propiedades tóxicas y de su alta reactividad La Unión Europea establece mediante *Directiva 2002/3/CE* a todos sus países asociados un máximo permisible de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sólo para benceno, con el fin de proteger la salud de la población, tiempo promedio de muestreo de 1 año, concordando

con el mismo valor límite propuesto por la EPA en 1998. Japón establece una medida menos exigente de 3 mg/ m³.

De acuerdo a la experiencia internacional se propone establecer la siguiente medida.

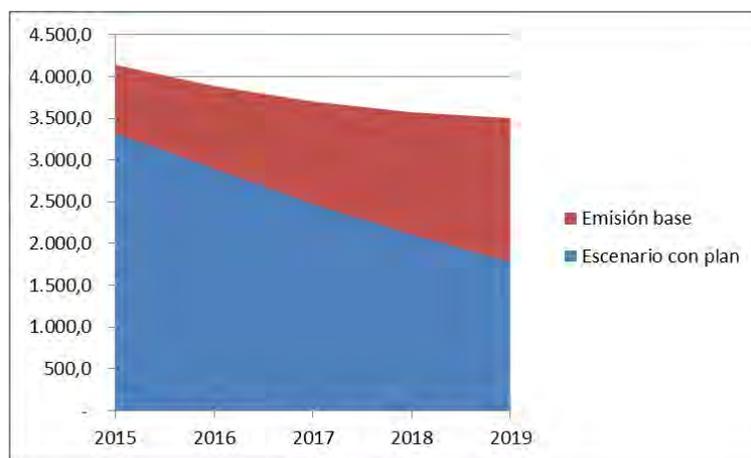
Tabla 10: Medida de norma de calidad para Benceno

Nombre de Medida	Norma de calidad de aire para Benceno
Descripción	Norma de calidad de aire para Benceno, estableciendo a máximo permisible de 5 µg/m ³ en un tiempo de muestreo de 1 año.

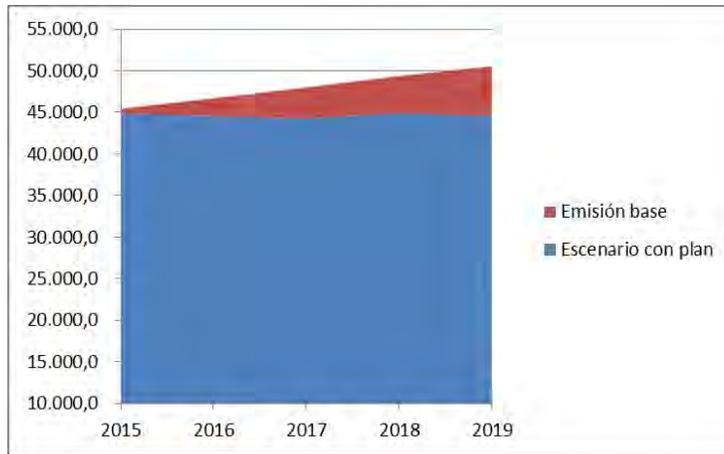
3.2 Prioridades dentro de las líneas de acción

Se presenta a continuación la evaluación de las medidas mediante curvas marginales de abatimiento. La evaluación corresponde a la estimación y comparación de los costos marginales de abatimiento y de la magnitud de reducción esperada para un periodo de cinco años por cada contaminante. Hay medidas que reducen más de un contaminante; en estos casos se presentan independientemente los costos marginales para cada uno de los contaminantes.

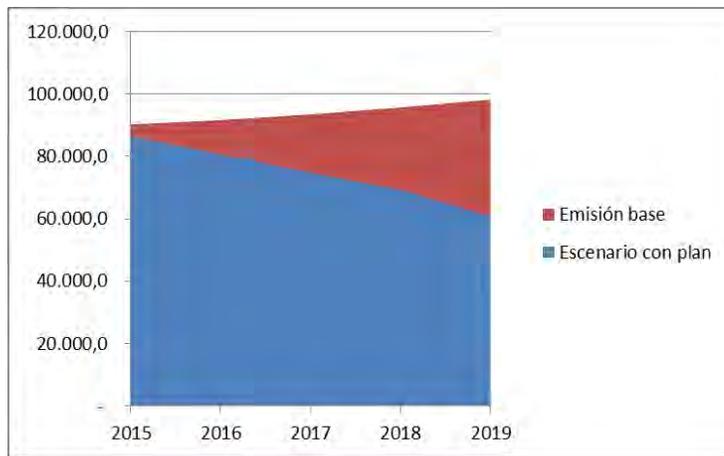
El objetivo de la evaluación es identificar las medidas más efectivas por contaminante. No todas las medidas son alternativas entre ellas, porque de acuerdo a lo señalado en el capítulo 3.2 Definición de Metas de Reducción, se necesita una reducción importante de emisiones para restablecer la calidad del aire por MP_{2,5}. Como se puede observar en las figuras siguientes, al año 2019 sólo se pueden obtener reducciones importantes para el MP_{2,5} directo (50%). En COVs también se estima una reducción significativa (30%) pero el beneficio en calidad del aire es más incierto por la complejidad de los procesos de formación del aerosol orgánico secundario (SOA).



Estimación de reducción de emisiones de MP_{2,5} directo [ton/año].



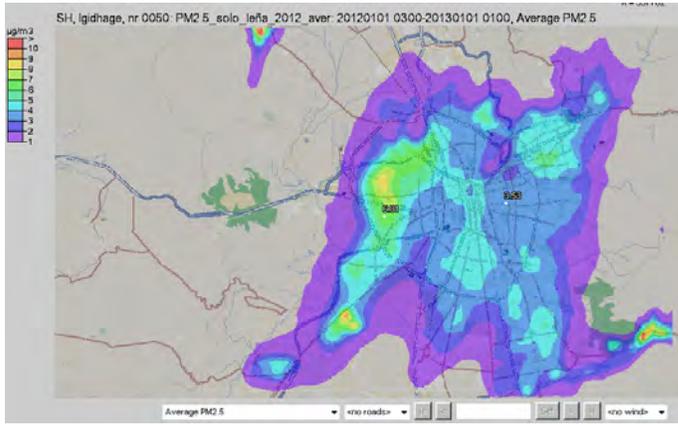
Estimación de reducción de emisiones de NOx [ton/año].



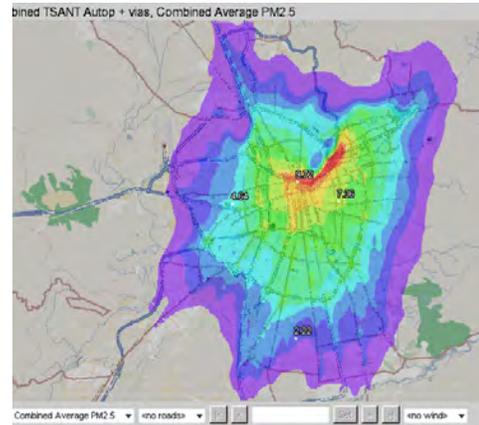
Estimación de reducción de emisiones de COVs [ton/año].

Las reducciones de NOx son marginales (12%) porque la fuente más importante es el transporte, donde pesan mucho los camiones. Las medidas incorporan retiro de los vehículos de carga más antiguos, pero se han asumido tasas de penetración conservadoras porque las experiencias nacionales e internacionales demuestran que este es un sector donde los programas de renovación de flota han tenido escaso éxito.

Otro aspecto a tener presente en la interpretación de las curvas de costos marginales de abatimiento es la importancia del lugar donde se ubiquen las fuentes de emisión afectadas por las medidas, porque fuentes con grandes emisiones en zonas rurales significan un riesgo menor en salud que las emisiones de fuentes menores pero ubicadas en zonas densamente pobladas. Este último caso aplica para la reducción de emisiones de combustión de diesel en comparación al impacto de la leña, como se puede observar en la figura siguiente.

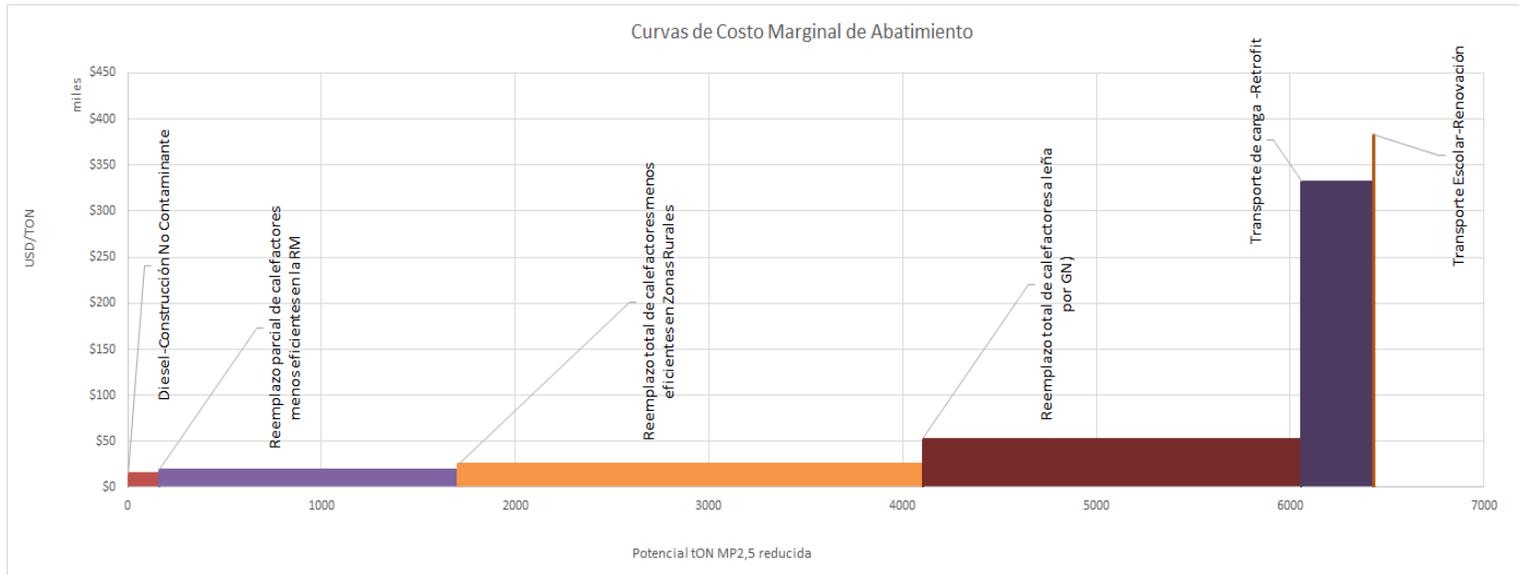


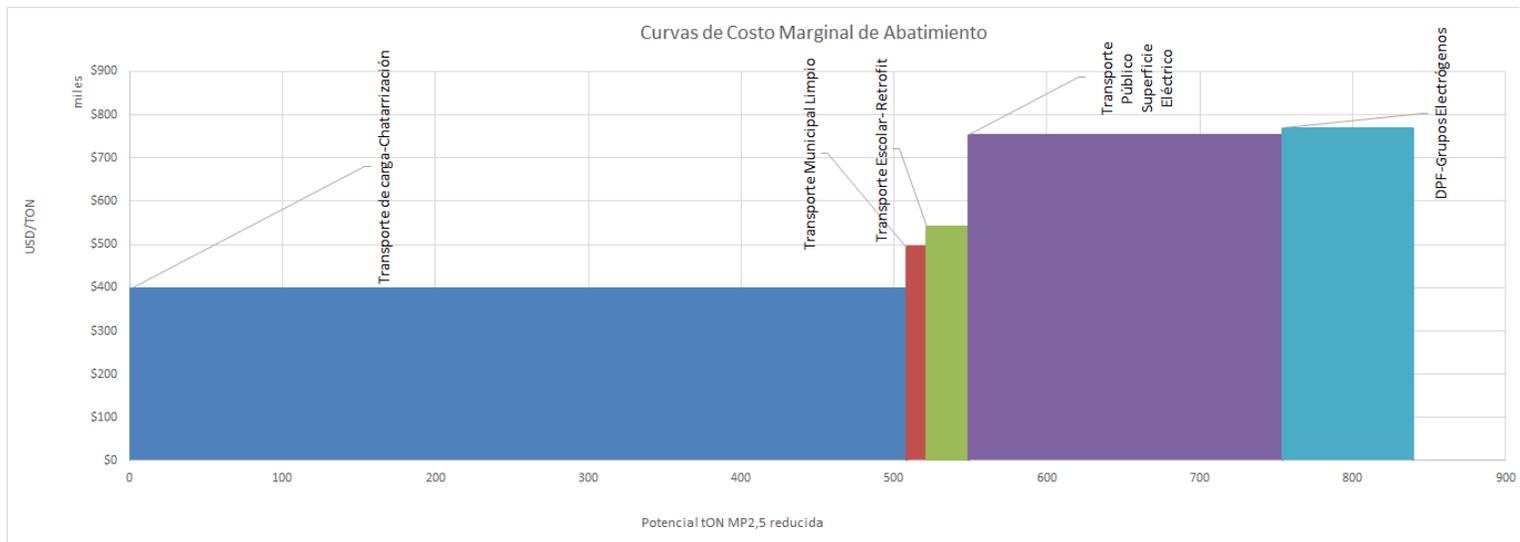
Impacto promedio invierno 2012 de las emisiones de MP_{2,5} directo la calefacción a leña en zona urbana de Santiago (color celeste muestra impacto a partir de 4 µg/m³).



Impacto promedio invierno 2012 de las emisiones de MP_{2,5} directo del transporte en la zona urbana de Santiago.

Curvas de costos abatimiento de MP_{2,5} directo



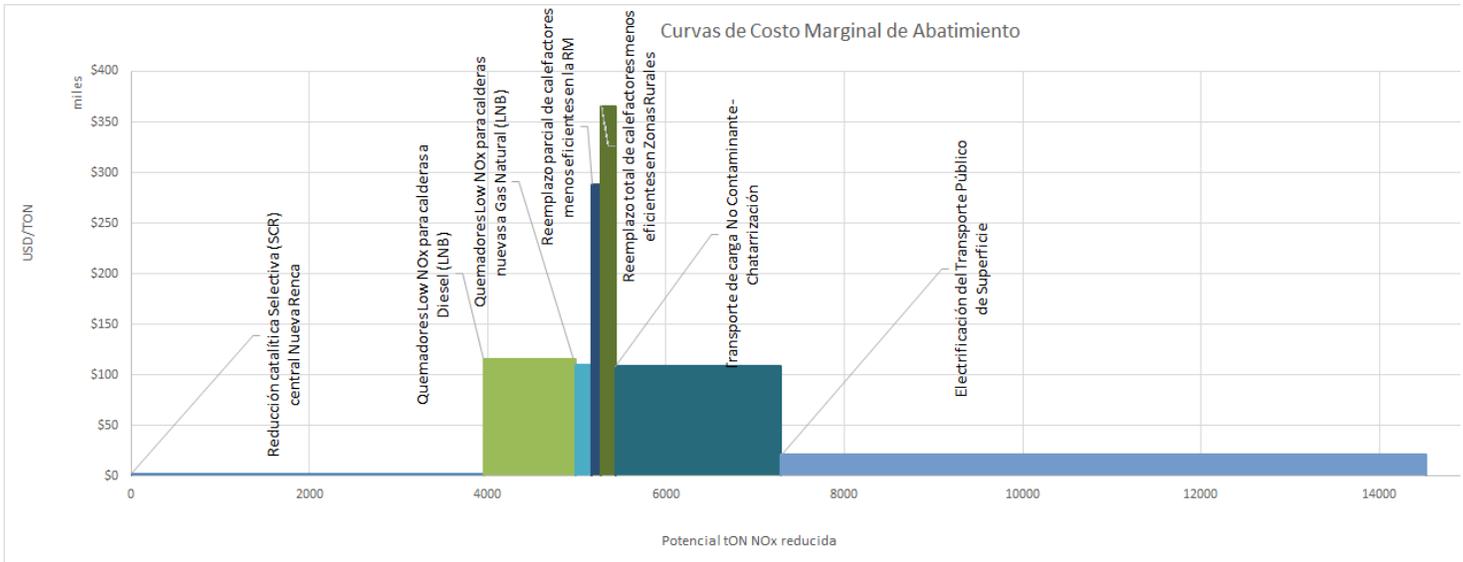


Para el control de las emisiones directas de MP_{2,5} se han evaluado 11 medidas, tres de ellas relacionadas con el control de la calefacción a leña y las restantes relacionadas con el control de las emisiones del uso del diésel en el transporte y la generación eléctrica. Es prioritario el control de las emisiones de la quema de leña, porque se pueden obtener reducciones significativas a costos menores a 52.000 US\$ por tonelada. Dentro de estas medidas la mayor reducción se obtiene mediante el reemplazo de calefactores menos eficientes en zonas rurales por calefactores a leña certificados junto con la sustitución de la leña por gas natural dentro de la zona urbana de Santiago.

La reducción de emisiones diesel presenta costos mayores, pero como se mencionó anteriormente, su aporte se concentra en la zona urbana, implicando un mayor riesgo para la población. Estas medidas son de tres tipos: chatarrización de vehículos obsoletos, incorporación de filtros de partículas e introducción de movilidad eléctrica.

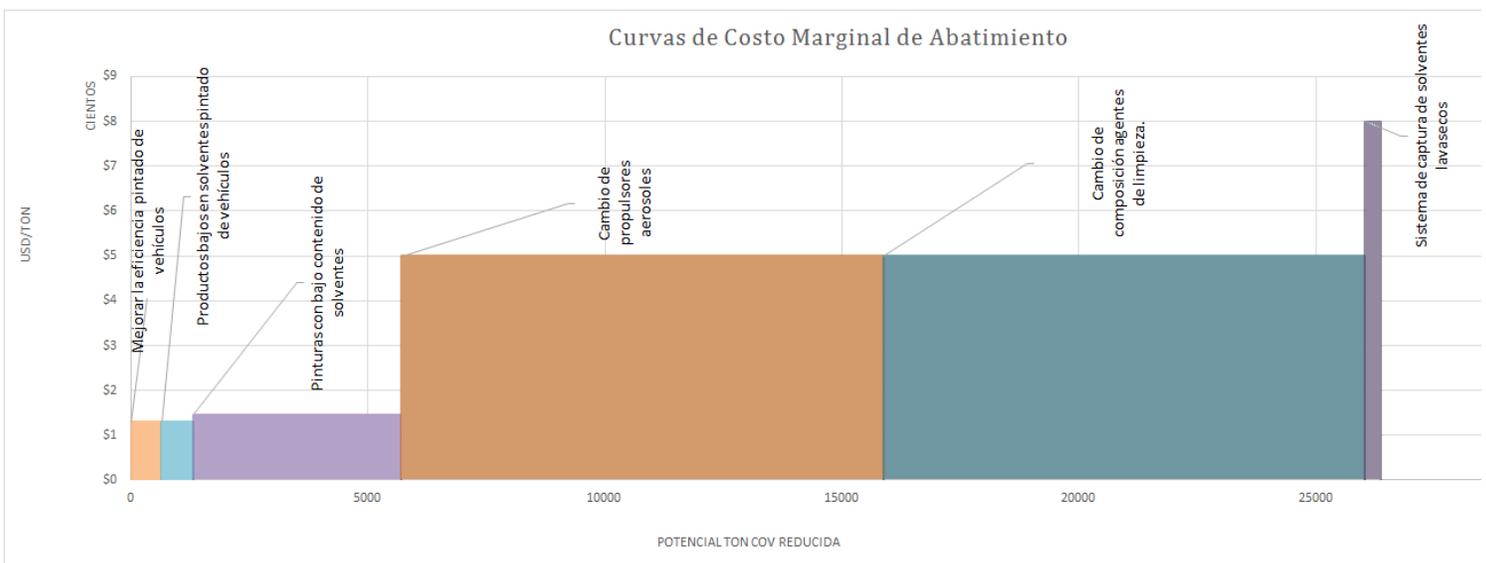
La chatarrización de camiones presenta simultáneamente reducciones importantes de MP_{2,5} directo y de NO_x. Sus costos de reducción de MP_{2,5} directo son los más bajos dentro de las medidas que abaten emisiones diesel. Las medidas de incorporación de filtros tienen costos por sobre los 300.000 US\$ por tonelada abatida, a diferencia de la chatarrización no aportan reducción de NO_x.

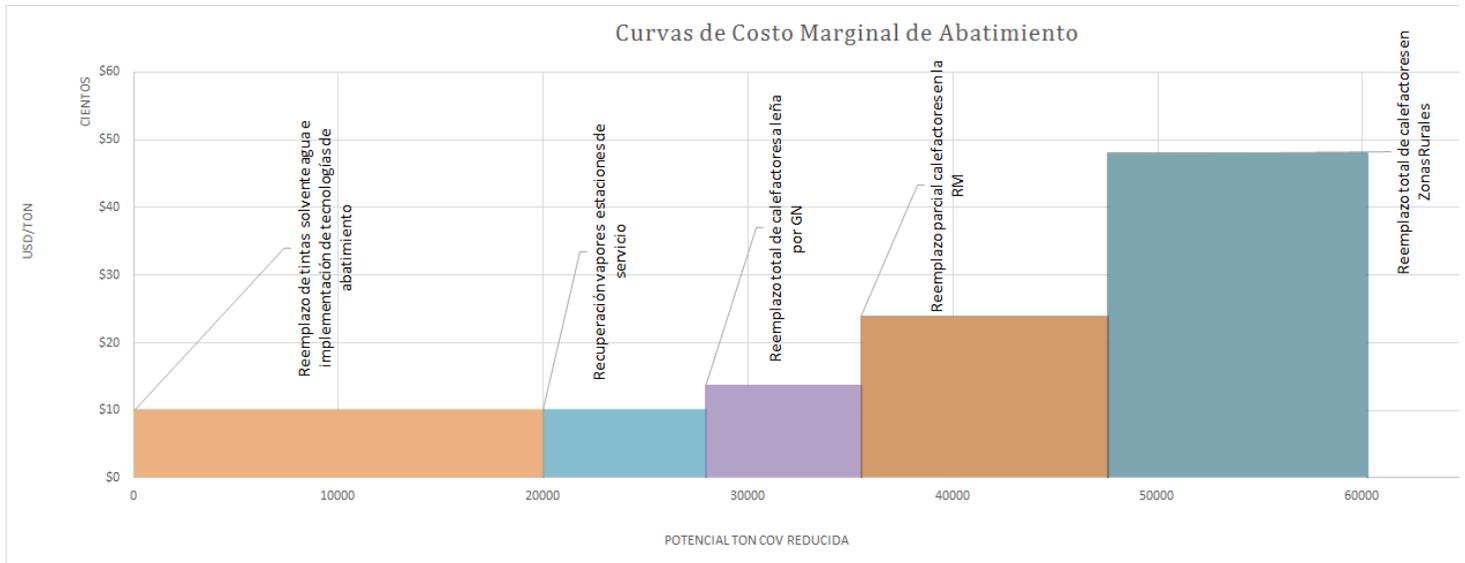
Curvas de costos abatimiento de NOx



Las alternativas para reducir NOx son más escasas que para los otros precursores de MP_{2,5}, existiendo sólo cuatro medidas con un gran potencial de abatimiento: introducción de movilidad eléctrica en el transporte público, incorporación de SCR en centrales termoeléctricas de gas natural, la chatarrización de camiones obsoletos y la incorporación de quemadores *Low NOx* en calderas industriales y de calefacción.

Curvas de costos abatimiento de COVs





Observar que ambas figuras tienen distintas escalas.

Las dos medidas más efectivas corresponden a normas de productos: la exigencia de que los productos aerosoles domésticos y agentes de limpieza usen propelentes sin COVs. Estas son medidas con una dificultad de implementación relativamente menor, ya que depende de una facultad que el Ministerio de Salud ha aplicado en otras oportunidades para regular el mercado de productos de consumo que representan un riesgo para la población.

Las medidas de recambio de calefactores en zonas rurales y prohibición de uso de leña en la zona urbana de Santiago tienen co- beneficios importantes en la reducción de $MP_{2,5}$ directo y en COVs.

A continuación la medida más efectiva es la mejora de los sistemas de recuperación de vapores de gasolinas en estaciones de servicio, que corresponde a la cabal implementación de lo que estaba exigido en el PPDA 2009 y que demuestra un alto nivel de incumplimiento por parte de las empresas distribuidoras de combustibles.

3.3 Recomendación de estrategias de corto y largo plazo que permitan garantizar la calidad del aire en un plazo determinado.

De acuerdo a lo exigido por los términos de referencia, se presentan a continuación las medidas de corto y largo plazo agrupadas por línea de acción.

En la tabla siguiente se presentan las medidas del capítulo 3.4 agrupadas en ocho líneas de acción. 4 medidas de control de COVs se han fundido en 2, dado que afectaban al mismo tipo de fuente.

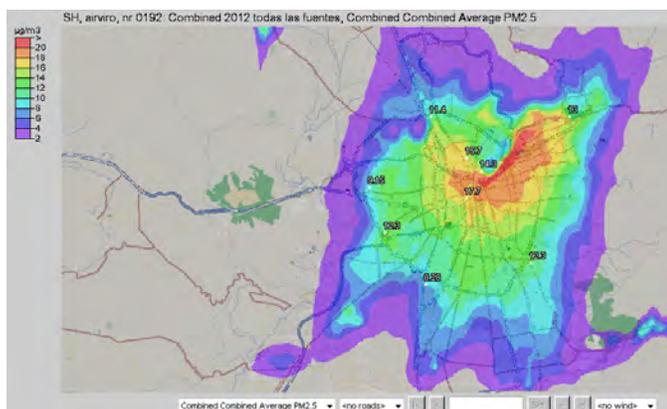
Línea de acción	Medida
Programa regional de diesel limpio	Transporte Escolar No Contaminante
	Transporte de Carga No Contaminante
	Construcción No Contaminante
TPU eléctrico y promoción automóviles más eficientes	Impuestos para automóviles más ineficientes
	Red de trolebuses y buses eléctricos en Transantiago
Reducción de emisiones de MP y NOx del sector industrial	Programa de reducción de emisiones para grupos electrógenos de respaldo
	Reducción de las metas de emisión de MP mayores emisores.
	Norma de emisión de MP en procesos industriales
	Norma de NOx para centrales termoeléctricas (SCR)
	Norma de emisión para calderas industriales
	Exigencia de mejor tecnología disponible para NOx en procesos
	Instalación de quemadores Low NOx (LNB) para calderas a Gas Natural
Cambio de criterios de paralización de la industria	
Control de quema de leña residencial	Prohibición calefactores leña en Stgo
	Recambio de calefactores de leña en zonas rurales a calefactores certificados
	Recambios de calefactores en toda la RM a calefactores certificados
Control de emisión de COVs residencial	Directiva aplicable al uso de solventes domésticos
	Pinturas con un máximo de 12% de solventes para pinturas de uso residencial
Reducción de emisiones de COVs industrial	Reemplazo de tintas y control de emisiones en artes gráficas
	Tecnologías de abatimiento en rotograbado y flexografía
	Mejorar la eficiencia de aplicación en pintado de vehículos
	Cambiar a productos bajos en solventes para pintado de vehículos
Reducción de emisiones de COVs comercial	Sistemas de Recuperación de Vapor en todas las estaciones de servicio
	Incorporación de sistema de captura de solventes para lavasecos
Reducción de emisiones agropecuarias	Programa regional de diesel limpio - Agricultura No Contaminante
	Tratamiento, manejo y aplicación de estiércol
	Manipulación de la dieta de animales en grandes planteles industriales

Se han incorporado las dos medidas de largo plazo de mayor importancia de acuerdo a la evaluación presentado en el capítulo 3.7. Estas medidas son la promoción de vehículos más eficientes y la incorporación de sistemas de gestión de la energía en la industria. Para la promoción de vehículos más eficientes se recomienda la ampliación del impuesto adicional al rendimiento de los vehículos diesel contemplado en el proyecto de Ley de Reforma Tributaria, a los vehículos a gasolina con rendimientos inferiores a 13 km/lt. La promoción de los sistemas de gestión de la energía se debe efectuar mediante la excepción de paralización de fuentes industriales de los establecimientos que cuenten con certificación ISO 50.001, tal como se presenta en las medidas para las fuentes industriales en el capítulo 3.4.

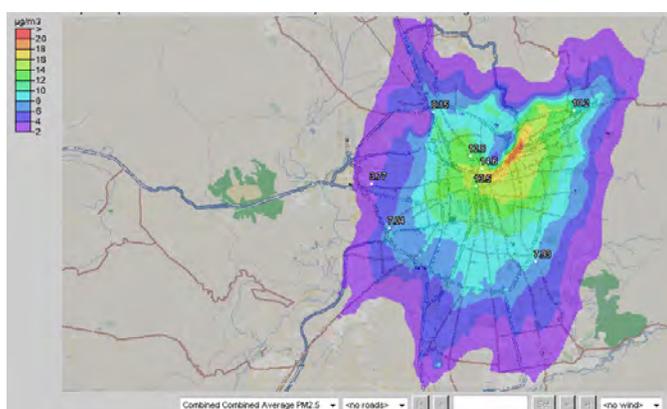
Este conjunto de medidas de corto plazo reducen al año 2019 las emisiones directas de MP_{2,5} en un 50%, las emisiones de NOx en un 12% y las COVs antropogénico en un 30%.

3.3.1 Beneficios en calidad del aire

En las figuras siguientes se presentan los impactos promedio anuales comparados de las emisiones directas de $MP_{2,5}$ del año 2012 y las estimadas para el año 2019 resultado de la aplicación de las medidas comprendidas en la estrategia de corto plazo.



Impacto promedio de las emisiones directas $MP_{2,5}$ invierno 2012



Impacto promedio de las emisiones 2019 con meteorología de Junio de 2012

Se estima una reducción promedio anual de $3,3 \mu g/m^3$ de $MP_{2,5}$ directo en las 9 estaciones de la Red MACAM2, considerando una meteorología similar a la observada el año 2012. En el caso de la estación Parque OHiggins, que es la de registro histórico de la calidad del aire de Santiago, se estima una reducción de $5 \mu g/m^3$.

La reducción de emisiones de NO_x puede significar una reducción marginal del promedio anual de los aerosoles inorgánicos secundarios (SIA), del orden de 1 o $2 \mu g/m^3$.

De acuerdo a los antecedentes presentados en el capítulo 3.2 Metas de Reducción de Emisiones, las concentraciones promedio de invierno del $MP_{2,5}$ están compuestas en un 50% por aerosoles secundarios, dominado por los orgánicos. Por lo tanto, la aplicación de la estrategia de corto plazo podría significar una reducción de $MP_{2,5}$ del orden de 6 a $8 \mu g/m^3$ en promedio en las estaciones de la Red MACAM2. Esta es una estimación preliminar que podrá ser mejorada a medida que se

avance más en el estudio de los procesos de formación de aerosoles en la Macro Zona Central, en especial en el caso de los aerosoles organicos secundarios (SOA).

3.3.2 Costos de implementación de la estrategia de corto plazo

Se presentan en la siguiente tabla los costos estimados para la aplicación de las 26 medidas incluidas en la estrategia de corto plazo (5 años). El monto total de gasto requerido en los cinco años de aplicación es de 788 millones de US\$, con un 45% de responsabilidad del Estado.

Línea de acción	Costo [US\$]	Estado [US\$]	Privados [US\$]
Programa regional de diesel limpio	234.392.297	114.278.850	120.113.447
Electrificación del Transporte Público	154.482.082	154.482.082	
Reducción MP/NOx en la industria	108.154.000	19.723.050	127.877.050
Control de quema de leña residencial	163.364.881	60.463.179	102.901.702
Control de COVs residencial	5.000.000		8.000.000
Reducción COVs en industria	80.395.000		80.395.000
Reducción COVs del sector comercial	37.120.000		37.120.000
Reducción emisiones agropecuarias	5.051.147	5.051.147	
Total	787.959.407	353.998.308	476.407.199

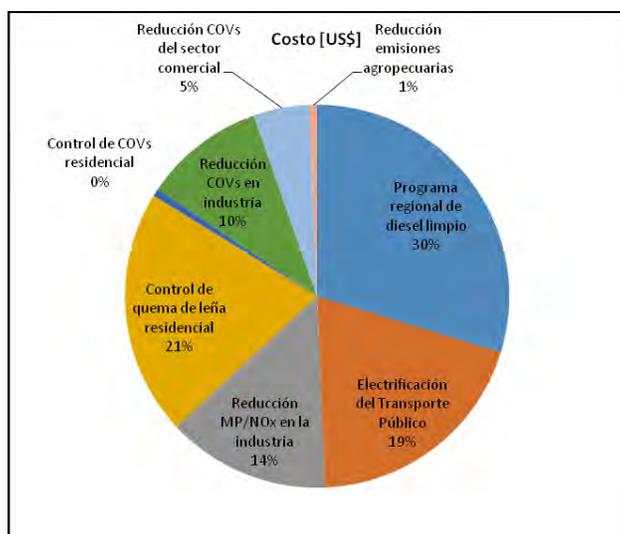


Figura 64. Costo sectorial para implementación de estrategia a corto plazo.

3.3.3 Financiamiento del Plan de Descontaminación

El principio de “Quién Contamina Paga” consignado en la Ley de Medio Ambiente, entendido como la exigencia del porte de recursos para la transformación tecnológica de las fuentes de contaminación a sus propietarios, ha sido aplicado indirectamente en la descontaminación de la ciudad de Santiago. Basándose en este principio, se propone la aplicación de tributos a las

mayores fuentes regionales de emisión, con el objetivo de recaudar los fondos necesarios para el financiamiento de las actividades propuestas para el plan de descontaminación de MP_{2,5} que son de responsabilidad del Estado.

En las últimas tres décadas, a lo largo del proceso de descontaminación de Santiago, el Estado ha asumido indirectamente el principio “Quien Contamina Paga” con éxito en dos ámbitos de su responsabilidad: la inversión de más de 600 millones de dólares en la mejora ambiental experimentada por los combustibles mediante la transformaciones de las refinerías de ENAP, y en la mejora del sistema de transporte público de Santiago, comenzando con el fondo de 10 millones de US\$ creado el año 1990 para retirar los buses obsoletos y llegando ahora al subsidio de la operación del Transantiago, que cubre parte de los impactos económicos que ha significado la mejora sostenida de la flota de buses.

En el caso del sector privado este principio ha sido aplicado como consecuencia indirecta de la exigencia de normas a actividades existentes o a nuevos productos que se comercializan en la región y que tienen impacto en la calidad del aire, como los vehículos y los calefactores a leña.

El proyecto de Ley de Reforma Tributaria en discusión en el Congreso Nacional desde el 1 de abril del presente año ha incluido por primera vez impuestos a las emisiones de contaminantes, que es una aplicación directa del principio “Quien Contamina Paga”. Estos impuestos son de dos tipos: impuestos a las emisiones de GEI e impuestos a las emisiones de contaminantes locales. En el segundo tipo el monto del impuesto está determinado en relación al impacto en salud que implican en la comuna(s) donde se emplaza una fuente emisora.

La metodología definida por el proyecto de Ley para la estimación del monto del impuesto se basa en un “factor emisión – concentración” que es útil en zonas en las cuales no existe información suficiente para la aplicación de modelos de calidad del aire. En el caso de la Región Metropolitana el Ministerio de Medio Ambiente dispone de información suficiente para sustituir los factores emisión – concentración por una estimación del impacto directo en calidad de aire de las fuentes de emisión, al menos para contaminantes primarios.

El proyecto de Ley restringe la aplicación del impuesto a las grandes fuentes térmicas, lo que en una visión global del país es apropiado, pero este instrumento tiene un gran potencial de aporte a los planes de descontaminación que se aplican en zonas saturadas por contaminación atmosférica, al menos en las cuales existen fuentes de gran tamaño con responsabilidades claramente identificables.

Se presenta a continuación una evaluación de la aplicación de un impuesto a las emisiones locales basado en el diseño general propuesto en el Proyecto de Reforma Tributaria, pero adaptado a la Región Metropolitana en base a los siguientes cambios:

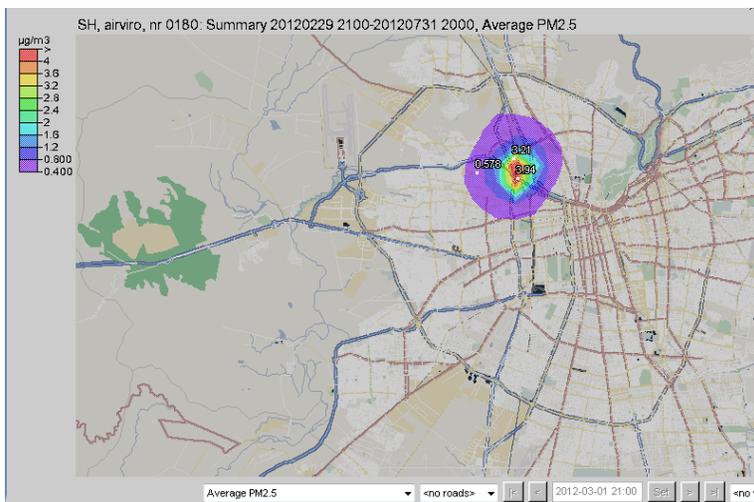
- Aplicado a las fuentes industriales definidas formalmente por el plan de descontaminación vigente como “Grandes Emisores”, tanto para MP como para NOx;²⁸
- Incorporando fuentes asociadas a las emisiones del transporte con titulares claramente identificables;
- Definiendo el monto del impuesto aplicable a partir de la estimación de impactos determinado por modelación de calidad del aire.

Es importante tener presente que estas estimaciones son preliminares debido a que la información de emisiones no es apropiada. De acuerdo a las prácticas internacionales las fuentes de mayor tamaño categorizadas como Grandes Emisores en la Región Metropolitana debieran tener monitoreo continuo de emisiones. Para algunas de ellas ya ha sido exigido por el plan de descontaminación vigente, pero la información aún no está disponible. Para las fuentes industriales de las cuales la SEREMI de Salud dispone de información sobre variables de proceso, como consumos de combustibles o materias primas, se han empleado factores de emisión de literatura internacional. Para las fuentes en que no se dispone de información operacional se han utilizados los resultados de los muestreos isocinéticos medidos a plena carga registrados por el SEREMI de Salud.

Determinación del impuesto para grandes emisores industriales:

Fuente Gran Emisor 1:

Corresponde a una fuente emplazada en la comuna de Renca, se presenta a continuación el impacto promedio modelado para el período de marzo a agosto del 2012. Se asume este impacto como el impacto promedio anual. Se ha empleado modelación gaussiana de las emisiones directas de MP_{2,5}.

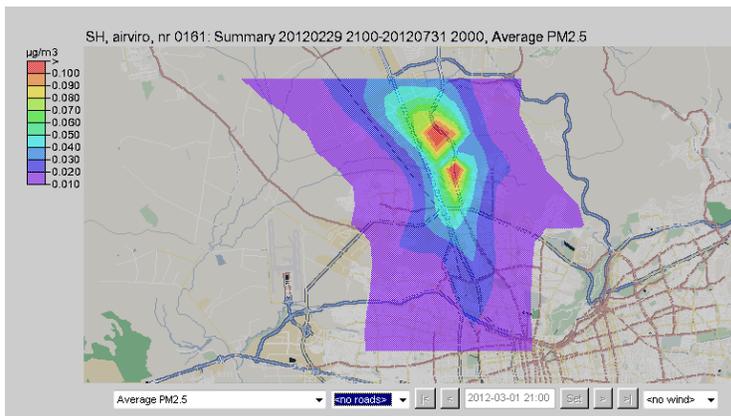


A partir de la modelación se asume un impacto promedio de 3,5 µg/m³ en un quinto de la superficie de la comuna de Renca y un impacto de 0,6 µg/m³ en un tercio de la comuna. A partir de las estimaciones del costo del daño por MP_{2,5} determinado por el Ministerio de Medio Ambiente para cada comuna del Gran Santiago, se calcula un daño anual en salud de 1,4 millones de US\$.

²⁸ Para la estimación de los montos de impuestos para la Región Metropolitana, se consideran como grandes emisores 123 fuentes industriales.

Fuente Gran Emisor 2:

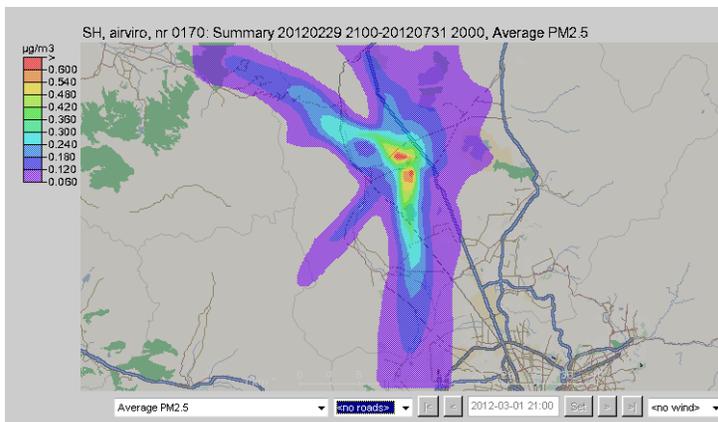
Corresponde a una fuente emplazada en la comuna de Quilicura. Las condiciones consideradas para la modelación son las mismas que para la fuente anterior.



A partir de la modelación se asume un impacto promedio de $0,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la comuna de Quilicura y un impacto de $0,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ la comuna de Renca. A partir de esta información se estima un impacto anual en salud de US\$ 88.000 por emisiones directas de $\text{MP}_{2,5}$.

Fuente Gran Emisor 3:

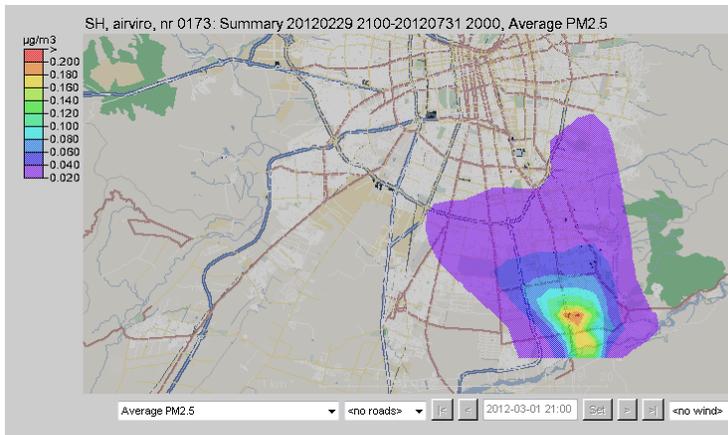
Corresponde a una fuente emplazada en la comuna de Tiltil. Las condiciones consideradas para la modelación son las mismas que para las fuentes anteriores.



A partir de la modelación se asume un impacto promedio de $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la comuna de Tiltil y un impacto de $0,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ la comuna de Quilicura. A partir de esta información se estima un impacto anual en salud de US\$ 114.000 por emisores directas de $\text{MP}_{2,5}$.

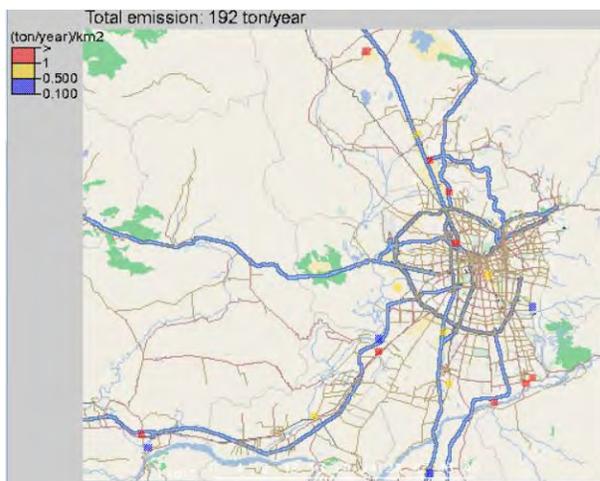
Fuente Gran Emisor 4:

Corresponde a una fuente emplazada en la comuna de Puente Alto. Las condiciones consideradas para la modelación son las mismas que para las fuentes anteriores.



A partir de la modelación se asume un impacto promedio de $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la comuna de Puente Alto y un impacto de $0,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ la comuna de La Florida. A partir de esta información se estima un impacto anual en salud de US\$ 383.000 por emisores directas de $\text{MP}_{2,5}$.

El impacto anual en salud sumando estas cuatro fuentes alcanza a 1,97 millones. Sus emisiones anuales de $\text{MP}_{2,5}$ directo son 101 toneladas, que corresponde al 53% de las emisiones de las 123 fuentes fijas con mayores emisiones de la Región²⁹. En la figura siguiente se muestra la ubicación de estas 123 fuentes. Al considerar el total de emisiones se estima que el impacto en salud de estas 123 fuentes es anualmente de 3,7 millones de US\$. Este debiera ser el monto a recaudar por la aplicación de un impuesto a las emisiones en la RM estimado en relación a su impacto en salud.



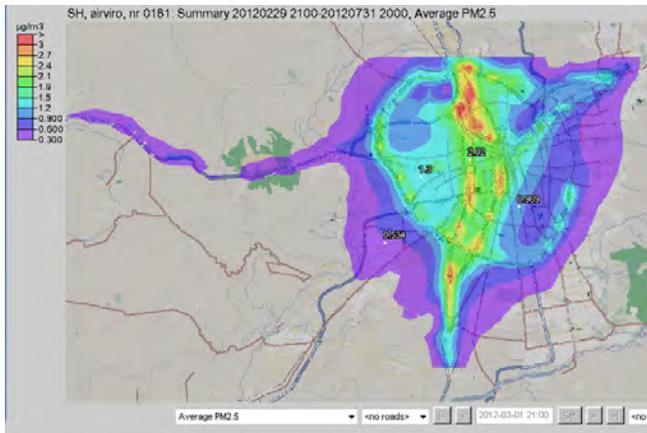
123 fuentes fijas industriales con mayor emisión de MP directo que se propone que deberían ser afectadas por un impuesto ambiental.

Determinación del impuesto para fuentes asociadas al transporte

Autopistas concesionadas

Se estima a continuación el impacto en salud de las emisiones de $\text{MP}_{2,5}$ directas aportadas por los vehículos transitando por el sistema de vías urbanas concesionadas el año 2012. La información proviene de las validaciones en los pódicos de ese año y se han empleado factores de emisión HBFA.

²⁹ Según el archivo Fuentes Fijas de la SEREMI de Salud para 2012, 123 fuentes emiten el 50% del MP emitido por las 11.011 fuentes que cuentan con información de emisiones.

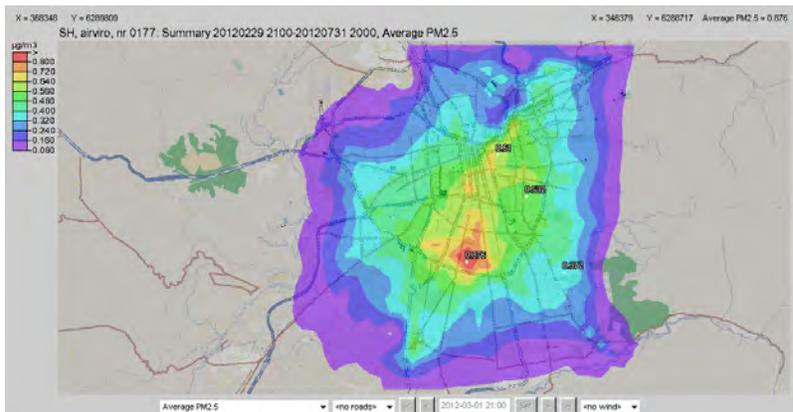


A partir de la modelación se asume un impacto promedio de $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en las comunas emplazadas dentro del perímetro definido por Américo Vespucio y un impacto de $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ las comunas emplazadas fuera. A partir de esta información se estima un impacto anual en salud de 63 millones de US\$ por emisores directas de $\text{MP}_{2,5}$.

El monto del impacto en salud de los vehículos circulando por el sistema de autopistas concesionadas corresponde equivale al 4,6% de sus ingresos totales estimados a partir del ingreso del 2009 reportado por COPSA. Se propone la creación de un impuesto a las validaciones en los pódicos de las autopistas urbanas concesionadas que recaude 63 millones de US\$ anuales. El impuesto debe ser definido considerando los diferentes aportes de emisiones de los vehículos.

Sistema de transporte público

Se estima a continuación el impacto en salud de las emisiones de $\text{MP}_{2,5}$ directas aportadas por los servicios de Transantiago para el año 2012. La información proviene de la aplicación TSANT 2.0 habilitada en Aiviro, que estima las emisiones a partir de los programas operacionales y la información de los GPS de los buses. Se han empleados factores de emisión HBFA.



A partir de la modelación se asume un impacto promedio de $0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en las comunas emplazadas dentro del perímetro definido por Américo Vespucio y un impacto de $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ las comunas emplazadas fuera. A partir de esta información se estima un impacto anual en salud de 29 millones de US\$ por emisores directas de $\text{MP}_{2,5}$.

Resumen de montos anuales de impuestos

En la tabla siguiente se presenta el monto anual de impuesto a las emisiones que debieran pagar los mayores emisores de la industria y el transporte presentes en la Región Metropolitana. El monto total anual de recaudación es de 96 millones de US\$, lo que es superior al financiamiento

Estatal del plan para MP_{2,5} propuesto en el presente estudio, que alcanza a 71 millones de US\$ al año.

Fuente de emisión	Monto de impuesto anual [US\$]
Mayores emisores industriales	3.752.150
Autopistas urbanas concesionadas	63.209.415
Transantiago	29.085.739
Total	96.047.304

El impuesto presentado para Transantiago es sólo indicativo, porque no es factible aplicarle un impuesto ambiental al transporte público porque es un modo de transporte que debe ser incentivado por su aporte a la reducción de los viajes motorizados, y porque además un impuesto como este puede ser regresivo. De todos modos Transantiago tiene un impacto en la salud de los habitantes de la capital, por lo que el Estado debe invertir en la medida propuesta en para el plan de acción de corto plazo (financiamiento de la electrificación de los servicios de trolebuses).

3.4 Recomendación de estrategias que permitan controlar los contaminantes que afectan el cambio climático.

Una parte importante de las emisiones de los GEI es atribuible a las ciudades. La Agencia Internacional de Energía estima que las áreas urbanas son responsables de más del 71% de las emisiones globales de GEI relacionadas con energía, y tienen la expectativa de que alcancen el 76% para el año 2030. Esto hace a las emisiones relacionadas con energía, la fuente más importante de GEI (otras fuentes son agricultura, deforestación, residuos, procesos industriales y solventes).

La publicación *“Cities and greenhouse gas emisiones: moving forward”* (Hooenweg, 2011) estimó las emisiones per cápita de 100 ciudades alrededor del mundo, encontrando que estas varían desde emisiones tan altas como 15 toneladas de CO₂e, como es el caso de Sídney, Calgary, Stuttgart y muchas de las ciudades más grandes de EEUU, hasta emisiones menores de media tonelada al año por persona, como ocurre en ciudades de Nepal, India y Bangladesh.

Las emisiones per cápita no representan sólo el estilo de vida de los individuos, son además un reflejo de la infraestructura y el tipo de economía presente en una zona geográfica determinada. Dependiendo de estas condiciones, las emisiones per cápita de una ciudad pueden ser mayores que las del país al que pertenece, como es el caso de ciudades chinas como Shanghái, o menores, como es el caso de Nueva York, respecto de la emisión per cápita de los EEUU. En el caso de Shanghái su emisión de 12,6 tCO₂e per cápita superan largamente las 3,4 tCO₂e promedio de China, porque la generación eléctrica depende fuertemente de combustibles fósiles, muchas industrias están emplazadas en las ciudades y la población rural aún es muy numerosa y con altas

tasas de pobreza. En el caso de Nueva York, la mayor densidad poblacional y la menor dependencia del uso del automóvil en comparación al resto del país, hace a esta ciudad más eficiente en comparación al resto del país.

Las emisiones también presentan diferencias dentro las ciudades, como muestra el estudio “*Spatial analysis of residential greenhouse gas emissions in the Toronto census metropolitan area*” (Vandeweghe and Kennedy, 2007), donde se determinó que los habitantes en barrios acomodados de los suburbios tenían emisiones de 7,74 toneladas anuales de CO₂e debido a su alta dependencia del uso del automóvil, como también por la ineficiente aislación térmica de sus viviendas. Este valor es muy alto comparado con las 1,31 toneladas de los habitantes de las zonas del centro de la ciudad, más densas y con mejor acceso al transporte público.

La diferencia en la emisión entre zonas urbanas, suburbanas, rurales, regionales y nacionales, ha llevado a la discusión respecto de donde se asignan las emisiones; desde la perspectiva de la producción se asigna la emisión al territorio en donde se produce, por ejemplo, donde se emplaza una central termoeléctrica. Desde la perspectiva del consumo, la emisión se asigna al territorio donde está su consumo final, que en el caso del ejemplo, corresponde al lugar donde se consumió la energía eléctrica. En una economía global baja en Carbono, la asignación correcta de las responsabilidades en la emisión de CO₂e será clave, debido a la importancia de los balances de importación y exportación de Carbono incorporado en la transacción de materias primas y productos. Se ha estimado que el 25% de las emisiones totales de CO₂ están asociados a los bienes que se transan en el comercio internacional.

3.4.1 Balance de energía Regional 2012

No existe un inventario de emisiones de GEI para la RM, ni tampoco está disponible un balance de energía regional. Debido a la importancia de esta información para la definición de una estrategia de reducción de emisiones de cambio climático, se ha elaborado un balance regional de energía.

Se ha empleado el software LEAP (*Long range Energy Alternatives Planning System*) del Instituto de Medioambiente de Estocolmo, que es una herramienta para el análisis de políticas energéticas y para la evaluación de estrategias de mitigación del cambio climático.

Las fuentes de información han sido el Informe estadístico de la SEC para el 2012, la Encuesta ENIA 2011 del INE, el reporte de sustentabilidad de CHILECTRA, y el registro de emisiones de fuentes fijas de la Seremi de Salud. Se estimó el consumo final de energía para la región en Giga Joules, información presentada en la Figura 65.

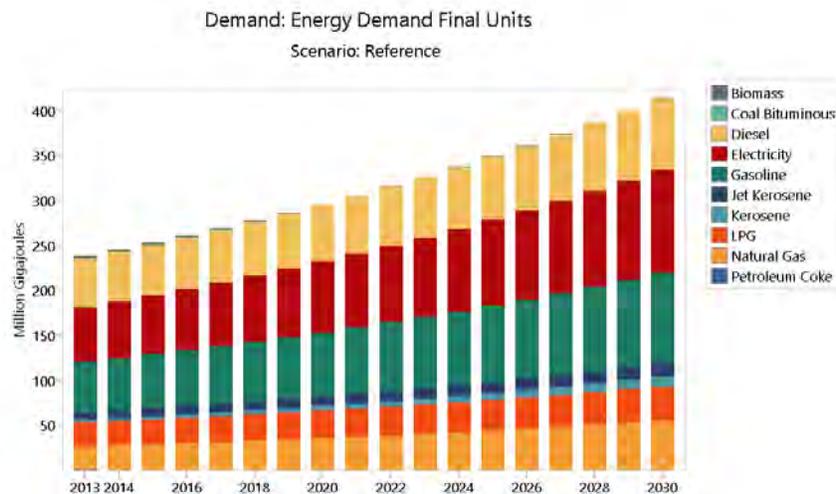


Figura 65: Consumo final de energía 2012, Región Metropolitana

En el documento Anexo se presentan los antecedentes empleados para la proyección de demanda futura de energía. Se han incorporado las medidas más importantes recomendadas para el Plan de MP_{2,5}, especialmente la introducción de movilidad eléctrica en Transantiago y la sustitución de la leña por gas natural en la ciudad de Santiago. La matriz energética está dominada por los derivados del petróleo y la electricidad, y en un escenario “Business As Usual” (BAU) al 2030 esto no debiera cambiar sustancialmente.

El consumo per cápita de la RM es similar al de otras ciudades sudamericanas y moderado en comparación con ciudades de países desarrollados. La iniciativa *Green City Index*, promovida por Siemens, ha evaluado los consumos per cápita de distintas ciudades de Europa y Asia³⁰. En el caso de las 30 ciudades evaluadas en Europa, el consumo per cápita promedio fue de 80,8 GJ, y el mejor resultado fue de 36,2 GJ por habitante. Las ciudades con menores ingresos tienden a tener menores consumos de energía, debido a las menores tasas de motorización e industrialización. Esto se observa en los resultados de *Green City Index* en Asia, donde hay una mayor diversidad en los ingresos; respecto de este punto es interesante destacar que en Asia se observó que el consumo per cápita de energía crece a medida que crece la economía, pero el consumo de energía declina cuando el producto interno per cápita sobrepasa los 20.000 US\$. En este sentido, el resultado obtenido para la RM es consistente, y es esperable que dentro de los próximos años la región alcance el umbral a partir del cual el consumo per cápita debiera comenzar a declinar.

El sector económico más importante en el consumo regional de energía es el transporte, con el 45%, seguido de lejos por las residencias y la industria. Este es un punto muy importante a considerar en la identificación de co-beneficios de medidas de reducción de emisiones de

³⁰ Existe una publicación para Latino América, pero por falta de información sólo consideró el consumo de energía eléctrica.

precursores de $MP_{2,5}$, porque el transporte es también la fuente más importante en la emisión de estos contaminantes. En la Figura 66 se presentan los consumos regionales por sector económico.

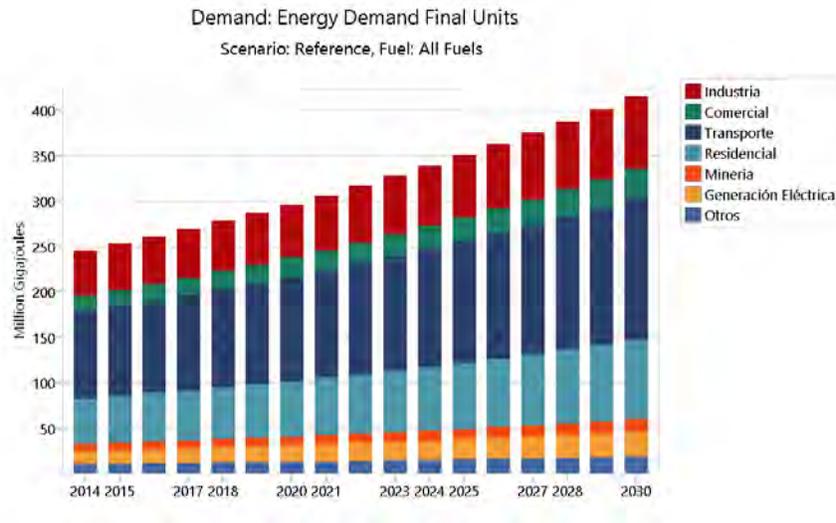


Figura 66: Consumos regionales por sector económico.

La RM es un importador neto de energía, con casi la totalidad del consumo final satisfecho mediante la importación de energéticos. Los hidrocarburos son importados en su mayoría desde la V Región, y la mayor parte de la demanda eléctrica es satisfecha en parte a través de la importación de la energía generada, principalmente, en las regiones III, V, VII y VIII. La Central Nueva Renca en algunos períodos del año satisface aproximadamente el 50% de la demanda de la RM.

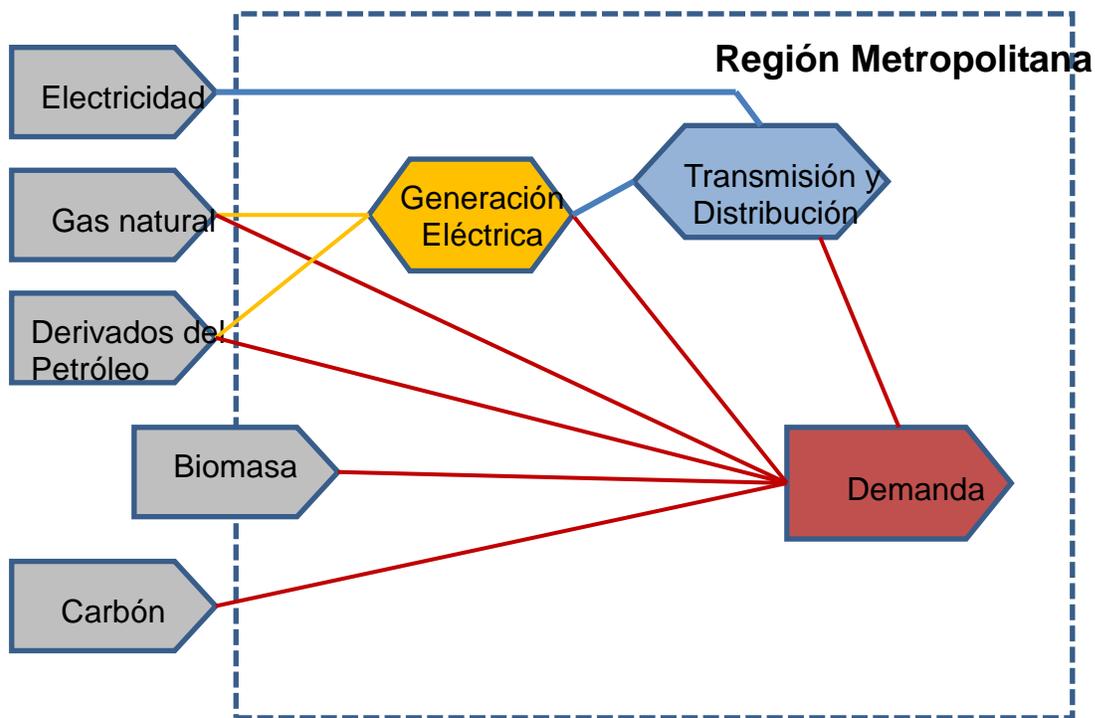


Figura 67.: Diagrama de Flujos de Energéticos en la Región Metropolitana

Como se ha mencionado en el sub capítulo anterior “Contaminantes prioritarios en el control del MP_{2,5} en la RM,”, el material particulado fino es un contaminante de gran escala (macro zona central), debido a la importancia que tiene la transformación fotoquímica de precursores que pueden incluso haber sido emitidos fuera de los límites de la región. Por lo tanto, si bien no existe más que una gran central termoeléctrica en Santiago, las emisiones de las centrales emplazadas en la V región podrían estar afectando el *background* de la cuenca atmosférica de la RM. Por lo tanto, hay que tener presente que la eficiencia energética en el consumo eléctrico de la ciudad de Santiago puede significar en el largo plazo una reducción del eventual aporte de larga distancia de las centrales de gas natural y carbón emplazadas en la V región.

3.4.2 Emisiones regionales de CO₂

A partir de este balance de energía regional, y empleando la metodología *Tier 1* para estimar emisiones basada en energía propuesta por el IPCC, se han estimado las emisiones de CO₂e de la Región Metropolitana.

Se han incluido además las emisiones de Metano de los rellenos sanitarios, con una eficiencia de captura de un 60%, y las emisiones de la producción de cemento. Se ha empleado el factor de emisiones del SIC correspondiente al año 2012, publicado por el Ministerio de Minería. En la Figura 68 se presentan las emisiones por energético.

Environment: Carbon Dioxide (Non-Biogenic)
 Scenario: Reference, Effects: Carbon Dioxide Non Biogenic

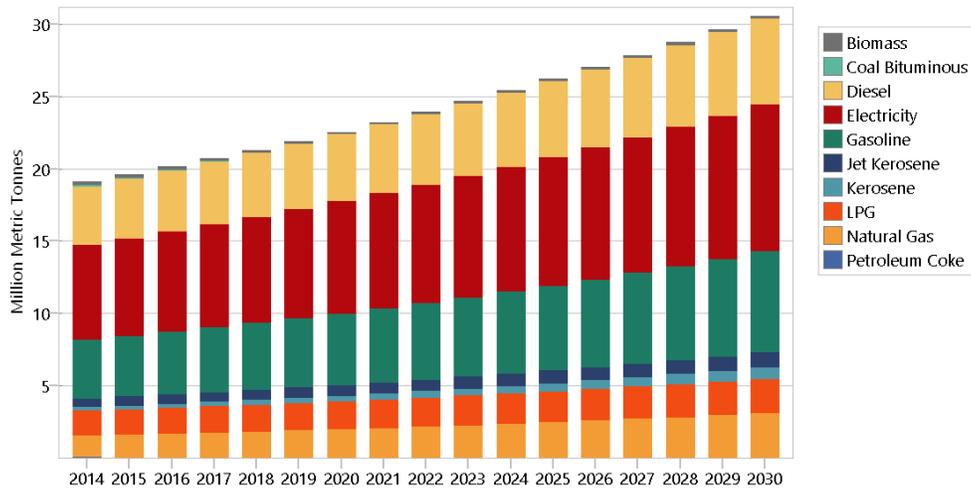


Figura 68: Emisiones de CO₂e de la Región Metropolitana para el año 2012.

Los derivados del petróleo son, como grupo de energéticos, los más importantes en la emisión de CO₂e. Al desagregarlos se observa la importancia del diesel y la gasolina, lo que está relacionado directamente con la importancia del sector transporte, lo que se refuerza con la alta participación que está tomando el kerosene de aviación en las ventas regionales de combustibles. Para la estimación se ha considerado que sólo el 25% del kerosene de aviación se consume en la región.

La emisiones de diesel también están asociadas a otros sectores, como el industrial y el minero. En la Figura 69 se presenta la desagregación del consumo de diesel regional estimado a partir de información de SEC, SECTRA, Seremi de Salud y del SEIA. Se han asignado 264 Mm³ a otros sectores, al restar los consumos de los sectores con información al total de ventas de diesel en la región.

Dentro de esta categoría es esperable encontrar vehículos off road, como maquinaria pesada y de construcción, y también vehículos empleados en agricultura, como tractores y maquinas cosechadoras.

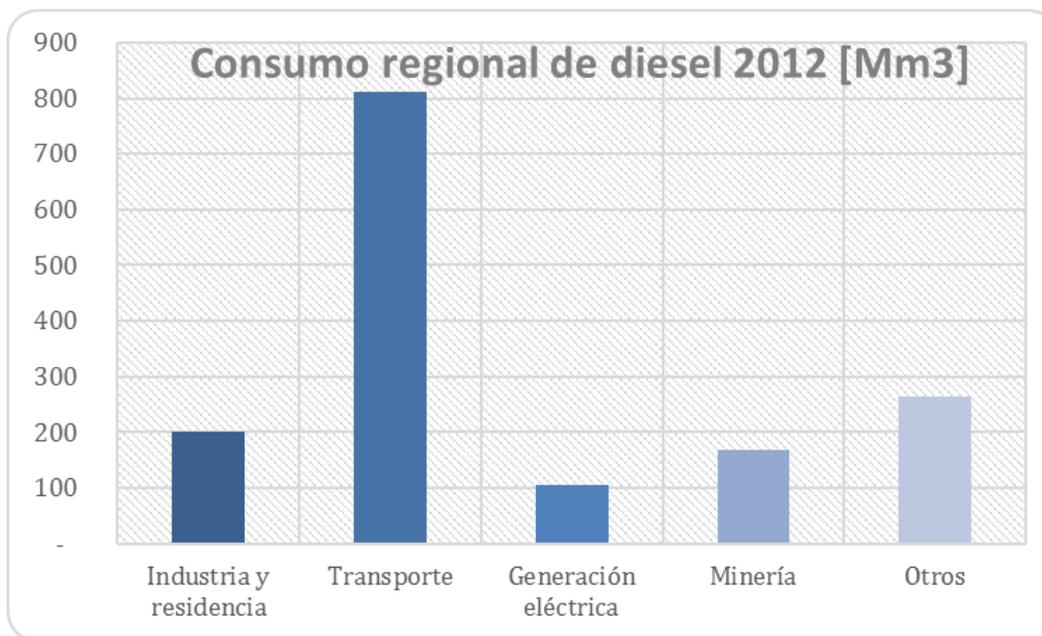


Figura 69: Desagregación del consumo de diesel regional

Las emisiones totales se han estimado en 20 millones de toneladas de CO₂e. Al considerar el número de habitantes, la emisión per cápita de CO₂e es de 3,1 toneladas anuales, lo que es coherente con la estimación per cápita nacional del Banco Mundial para Chile el año 2010 (4,08 toneladas). La diferencia se explica por el mayor consumo de Diesel ese año en la generación eléctrica y por el menor consumo de energía per cápita de la RM respecto de otras regiones.

3.5 Medidas para la reducción de las emisiones de GEI

De los antecedentes presentados en el capítulo 1, se desprende que las causas más importantes en las emisiones de GEI regionales son el consumo de derivados del petróleo y la generación termoeléctrica necesaria para satisfacer la demanda de energía eléctrica. El consumo de derivados del petróleo está principalmente asociado al transporte, y el de energía eléctrica es responsabilidad compartida, principalmente entre la industria, el comercio y las residencias.

Las emisiones regionales de GEI están determinadas por el nivel de actividad de los sectores antes mencionados, por su tecnología y por la matriz energética disponible. En el caso de la generación eléctrica, influye la matriz energética disponible para la generación en el SIC; en el caso de combustibles, influye la matriz de combustibles disponibles en la Región Metropolitana.

Para identificar medidas que apunten a una transformación sustantiva de los patrones de producción y consumo regionales de estos sectores en la región, se han revisado elementos de política pública que apuntan a modificar estos patrones en el largo plazo. Se han considerado las políticas anunciadas para la eficiencia energética nacional y para el transporte en la región. Se han considerado también la experiencia en promoción de transporte más eficiente en países desarrollados.

3.5.1 Eficiencia energética

Se han revisado los siguientes estudios, que han estimado las demandas nacionales de energía y las emisiones de GEI de los sistemas eléctricos en el largo plazo (2030), identificando además medidas para la reducción de las emisiones nacionales de CO₂e:

- Estudio de bases para la elaboración de un plan nacional de eficiencia energética, Universidad de Chile, 2010.
- Estimaciones de Costo y Potencial de Abatimiento de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero para Diferentes Escenarios Futuros, Centro Cambio Global PUC, 2010.
- Análisis de opciones futuras de mitigación de gases de Efecto invernadero para Chile en el sector energía, POCH/ Centro Cambio Global PUC, 2010.
- Escenarios energéticos Chile 2030, Plataforma Escenarios Energéticos 2030, 2013.

POCH estima una demanda de energía eléctrica de 136.164 GWh en el SIC en un escenario “Business as Usual” (BAU) al año 2030, que corresponde a un aumento de un 294% respecto de la demanda del año 2012. El 36% de la demanda lo representó este último año la Región Metropolitana. El mismo estudio estimó un incremento del 168% de la demanda por combustibles en el sector transporte para el mismo horizonte temporal.

No existe un plan de acción nacional para el cambio climático vigente. CONAMA publicó un plan para el período 2008 – 2012 que ya expiró.

La discusión de las propuestas del estudio de bases para la elaboración de un plan nacional de eficiencia energética generó el Plan de Acción de Eficiencia Energética 2020, presentado por el Ministerio de Energía en el año 2013. En la siguiente tabla se presentan las medidas principales de este plan.

Tabla 11: Principales medidas del Plan de Acción de eficiencia energética 2020

Sector	Medidas
Minero e industrial	Fomentar sistemas de gestión de energía
	Promover cogeneración
	Asistencia técnica a proyectos
	Promoción de tecnologías más eficientes
Transportes	Mejorar eficiencia energética (EE) de LDV nuevos
	Mejorar EE de buses
	Mejorar EE de HDV nuevos
	Mejorar EE de HDV existentes
	Fomentar EE en la cadena logística
	Fomentar cambio modal a modos más eficientes
	Introducir movilidad eléctrica

Sector	Medidas
Comercial, Público y Residencial	Mejorar calidad energética en inmuebles existentes
	Promover gestión EE en edificios
	Promover diseño edificios con altos estándares de EE
	Promover oferta de productos de EE para la construcción
	Promover EE en alumbrado público
	Ampliar etiquetado de artefactos
	Establecer MEPS
	Programa alumbrado residencial eficiente
	Mejorar la base de conocimiento respecto de la leña
	Modernizar el parque de artefactos que usan leña
	Mejorar estandar de calidad de la leña
	Aumentar la eficiencia en el consumo residencial de leña
	Desarrollar mercado de la dendroenergía

Dentro de estas medidas principales, algunas tienen relación directa con la reducción de contaminantes atmosféricos y los GEI. La promoción de la cogeneración en la industria aporta a la reducción de emisiones de combustión de diesel con reducción de BC, NOx y CO₂ desde grupos electrógenos y calderas industriales. La promoción de la eficiencia energética en vehículos diesel tiene un aporte directo en la reducción de BC, NOx y CO₂. La mejora de la eficiencia energética de los vehículos de pasajeros (componente principal de los vehículos livianos) permite una reducción directa de CO₂ e indirectamente puede acelerar la adopción de normas más estrictas de emisión, como las EURO VI. La promoción de la movilidad eléctrica puede producir una sustitución de buses diesel, con la consiguiente disminución de BC, NOx y CO₂, y podría significar una menor emisión de CO₂ del sector de taxis, especialmente en el de taxis colectivos.

La incorporación masiva de movilidad eléctrica en otros sectores presenta una incertidumbre mayor. La sustitución de calefactores de leña, sobre todo en zonas rurales de la Región Metropolitana donde se emplean salamandras y otras tecnologías obsoletas, es una medida de alto impacto en la reducción de material particulado y COV. La mejora de los estándares de la leña que se comercializa en la región también es un aporte en este sentido.

El Plan de acción de eficiencia energética presenta sus acciones en forma genérica, sin definir los instrumentos para su implementación y financiamiento. A diferencia de los planes de descontaminación, este plan no es mandatorio, siendo de hecho una orientación programática de la autoridad de turno, que puede sufrir transformaciones sustantivas en el largo plazo.

El documento escenarios energéticos Chile 2030 hace una evaluación de los cambios en la matriz de generación eléctrica de los sistemas SIC y SING, en dos escenarios: uno BAU con la

incorporación al SIC de la generación hidráulica en Aysén y la incorporación de nuevas centrales térmicas (escenario mercado SIC), y otro con mayor penetración de energías renovables no convencionales (escenario ERNC SIC), principalmente geotérmica. En escenario ERNC SIC es económicamente competitivo e implica una reducción de 63 millones de toneladas de CO₂ en el período 2012 – 2030, con una reducción de 4 millones de toneladas en el año 2030. El estudio concluye que en el escenario mercado SIC, la postergación indefinida de los proyectos hidráulicos en Aysén significaría un aumento importante de la generación con carbón.

Un aspecto interesante de este estudio, es la evaluación del impacto de un impuesto al Carbono en la generación eléctrica, considerándose un impuesto de 20 US\$ por tonelada de CO₂ emitida. Este impuesto implica una reducción importante de la generación termoeléctrica, desincentivando nuevos proyectos debido al aumento del costo variable, lo que la hace menos competitiva frente a otras alternativas, como la geotérmica y la solar CSP (concentración solar de potencia). La aplicación de este impuesto significa una reducción 37 millones de toneladas de CO₂ en el período evaluado, con una reducción promedio anual de 2 millones de toneladas. El costo variable del MWh en el SIC sufre un incremento de un 4,7% por la aplicación de esta medida.

3.5.2 Transporte

El Plan Maestro de Transporte Santiago 2025 de SECTRA, describe la situación base del transporte al año 2025 y evalúa los beneficios de la incorporación de 73 proyectos de infraestructura vial y para el transporte público, más el plan maestro de ciclo vías y 9 proyectos de modificación de los planes de desarrollo condicionado para grandes proyectos inmobiliarios regionales.

Tabla 12: Resumen de proyectos considerados en Plan Maestro de Transportes 2025

Medidas	MM US\$
Proyectos de Metro, Pre-Metro y trenes de cercanía	7,208
Proyectos viales para transporte público	442
Proyectos viales	589
Proyectos viales concesionados	4,993
Proyectos viales de alcance local	942
Proyectos de ciclo vías - 856 km totales	Sin Información

Se estima que en la situación base sin plan la flota vehicular crecerá de 1,4 millones a 2,7 millones de unidades, y los tiempos de viaje se triplicarán si el transporte público sigue perdiendo participación modal. En la situación con proyecto se estima un incremento de velocidad media en hora punta mañana del transporte privado de 15,6 a 18,5 kilómetros por hora, y un incremento de la participación modal del transporte público del 42% al 45%.

Se consideró que el 20% de la flota de buses empleaba tecnología híbrida y el 10% eléctrica; el resto de los buses en su mayoría se consideró como Euro VI. Para el transporte privado se consideró Euro VI a partir del 2023, salvo para los diesel, que se consideró como a partir del 2017.

Se estimó una reducción anual de 30 toneladas de MP y de 1.500 toneladas de NOx respecto del escenario base. Para el CO₂ se estimó una reducción 1,7 millones de toneladas.

Del plan destaca la importancia de los proyectos viales para el transporte público y la promoción de los modos no motorizados, es especial el plan maestro de ciclo vías. Estos dos tipos de proyectos son esenciales para la reducción de emisiones de GEI y contaminantes locales en el largo plazo.

Es llamativo que el plan no contemple la incorporación de exigencias de mayor eficiencia energética en los vehículos a través de normas o políticas de incentivos, ya que este tipo de medidas podrían incrementar sustancialmente los beneficios estimados en reducción de consumo de combustibles a costos marginales comparados con los costos de infraestructura para transporte privado.

En forma análoga al Plan de Acción de Eficiencia Energética 2020, el Plan Maestro de Transporte de Santiago 2025 es sólo indicativo, y por la naturaleza de sus medidas (principalmente obras de infraestructura), estas no pueden ser directamente incorporadas en un plan de descontaminación.

De la experiencia internacional, se han revisado las siguientes publicaciones, enfocadas en propuesta para eficiencia energética en el transporte:

- On the road to climate neutral freight transportation, Swedish Road Administration, 2008.
- Technology Roadmap, fuel economy of road vehicles, Agencia Internacional de Energía, 2012.
- Improving the fuel economy of road vehicles, a policy package, Agencia Internacional de Energía, 2012.
- Fuel Economy standards for HDV at international level, Rachel Muncrief, The ICCT, 2013.

De esta experiencia internacional se identifican como medidas claves la exigencia de normas de rendimiento y CO₂ para vehículos pesados, la promoción de biocombustibles de segunda generación (especialmente biodiesel) y las políticas de incentivos a vehículos livianos y medianos más eficientes empleando impuestos y bonos (sistemas de *feebate*³¹).

³¹ Ver: Propuesta para un mercado automotriz con menores emisiones contaminantes y menor consumo de combustibles, CMMCh/Global Fuel Economy Initiative, 2011.

3.6 Evaluación de medidas identificadas para el control de emisiones de GEI

En la tabla siguiente, se presentan las medidas para la reducción de emisiones de GEI en el largo plazo en la Región Metropolitana que han sido identificadas a partir de la revisión de distintos planes nacionales y de la experiencia internacional. Se han clasificado de acuerdo al enfoque estratégico presentado en el capítulo 3.1.1, en medidas de largo plazo para la promoción de tecnologías más limpias y eficientes, y medidas para la promoción de la eficiencia energética.

Tabla 13: Medidas identificadas para la reducción de GEI en la Región Metropolitana

Enfoque	Medida de largo plazo
Tecnología	Promoción de vehículos más eficientes
	Electrificación del Transantiago
	Introducción Biodiesel
	Promoción de energías renovables no convencionales
Eficiencia Energética	Promoción del uso de la bicicleta
	Programa mejoramiento energético en la industria
	Promoción de eficiencia energética en hogares

La promoción de vehículos más eficientes se definió a partir del objetivo definido por la iniciativa Global Fuel Economy del Programa de Medio Ambiente de las Naciones y de la Agencia Internacional de Energía, de doblar al año 2030 el rendimiento actual de los vehículos. Esta reducción puede ser conseguida mediante instrumentos de política como los incentivos a vehículos más eficientes y desincentivos a los más ineficientes, como el impuesto a los vehículos diesel más ineficientes. Para el cumplimiento de esta medida debe complementarse este último impuesto con un impuesto a los vehículos a gasolinas más ineficientes.

La electrificación de Transantiago corresponde a la introducción de 1.500 trolebuses y 800 buses con baterías en los procesos de renovación de los operadores programados para los años 2015, 2018 y 2020.

La introducción de biodiesel corresponde a la incorporación en la norma de diesel A1 de la exigencia de mezcla de un 5% biodiesel de segunda o tercera generación. Se considera que el combustible lo usa sólo el transporte, y que el biodiesel es neutro en su emisión de CO₂.

Para el caso de la promoción de las ERNC se ha considerado que el factor de emisión del SIC de acuerdo al escenario ERNC – SIC definido por la iniciativa Escenarios Energéticos 2030. Se asumió que el factor de emisión se reduce linealmente hasta llegar a 0,16 Ton CO₂/MWh al año 2030.

La reducción de emisiones producto de la promoción de la bicicleta se determinó a partir de la estimación de reducción de consumos de gasolinas contenida en el estudio Revisión y

Actualización del Plan Maestro de Ciclo vías y Plan de Obras, del Gobierno Regional Metropolitano del 2012. Esta estimación corresponde al beneficio de la red de 1.074 definida para el Plan Maestro.

El impacto del programa de mejoramiento energético en la industria se estimó a partir de los lineamientos generales definidos para este tipo de programas en el Estudio de bases para la elaboración de un plan nacional de eficiencia energética, Universidad de Chile, 2010. Se considera la implementación de un programa que logra reducir el 20% del consumo de energía en la industria regional.

Los beneficios del programa de eficiencia energética en hogares se determinaron a partir de los lineamientos del mismo estudio mencionado en el párrafo anterior. Se considera que el 15% de los hogares de la región han sido objeto de un reacondicionamiento térmico que reduce en un 40% el consumo de energía destinado a la calefacción.

Se presentan a continuación las reducciones de emisiones de GEI estimadas en LEAP para el año 2030 de las medidas identificadas.

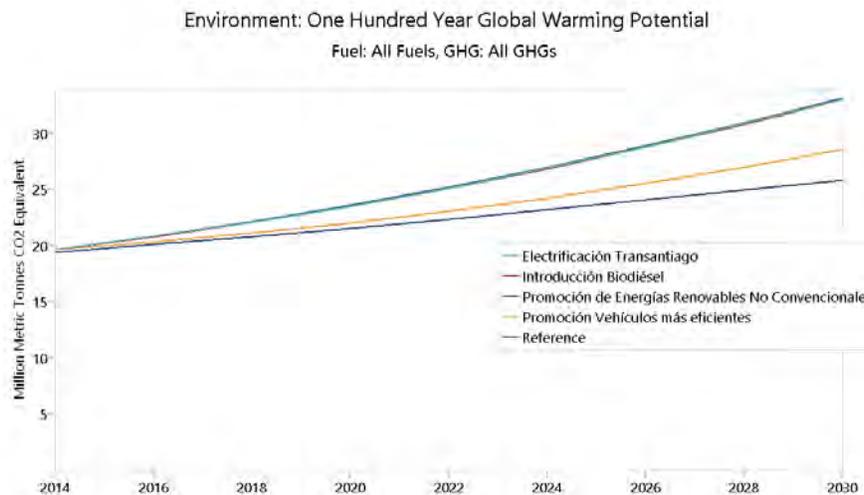


Figura 70. Reducción de emisiones de CO₂ por la aplicación de medidas tecnológicas

Se observa que las medidas de mayor impacto en la reducción del CO₂ son la incorporación de ERNC en el SIC y la promoción de vehículos más eficientes. Esta última es la más importante en la reducción del consumo de energía regional.

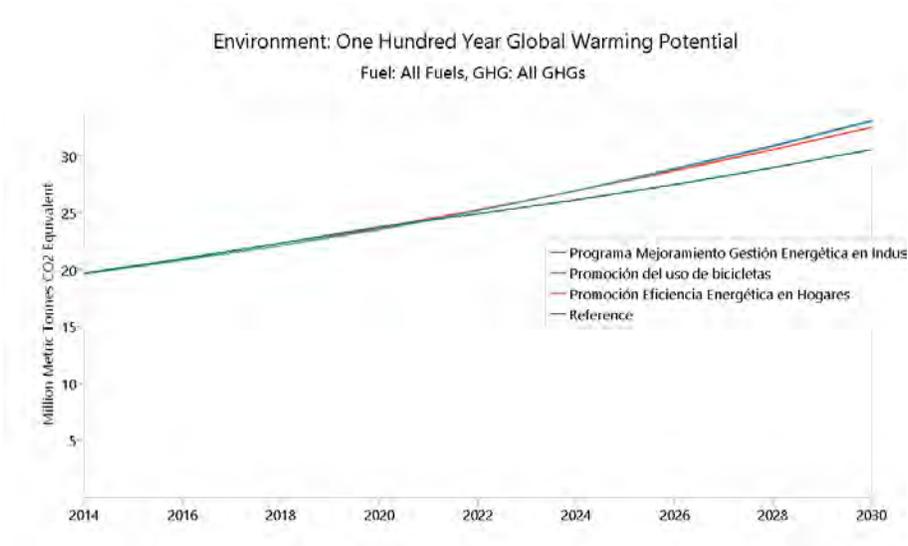


Figura 71. Reducción de emisiones de CO₂ por la aplicación de medidas eficiencia energética

El mejoramiento de la gestión energética dentro de industria mediante la promoción de la certificación de sistemas de gestión de la energía (norma ISO 50.001) es la medida de eficiencia energética que más aporta a la reducción de las emisiones de CO₂.

La aplicación de la estrategia de largo plazo que contemple las siete medidas antes descritas permite al año 2030 reducir en un 40% las emisiones de CO₂ respecto de un escenario "Business As Usual" de referencia. Esta reducción permite mantener los niveles de emisión de CO₂ per cápita a un nivel similar de ciudades de tamaño equivalente de la OCDE y facilita la mantención del cumplimiento de las normas de calidad del aire en la Región metropolitana.

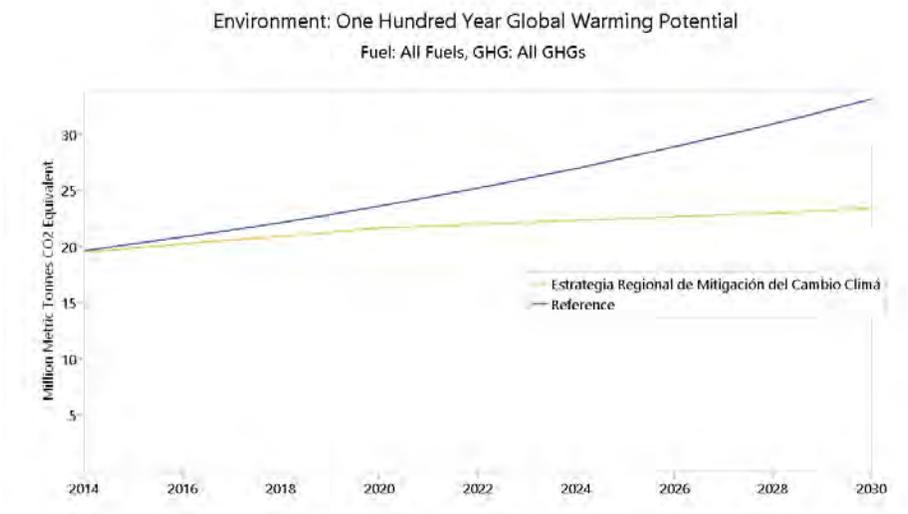


Figura 72. Comparación de la reducción de emisiones producto de las estrategias establecidas vs la línea base.

3.7 Análisis Legal: El Nuevo Plan de Descontaminación para MP_{2,5} Debe Derogar o No el PPDA Existente.

Para que proceda la derogación de un Plan de Descontaminación o Prevención Atmosférico -en este caso, el de la Región Metropolitana (PPDA RM) contenido en el Decreto Supremo (DS) N° 66 de 2009 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia- debe cumplirse con los presupuestos jurídicos que hagan procedente dicha derogación.

Para ello, es preciso explicar previamente cuáles son los presupuestos que la ley 19.300 dispone que deban cumplirse para dictar un plan de prevención o descontaminación.

Para que se dicte un plan de prevención o de descontaminación debe existir una norma de calidad primaria³² o secundaria³³ que -de acuerdo a sus mediciones- de cuenta que una zona determinada se encuentra en estado de latencia o saturación. La zona que se encuentre en este estado debe declararse así oficialmente por la autoridad respectiva. Luego de ello, se debe proceder a la elaboración y dictación de un plan de prevención o descontaminación y su posterior revisión y actualización. La Ley y el reglamento establecen las etapas, plazos y contenidos de dicho plan.

Una zona se encontrará en estado de latencia cuando “la medición de la concentración de contaminantes en el aire, agua o suelo se sitúa entre el 80% y el 100% del valor de la respectiva norma de calidad ambiental”³⁴, y en estado de saturación, cuando “una o más normas de calidad ambiental se encuentran sobrepasadas.”³⁵

“La declaración de una zona del territorio como saturada o latente se hará por decreto supremo que llevará la firma del Ministro del Medio Ambiente³⁶ [antes del Ministro Secretario General de la Presidencia] y contendrá la determinación precisa del área geográfica que abarca. Llevará además la firma del Ministro de Salud, si se trata de la aplicación de normas primarias de calidad ambiental”³⁷.

³² La ley 19.300 en su artículo 2 letra n) define norma primaria de calidad ambiental como “aquella que establece los valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos permisibles de elementos, compuestos, sustancias, derivados químicos o biológicos, energías, radiaciones, vibraciones, ruidos o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la vida o la salud de la población”.

³³ La ley 19.300 en su artículo 2 letra ñ), define norma secundaria de calidad ambiental como “aquella que establece los valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos permisibles de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la protección o la conservación del medio ambiente, o la preservación de la naturaleza”

³⁴ Artículo 2, letra, letra t) Ley 19.300

³⁵ Artículo 2, letra, letra u) Ley 19.300

³⁶ El Ministerio de Medio Ambiente fue creado en virtud del artículo primero de la Ley 20.417 que modificó la Ley 19.300. El Ministerio de Medio Ambiente entró en funcionamiento el 1° de octubre de 2010, fecha en que dejó de existir la Comisión Nacional del Medio Ambiente.

³⁷ Artículo 43, Ley 19.300.

Con la modificación de la ley 19.300 en enero de 2010³⁸, se incorporó la siguiente disposición relativa a la desafectación de una zona: **“mediante decreto supremo, que llevará la firma del Ministro del Medio Ambiente, de Salud o del ministro sectorial, según corresponda, se dejará sin efecto la declaración de Zona Saturada o Latente, cuando no se cumplan las condiciones que la hicieron procedente.**

El decreto supremo señalado en el inciso anterior dejará sin efecto las respectivas medidas del plan de Descontaminación y, o Prevención, pudiendo, en el primer caso –el del **plan de descontaminación- mantener vigentes** las restricciones impuestas a las emisiones de las fuentes responsables a que se refiere la letra f) del artículo 45³⁹ y las medidas destinadas a prevenir episodios críticos de contaminación, por un plazo no superior a dos años contado desde la derogación del plan, con la sola finalidad de permitir la dictación del plan de prevención.

Esta[s] declaración[es] -señala la Ley- tendrá[n] como **fundamento las mediciones**, realizadas o certificadas por los organismos públicos competentes, en las que conste haberse verificado la condición que la hace procedente.”⁴⁰

El procedimiento estará a cargo de la Secretaría Regional Ministerial de Medio Ambiente.”⁴¹ Antes, dicho procedimiento estaba a cargo de la Comisión Regional del Medio Ambiente. “Si la zona objeto de la declaración estuviere situada en distintas regiones, el procedimiento estará a cargo del Ministerio del Medio Ambiente.”⁴² Antes, se encontraba a cargo de la Comisión Nacional del Medio Ambiente.

En el contexto anterior, se dictó el DS N° 131 de 1996, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia (MINSEGPRES), que declaró a la Región Metropolitana saturada por sobre pasamiento de los valores de las normas de calidad ambiental primaria para los contaminantes ozono (O₃)⁴³, Partículas totales en suspensión (PTS)⁴⁴, material particulado respirable (MP 10)⁴⁵ y monóxido de carbono (CO)⁴⁶, y la declaró latente, por encontrarse entre el 80 y 100% de los valores de la norma de calidad para dióxido de nitrógeno (NO₂)⁴⁷.

Se hace presente que la norma de calidad para partículas totales en suspensión (PTS) fue derogada a finales de los años noventa, razón por la cual el PPDA de la RM dejó de ser aplicable a este contaminante pues no existía la causa que lo hacía procedente.

³⁸ En virtud de la Ley 20.417.

³⁹ Artículo 45, Ley 19.300” Los planes de prevención y descontaminación contendrán, a lo menos: [...] f) La proporción en que deberán reducir sus emisiones las actividades responsables de la emisión de los contaminantes a que se refiere el plan, la que deberá ser igual para todas ellas.”

⁴⁰ Artículo 43 Ley 19.300.

⁴¹ Artículo 43 Ley 19.300.

⁴² Artículo 43 Ley 19.300.

⁴³ DS N°112 de 2002 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia.

⁴⁴ Resolución N° 1215 de 1978 del Delegado de Gobierno en el Ministerio de Salud.

⁴⁵ DS N°59 de 1998 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia.

⁴⁶ DS N°115 de 2002 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia.

⁴⁷ DS N°114 de 2002 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia.

Lo mismo sucederá cuando una zona deje de encontrarse en situación de latencia o saturación declarada oficialmente así, como se explicará más adelante.

Una vez declarada latente o saturada una zona mediante decreto supremo, se establecerán también “mediante decreto supremo del Ministerio del Medio Ambiente, que llevará además la firma del ministro sectorial que corresponda, [los] planes de prevención o de descontaminación, cuyo cumplimiento será obligatorio en las zonas calificadas como latentes o saturadas, respectivamente.”⁴⁸.

“El **Plan de Prevención** es un instrumento de gestión ambiental, que a través de la definición e implementación de medidas y acciones específicas, **tiene por finalidad evitar la superación de una o más normas de calidad ambiental** primaria o secundaria, **en una zona latente**”.⁴⁹ A su vez, el **Plan de Descontaminación** “es un instrumento de gestión ambiental que, a través de la definición e implementación de medidas y acciones específicas, tiene por **finalidad recuperar los niveles señalados en las normas** primarias y/o secundarias de **calidad ambiental de una zona calificada como saturada por uno o más contaminantes**.”⁵⁰

“La elaboración de estos planes y su proposición a la autoridad competente para su establecimiento corresponderá al Ministerio del Medio Ambiente, previo informe de la Secretaría Regional Ministerial respectiva.”⁵¹ Antes correspondía a la Comisión Nacional del Medio Ambiente⁵². En el nuevo Reglamento de planes⁵³ se señala que, la redacción de los Planes de Prevención y/o de Descontaminación por parte del Ministerio de Medio Ambiente se efectuará “en coordinación con los servicios del Estado con competencia en materia ambiental, en los plazos establecidos en este reglamento [y] el Plan [...] será presentado al Consejo de Ministros para la Sustentabilidad para su consideración.”⁵⁴

Señala la ley que “en aquellas áreas en que se esté aplicando un plan de prevención o descontaminación, sólo podrán desarrollarse actividades que cumplan los requisitos establecidos en el respectivo plan” y que “su verificación estará a cargo de la Superintendencia del Medio Ambiente.”⁵⁵

La ley dispone también que “un reglamento establecerá el procedimiento a seguir [para la dictación de los planes de prevención y descontaminación], que considerará a lo menos las siguientes etapas: análisis técnico y económico, desarrollo de estudios científicos, consultas a organismos competentes, públicos y privados, análisis de las observaciones formuladas y una

⁴⁸ Artículo 44, Ley 19.300.

⁴⁹ Artículo 44 Ley 19.300 y artículo 2 de DS 39 de 2012 del Ministerio de Medio Ambiente.

⁵⁰ Artículo 44 Ley 19.300 y artículo 2 de DS N°39 de 2012 del Ministerio de Medio Ambiente.

⁵¹ Artículo 44, Ley 19.300.

⁵² Con la entrada en vigencia del Ministerio de Medio Ambiente el 1° de octubre de 2010, fecha dejó de existir la Comisión Nacional del Medio Ambiente.

⁵³ DS N°39 de 2012 del Ministerio de Medio Ambiente.

⁵⁴ Artículo 3, DS N° 39 de 2012 de Ministerio de Medio Ambiente.

⁵⁵ Artículo 46, Ley 19.300.

adecuada publicidad. Establecerá además los plazos y formalidades que se requieran para dar cumplimiento a lo dispuesto en este.”⁵⁶

En cumplimiento de lo anterior, se dictó el Decreto Supremo (DS) N°94 de 1995 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, que reguló la dictación, revisión y reformulación de los planes de prevención y descontaminación. Este decreto se mantuvo vigente entre el 26 de octubre de 1995 y el 31 de julio de 2013. A partir del 1° de agosto de 2013 entró en vigencia el nuevo Reglamento, el DS N° 39, del 2012 del Ministerio del Medio Ambiente. Este reglamento se dictó para ajustarse a las modificaciones efectuadas en esta materia por la ley 20.417 a la Ley 19.300 y para corregir algunas deficiencias y llenar vacíos existentes que surgieron como consecuencia de la aplicación y evaluación de este instrumento.

Fue al amparo de la Ley 19.300 y del DS N°94 de 1995 de MINSEGPRES - previa dictación del DS N°131 de 1996 al que se ha aludido más arriba que declaró saturada y latente a la Región Metropolitana- que se elaboró el Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana (PPDA), aprobado por el DS N° 16 de 1998, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Las principales actualizaciones al PPDA han sido las contenidas en el DS N° 58 de 2003, y en el DS N°66 de 2009 (vigente en la actualidad), ambos del Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Estas actualizaciones fueron efectuadas con el fin de complementar los instrumentos para reducir las emisiones de los referidos contaminantes y sus precursores, a objeto de cumplir con las metas de calidad del aire contenidas en las normas de calidad, de manera de proteger la vida y salud de la población y lograr que la Región Metropolitana salga del estado de saturación y latencia en la que se encontraba.

En particular, el PPDA de la RM⁵⁷ vigente a esta fecha, dispuso que el cumplimiento de las metas de calidad del aire para la Región Metropolitana comprometidas implicaba reducir los promedios anuales de MP₁₀⁵⁸ en 43% y los máximos promedios diarios del mismo contaminante en un 50%; reducir la concentración de ocho horas de O₃, en un 64%; y abandonar el estado de latencia en que se encontraba el CO como concentración de 8 horas al año 2006 (línea de base de la actualización del PPDA). En tanto, si bien los niveles de NO₂ estaban en cumplimiento al año 2006, se mantuvo su seguimiento y regulación dada su calidad de precursor de O₃ y MP₁₀.

El horizonte establecido por el PPDA para alcanzar y mantener las reducciones necesarias para el cumplimiento de las normas de calidad del aire era el año 2011.

En la actualidad, y según se indica en el presente estudio, en la RM persiste la saturación para el contaminante material particulado respirable (MP₁₀), principalmente debido a su fracción fina de 2.5, y para Ozono (O₃) y, no se encontraría en condición de saturación por CO. Hasta la fecha no se haya desafectado dicha zona por este contaminante ni tampoco por NO₂.

⁵⁶ Artículo 32 y 44 de la Ley 19.300.

⁵⁷ DS N°66 de 2009 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia.

⁵⁸ Cabe hacer presente que la norma de calidad anual para MP10 contenida en el DS N° 59 de 1998 de MINSEGPRES fue derogada, por lo que no debiera aplicarse el plan a este contaminante por su norma anual.

Explicado lo anterior, es posible concluir que la vigencia del PPDA está supeditada a si se cumple o no con sus objetivos. De esta forma, del seguimiento y vigilancia de la calidad del aire en la Región Metropolitana para el PPDA informado hasta la fecha, es viable concluir que no se ha logrado el objetivo del plan que es cumplir con los valores de las normas de calidad primarias que motivaron su dictación para los contaminantes O_3 y MP_{10} por lo que no procede dejar sin efecto la declaración de zona y, consecuentemente, tampoco las medidas que el plan de descontaminación y prevención establecen para estos.

Conforme lo señalado precedentemente, no procede que un plan de descontaminación que en el futuro se dicte para la zona de la Región Metropolitana declarada -en el futuro también- saturada por sobrepasamiento de la norma de calidad primaria al aire para $MP_{2,5}$ ⁵⁹ disponga la derogación del PPDA vigente para la RM. La derogación de las medidas contenidas en el PPDA vigente sólo procede como consecuencia de la desafectación de la zona saturada y latente por los contaminantes Ozono, MP y CO y NO_2 que motivó la dictación de este plan, cuando se verifiquen las condiciones que la hacen precedente, esto es, cuando se cumplan con los objetivos del PPDA que permiten dicha desafectación.

Si los niveles de concentración de MP, o de O_3 se mantienen excedidos, o se mantiene la latencia del CO, el PPDA sólo debe ser revisado y actualizado pero no derogado.

Cabe señalar que, dado que se ha dado cumplimiento a la norma de calidad para CO regulada por el PPDA, podría desafectarse mediante DS la zona correspondiente a la RM, y consecuentemente se dejarían sin efecto las medidas asociadas a este. Es materia de discusión, que se desafecte la RM de la latencia por NO_2 , aunque haya cumplido con el objetivo del plan de prevención, en consideración a que es precursor del O_3 y MP_{10} . Este criterio -la no desafectación por NO_2 - en todo caso, se encontraría validado con la toma de razón por Contraloría General de la República del PPDA vigente DS N°66 de 2009 de MINSEGPRES donde se manifiesta la situación de no latencia de NO_2 en la RM, pero la de precursor de O_3 y MP_{10} , ambos en estado de saturación.

Si se declara la saturación por $MP_{2,5}$ para la misma zona que regula el PPDA -lo que aún no ocurre- se estima factible tramitar en un mismo procedimiento la nueva Actualización del PPDA para los contaminantes que gestiona el plan y un plan de descontaminación para el contaminante $MP_{2,5}$, si las mediciones dan cuenta de la saturación de la zona por este contaminante.

⁵⁹ DS N°12 de 2011 del Ministerio de Medio Ambiente.