

Evolución de la Calidad del Aire en Santiago 1997 / 2004

PRESENTACION

A partir de 1990, para los gobiernos democráticos la contaminación del aire de Santiago ha sido una permanente preocupación. Es así como entre 1989 y 2004, a través de una coherente política pública, se logró disminuir a los contaminantes atmosféricos más dañinos para la salud en un 57%. Al mismo tiempo, avances tecnológicos fueron incorporados para mejorar la calidad del aire a través del desarrollo sustentable de la región.

El documento que tiene en sus manos, **EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE DE LA REGIÓN METROPOLITANA**, cumple con un doble propósito. Por una parte, da a conocer los principales logros obtenidos por las políticas públicas en esta materia, y por otra, enuncia las medidas estructurales necesarias para lograr los objetivos planteados.

Este trabajo entrega información relevante sobre las normas de calidad del aire, los aspectos meteorológicos y geográficos que determinan las condiciones ambientales de la región, la evolución de la calidad del aire desde el año 1989 a la fecha, así como las medidas estructurales contenidas en el Plan de Descontaminación Actualizado, publicado el 29 de enero de 2004.

Esperamos contribuir con esta publicación al debate público en un tema de gran relevancia a nivel regional, con el fin de valorar debidamente los avances de las políticas públicas en la protección de la salud de los habitantes de la Región Metropolitana a través de la recuperación de la calidad del aire.

PABLO BADENIER MARTÍNEZ
DIRECTOR REGIONAL
COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE
REGIÓN METROPOLITANA DE SANTIAGO

INTRODUCCION

Los contenidos de esta publicación están orientados a dar una visión general de la calidad del aire que respiramos quienes habitamos la ciudad de Santiago, al mismo tiempo, dar una idea de cómo hemos progresado en más de una década de gestión ambiental orientada a la descontaminación atmosférica.

Para una mejor comprensión de este documento, es necesario tener presente que el principal contaminante que afecta la calidad del aire de Santiago es el Material Particulado con diámetro menor de 10 micrómetros, denominado MP10. Este contaminante, junto a otros, es monitoreado en forma continua por una red de cinco estaciones de calidad del aire denominada MACAM 1, la que dispone de registro continuo desde el año 1989. El año 1997 dicha red fue rediseñada con la finalidad de mejorar la cobertura del impacto de la contaminación en los habitantes, a partir de entonces consta de ocho estaciones organizadas en la red MACAM 2.

En cuanto a la estructura del documento, se han considerado los siguientes cuatro capítulos:

- Antecedentes generales
- Condiciones meteorológicas que determinan la calidad del aire en la ciudad de Santiago
- Evolución de la calidad del aire de Santiago en el período 1989-2004
- Responsabilidad en la emisión de contaminantes a la atmósfera y soluciones estructurales para Santiago

De esta forma, en Antecedentes Generales se describen las normas de calidad del aire vigentes, respecto de las cuales se compara y evalúan los datos recogidos por las estaciones de calidad del aire, los índices actualmente en uso y aspectos geográficos relevantes de la región. A continuación se presenta una breve revisión de las condiciones meteorológicas asociadas a la ventilación, con la finalidad que el lector pueda ponderar los datos de calidad del aire presentados y comprender en que medida la contaminación atmosférica está modulada por la ocurrencia de episodios de mala ventilación.

La parte medular de esta publicación la constituye un análisis detallado de la calidad del aire por material particulado y gases vinculado a la implementación del PPDA, presentado bajo el título de "Evolución de la Calidad del Aire de Santiago..". La calidad del aire se analiza de acuerdo a las diferentes normas existentes: horarias, diarias y anuales, según corresponde a cada contaminante, con énfasis en la evolución registrada por cada sustancia desde que se tiene registro.

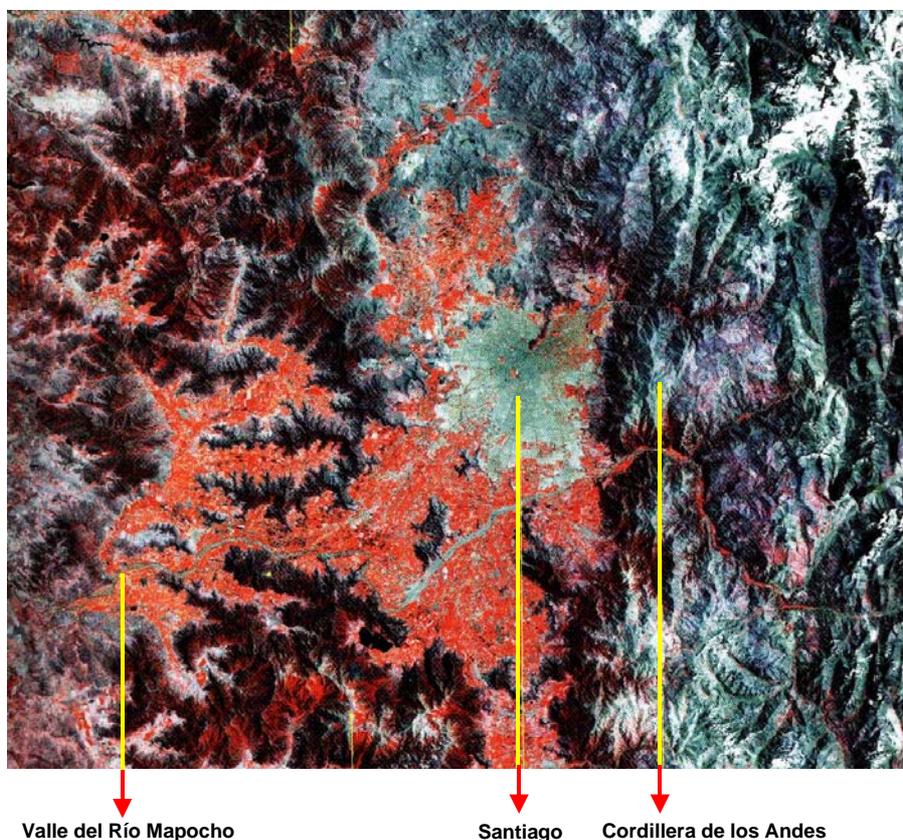
Finalmente, se presenta un análisis del aporte de cada uno de los sectores productivos a la contaminación atmosférica de la región, a partir de lo cual se delinean las principales medidas estructurales para descontaminar Santiago. Esto le permite al lector tener una idea de cómo la autoridad, el sector privado y la ciudadanía se han planteado alcanzar las metas de calidad del aire al año 2010.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1 CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DE LA REGIÓN METROPOLITANA

La Región Metropolitana comprende una superficie de 15.554,5 km² que, comparada con la superficie del país (excluyendo el Territorio Antártico), representa el 2,1% del territorio nacional, lo que la hace la región más pequeña de Chile. De la superficie mencionada, un 85,7% corresponde a terrenos montañosos, el 3,3% a espacios urbanizados y aproximadamente el 11% a superficie destinada a la agricultura.

Es una región mediterránea, que se ubica entre las cordilleras de Los Andes y de la Costa. Predominan los relieves montañosos que encierran hacia el centro de la región una amplia y extensa cuenca aérea, la de Santiago. Por el norte, el cordón montañoso de Chacabuco la separa de la región de Valparaíso y por el sur, los cerros de Angostura y Chada- en Paine- constituyen el límite con la Sexta Región.



La cuenca de Santiago está limitada al oriente por los faldeos de la Cordillera de Los Andes, con cerros que superan los 3.200 m.s.n.m. (Cerro Ramón). Por el oeste, la cordillera de la Costa alcanza alturas sobre 2.000 m.s.n.m. (Cerros Roble Alto), siendo interrumpida por el valle del río Maipo, que abre la cuenca hacia el sector sudoeste. Más al sur, el macizo de Alhué (Cerro Cantillana) supera los 2.200 m de altitud. Las dimensiones aproximadas de la cuenca son 80 Km. en sentido N-S y 35 Km. en sentido E-O.

La gran cantidad de cerros que rodean la planicie central, dificultan la circulación de vientos, por ende, la renovación del aire al interior de la cuenca. Por ello, en épocas de estabilidad atmosférica los contaminantes quedan atrapados dentro de la cuenca que alberga a la ciudad de Santiago, dando origen a un aumento repentino en los niveles de contaminación.

1.2 NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE

En el año 1978 se establecieron las normas primarias de calidad del aire para Partículas Totales en Suspensión (PTS), Dióxido de Azufre (SO₂), Monóxido de Carbono (CO), Ozono (O₃) y Dióxido de Nitrógeno (NO₂). (Resolución 1215/78 del Ministerio de Salud) y en el año 1992 se publicó la norma primaria de calidad de aire para MP10 (D.S N°185/92 del Ministerio de Minería). A partir de estas normas y sobre la base de los datos recopilados entre los años 1993 y 1995, en el año 1996 la Región Metropolitana fue declarada zona saturada por O₃, MP10, PTS y CO, y zona latente por NO₂.

Tabla 1: Normas Primarias de Calidad de Aire (Resolución 1215/78 y D.S N°185/92)

Resolución 1215

Contaminante	Norma	Unidad	Tipo de Norma
Partículas en Suspensión (PTS)	75	ug/Nm ³	Media Geométrica Anual
	260	ug/Nm ³	Media aritmética de 24 horas
Dióxido de Azufre (SO ₂)	80	ug/Nm ³	Media Aritmética Anual
	365	ug/Nm ³	Media Aritmética de 24 horas
Monóxido de Carbono (CO)	10.000	ug/Nm ³	Media Aritmética máxima de 8 horas
	40.000	ug/Nm ³	Media Aritmética de 1 hora
Oxidantes Fotoquímicos: Ozono (O ₃)	160	ug/Nm ³	Media Aritmética de 1 hora
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	100	ug/Nm ³	Media Aritmética Anual

Decreto Supremo N° 185

Contaminante	Norma	Unidad	Tipo de Norma
Material Particulado Respirable (PM10)	150	ug/Nm ³	Media Aritmética Diaria

µg: un microgramo corresponde a una milésima de gramo
 (*): Valor que no puede ser sobrepasado más de una vez al año

Investigaciones posteriores que entregaron mejores antecedentes sobre los efectos de estos contaminantes en la salud de las personas, permitieron hacer una revisión a la normativa establecida y dictar nuevas normas primarias de calidad del aire, las cuales entrarán en vigencia a partir del año 2006 (Ver Tabla 2)

Tabla 2: Normas Primarias de Calidad del Aire (D.S. 112-113-114-115/02 , D.S. 59/98 y D.S N°45/01 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia)

CONTAMINANTE	NORMA	UNIDAD	TIPO DE NORMA	EXCEDENCIA
Material Particulado Respirable (MP10)	50	µg/m ³	Media Aritmética Anual	No se Permite
	150	µg/m ³	Media Aritmética Diaria	Percentil 98 (*)
Dióxido de Azufre (SO ₂)	80	µg/m ³	Media Aritmética Anual	No se Permite
	250	µg/m ³	Media Aritmética Diaria	Percentil 99 (**)
Oxidantes Fotoquímicos: Ozono (O ₃)	120	µg/m ³	Promedio Aritmético Móvil de 8 horas consecutivas	Percentil 99 (**)
Monóxido de Carbono (CO)	10.000	µg/m ³	Promedio Aritmético Móvil de 8 horas consecutivas	Percentil 99 (**)
	30.000	µg/m ³	Media Aritmética Horaria	Percentil 99 (**)
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	100	µg/m ³	Media Aritmética Anual	No se Permite
	400	µg/m ³	Media Aritmética Horaria	Percentil 99 (**)

µg un microgramo corresponde a una milésima de gramo
 (*) Percentil 98 significa que el 98% de las mediciones deben estar dentro de la norma, permitiéndose un 2% de excedencia
 (***) Percentil 99 significa que el 99% de las mediciones deben estar dentro de la norma, permitiéndose un 1% de excedencia

1.3 INDICES DE CALIDAD DEL AIRE

Los índices de calidad del aire han sido definidos por resolución del Ministerio de Salud para establecer los puntos de corte a partir de cuáles se exceden los límites de **Alerta, Preemergencia y Emergencia Ambiental**.

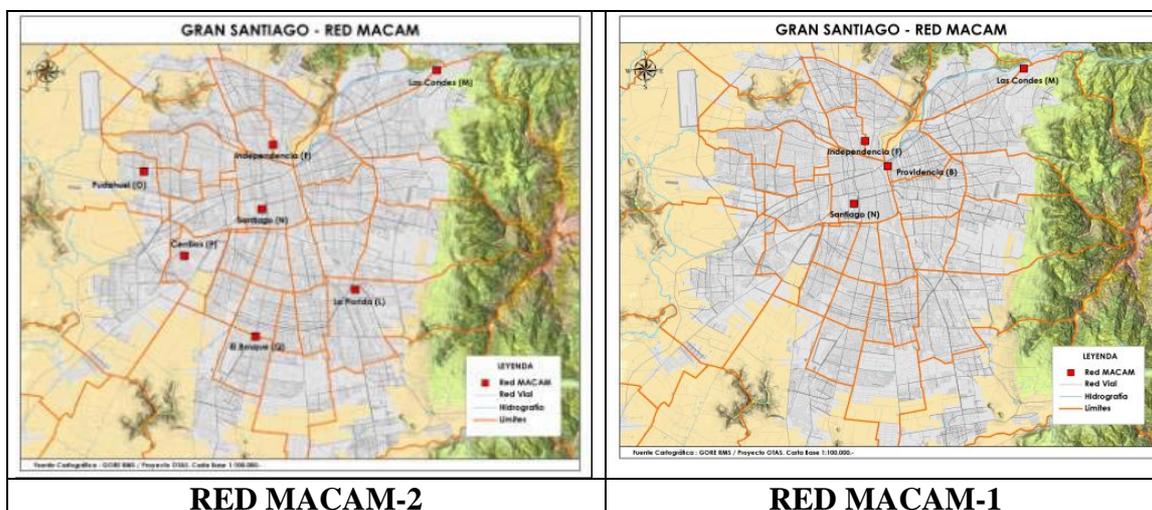
El **ICAP**, índice de calidad del aire por partículas, es una función que relaciona la calidad del aire expresada en concentraciones promedio de 24 horas con categorías numéricas, de forma tal que el valor de ICAP 100, corresponde exactamente al valor de la norma para 24 horas de MP10, 150 microgramos por metro cúbico.

Tabla 3: Definición de los Índices de Calidad del Aire por Material Particulado (ICAP). (Resolución 369/MINSAL 1988)

ICAP	CATEGORIA ICAP	MP10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 HRS.)	NIVEL	EPISODIO
0-100	Bueno	0	0	-
101-200	Regular	150	0	-
201-300	Malo	195	1	Alerta
301-400	Crítico	240	2	Preemergencia
401-500	Peligroso	285	2	Preemergencia
> 501	Excede	330	3	Emergencia

1.4 REDES DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE

En 1988 se instaló en la Región Metropolitana la primera Red de Monitoreo Automática de Contaminantes Atmosféricos (MACAM-1), compuesta por 4 estaciones ubicadas en la zona céntrica de la capital y una quinta estación de tipo móvil, que fue emplazada en la comuna de Las Condes. El año 1996, se llevó a cabo un estudio para proponer una nueva red de calidad del aire para Santiago que recogiera de mejor forma el impacto de la contaminación a nivel poblacional y que, a su vez tuviera una mejor representatividad espacial. Se constituyó así la Red MACAM-2, con ocho estaciones, todas ellas con monitores continuos de material particulado MP10 y monitores de gases según se indica en la tabla 4. Cabe señalar, que la estación Providencia dejó de operar el año 2003.



Fuente: SEREMI de Salud RM- CONAMA Metropolitana

Tabla 4: Red actual de monitoreo (MACAM2)

CODIGO ESTACION	F	L	M	N	O	P	Q
Nombre	La Paz	La Florida	Las Condes	P. O'Higgins	Pudahuel	Cerrillos	El Bosque
Año Puesta en Marcha	1988	1997	1988	1988	1997	1997	1997
Contaminantes Medidos Actualmente	CO, SO ₂ , O ₃ , MP10	CO, SO ₂ , O ₃ , MP10, MP2,5	CO, SO ₂ , NOx/NO ₂ , O ₃ , MP10, MP2,5, α, β	CO, SO ₂ , O ₃ , MP10, MP2,5, α, β, Nitrato, Sulfato	CO, SO ₂ , NOx/NO ₂ , O ₃ , MP10, MP2,5, α, β	CO, SO ₂ , NOx/NO ₂ , O ₃ , MP10, α	CO, SO ₂ , O ₃ , MP10,

Fuente: SEREMI de Salud RM- CONAMA Metropolitana
 α: CH₄ (metano) y NMH (hidrocarburos no metánicos)
 β: carbono orgánico y total del material particulado MP2,5

Todas las estaciones de la red MACAM-2 son operadas por la SEREMI de Salud de la Región Metropolitana (ex SESMA), y están conectadas en forma remota con esta institución y con CONAMA Metropolitana., lo que facilita el seguimiento de la calidad del aire, especialmente en días de episodio, y permite a la ciudadanía acceder en tiempo real a los datos a través de los sitios web de ambos servicios (www.autoridadsanitariarm.cl y www.conamarm.cl)

1.5 CAMPAÑAS DE MONITOREO

Además del monitoreo continuo de los **contaminantes criterio** orientados a la vigilancia de la calidad del aire, es necesario desarrollar campañas específicas, orientadas a mejorar el conocimiento sobre la composición química del material particulado, la determinación del impacto de la contaminación en el sector poniente y la fotoquímica de Santiago, todos elementos clave para la actualización y seguimiento de los planes de descontaminación.

Entre los años 2000 y 2004 se han llevado a cabo diversas campañas tendientes a la caracterización del Material Particulado (MP10), tanto para su fracción fina como gruesa y a determinar las variaciones geográficas del mismo. Estas campañas se han realizado en las estaciones Las Condes, Parque O'Higgins y Pudahuel y han sido ejecutadas por la Universidad de Concepción, que ha caracterizado los aerosoles secundarios inorgánicos (**Nitrato, Sulfato, Cloruro y Amonio**) y Universidad Técnica Federico Santa María de Valparaíso, cuyos profesionales han caracterizado la fracción orgánica de este contaminante (**HAP's**, hidrocarburos alifáticos policíclicos, principalmente)

Para apoyar la caracterización del MP10 y determinar las concentraciones de base (**background**), durante el año 2003 y 2004 CONAMA instaló una estación en la entrada suroeste de la Región Metropolitana, la cual monitorea en forma continua concentraciones de MP10, PM2.5 y gases.

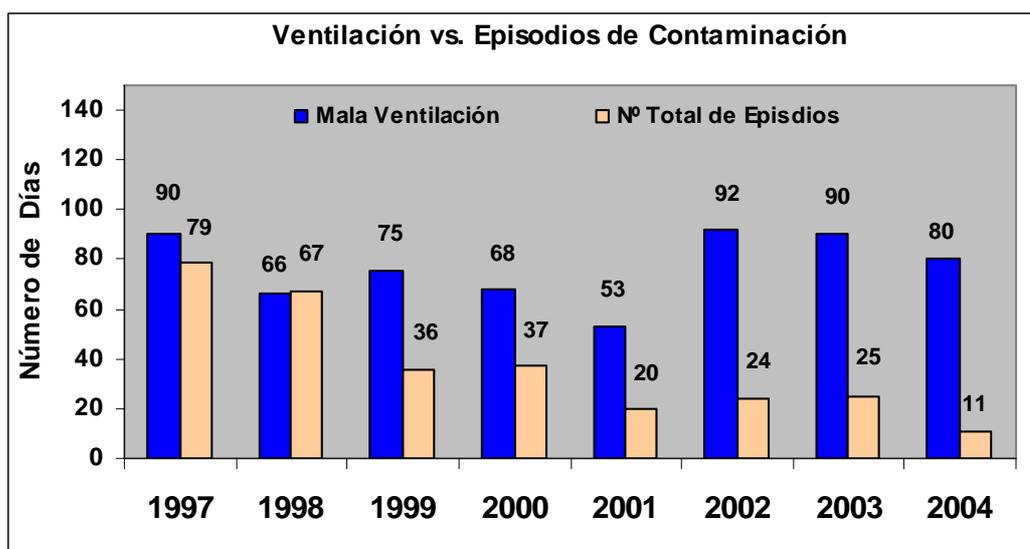


Por otra parte, con el fin de caracterizar la nube de contaminación atmosférica que afecta con mayor intensidad al sector poniente de la ciudad, durante los años 2001 y 2003 se llevó a cabo una campaña de monitoreo a cargo del Dpto. de Física de la Universidad de Santiago, quienes midieron el coeficiente de absorción óptica en varios puntos dentro de la zona de estudio:

Quinta Normal, Estación Central, Quilicura y Aeropuerto de Pudahuel. Estas mediciones se correlacionan muy bien con las concentraciones de carbono elemental, asociado a los procesos de combustión, a los cuales están orientados los mayores esfuerzos del Plan de Descontaminación. En forma complementaria, el Dpto. De Geofísica de la Universidad de Chile ha desarrollado una campaña meteorológica específica para determinar el comportamiento en la zona de la micro meteorología. El análisis simultáneo de estos resultados permitirá precisar las concentraciones, extensión y dinámica de la nube de contaminación. Como parte de este mismo esfuerzo, durante el invierno del año 2003 se realizó una campaña para medir en la zona de Pudahuel las concentraciones de Material Particulado Ultrafino, con especial atención en los días de episodio. Este elemento es un indicador que permitirá determinar en qué medida los aumentos en las concentraciones durante episodios críticos son producto de fuentes locales o de emisiones que se transportan desde otros sectores de la ciudad.

Sin duda, producto de lo anterior es que se han logrado importantes avances en el conocimiento de los problemas de contaminación de Santiago, especialmente en lo que respecta a la identificación del aporte de cada actividad a las concentraciones que finalmente respiramos de material particulado, lo que ha permitido mejorar la focalización de medidas de descontaminación.

Figura 2: Ventilación y episodios de contaminación.

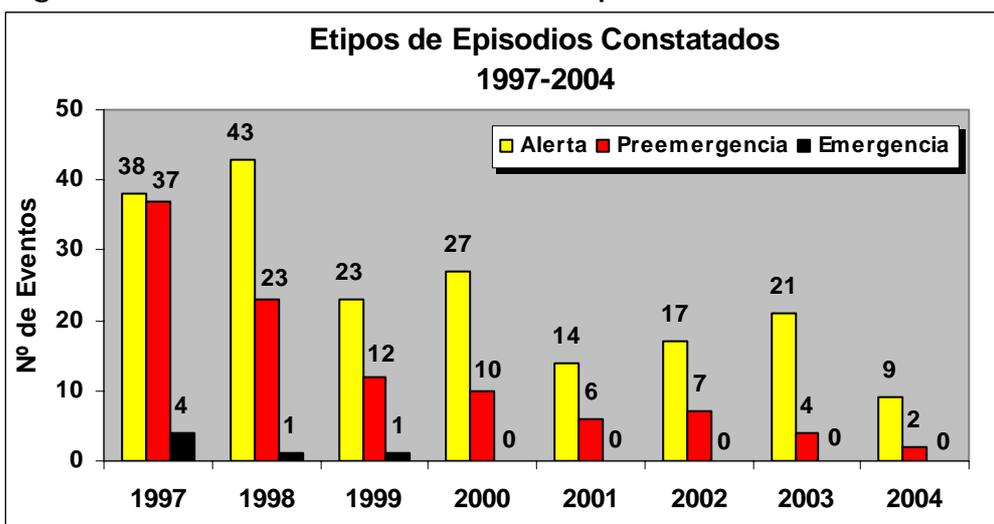


Fuente: CENMA- CONAMA Metropolitana

El gráfico presentado de esta forma, muestra que los años 1997 y 2003 son meteorológicamente similares, tanto desde un punto de vista de las malas condiciones de ventilación como por la ocurrencia del fenómeno del Niño. Despejada la variable meteorológica, las variaciones en los niveles de calidad del aire se pueden explicar por cambios en los patrones de emisión de contaminantes, tales reducciones en los patrones de emisión están asociadas a la implementación del PPDA. Como resultado se observa entonces, una reducción significativa de episodios críticos, pasando de 79 eventos el año 1997 a 25 el 2003 y sólo a 11 eventos el 2004.

La figura 3 muestra los episodios constatados en los últimos 8 años. Es posible ver cómo se ha reducido el número episodios de contaminación atmosférica en la Región Metropolitana. Así, el año 2004 sólo se registraron 2 eventos de preemergencia y 9 de alerta ambiental.

Figura 3: Evolución de la ocurrencia de episodios



Fuente: SEREMI de Salud RM-CONAMA Metropolitana

(*) A partir de Abril de 1997

Del gráfico anterior, se debe destacar que en los últimos cinco años no se han registrado emergencias ambientales. Las preemergencias por su parte han caído de 37 eventos el año 1997 a 2 el año 2004.

2.1 METEOROLOGIA ASOCIADA A EPISODIOS CRÍTICOS

La Cuenca de Santiago, ubicada en la zona central de Chile (33.5° de latitud S), presenta patrones meteorológicos de transición entre las condiciones áridas de la zona norte y la alta pluviosidad característica de la zona sur, lo que se traduce en marcadas variaciones de temperatura y precipitación para la cuenca entre los períodos de otoño-invierno y primavera-verano.

Las condiciones de ventilación y dispersión de contaminantes en la cuenca dependen de las diferentes configuraciones meteorológicas que a escalas sinóptica, regional y local, evolucionan sobre la zona central, las que están potenciadas por su topografía. Los episodios por MP10 que se registran en el periodo Otoño-Invierno en la cuenca de Santiago, se asocian a las configuraciones meteorológicas denominados **Tipo A y BPF**. (J. Rutllant en 1994)

Configuración Tipo A	Configuración Tipo BPF
<p>El paso simultáneo de un flujo de aire descendente (dorsal) en altura sobre la zona central, un sistema de bajas presiones en superficie desplazándose sobre la cuenca de Santiago desde el norte y la influencia de un sistema de altas presiones frío ubicado en la zona centro norte de Argentina. Esta configuración genera mala ventilación y baja remoción de contaminantes desde la superficie.</p> <p>Se caracteriza por una disminución de la humedad y el aumento de la temperatura, fortaleciendo el fenómeno de inversión térmica, que inhibe el movimiento de aire y por consiguiente la remoción de los contaminantes emitidos por la ciudad. Los episodios de contaminación asociados a esta configuración generan su mayor impacto en la zona Poniente, situación que se ha observado en la estación Pudahuel.</p>	<p>La estabilidad del aire sobre la cuenca de Santiago también se observa con la aparición de flujos ascendentes (vaguada en altura) que acompañan el paso de un sistema frontal débil. Este ascenso de aire genera la formación de nubosidad sobre la ciudad antes del ingreso del sistema frontal, de ahí su nombre, Baja Pre Frontal (BPF)</p> <p>Los episodios de contaminación asociados a esta configuración meteorológica a diferencia de lo observado con la configuración tipo A, generan impacto en las estaciones ubicadas en la zona Sur y Centro de la ciudad, estaciones de Calidad del aire Parque O'Higgins, El Bosque y Cerillos.</p>

3. EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE DE SANTIAGO

La evolución de la calidad del aire en la Región Metropolitana se presenta en dos sub capítulos denominados: Evolución histórica del Material Particulado (1989-2004) y Evolución de la calidad del aire en el periodo de aplicación del PPDA

El primero se concentra en la evolución del Material Particulado en forma exclusiva de acuerdo a los monitores instalados en 5 estaciones de la Red MACAM 1, tres de los cuales han operado en forma permanente hasta la actualidad.

El otro sub capítulo, expone la evolución del material particulado y gases realizado en la Red MACAM 2 desde el año 1997, por lo tanto es coincidente con la aplicación del Plan de Descontaminación.

3.1 EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL MATERIAL PARTICULADO: 1989-2004

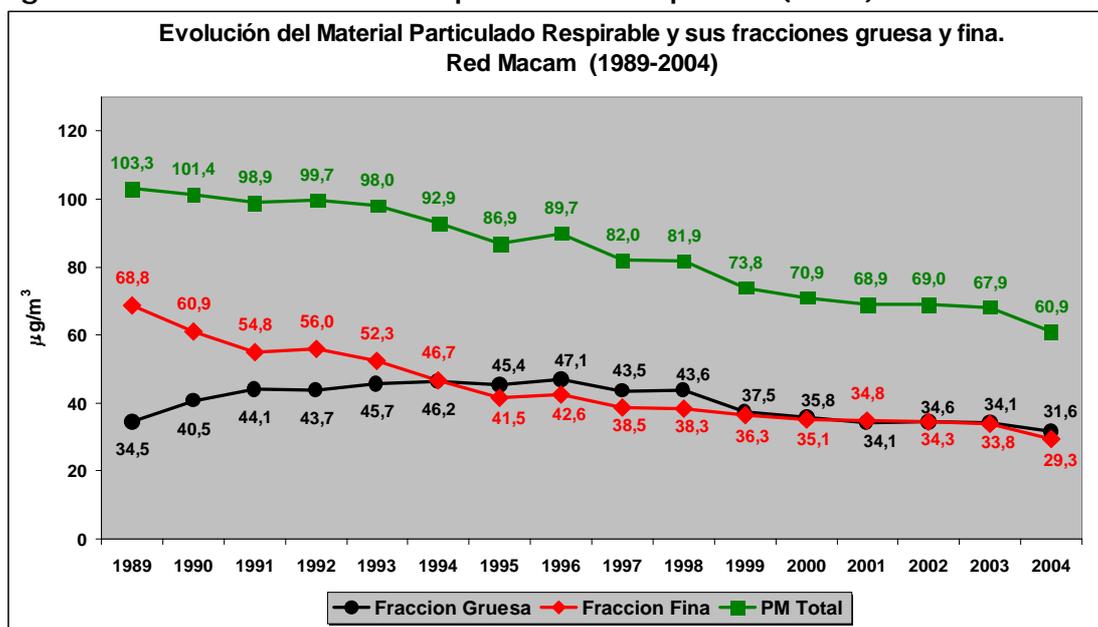
El presente análisis está orientado a dar una visión más amplia de la evolución de los niveles de concentración de material particulado en la ciudad de Santiago, desde que se dio inicio al proceso de descontaminación de la ciudad. Para ello, se han usado los datos recogidos de las estaciones de monitoreo que operan desde el año 1989 y que corresponden a la red MACAM-1.

En esta red se ha monitoreado el MP10 con monitores dicotómicos, equipos que permiten separar la fracción fina y gruesa del MP10 mediante filtros (la fracción fina compuesta por partículas menores que 2,5 micrómetros y la fracción gruesa por partículas entre 2,5 y 10 micrómetros). Esto es de gran utilidad para identificar el impacto que han tenido las diversas medidas han tenido sobre la calidad del aire, debido a que las fuentes que emiten uno u otro tipo de partículas son distintas, al igual que el efecto que éstas tienen sobre la salud.

La fracción fina del material particulado tiene un impacto significativo sobre la salud debido a que existe un mayor grado de penetración y permanencia de éstas en el aparato respiratorio, lo que combinado con la composición química de las mismas, las hace más peligrosas. Estas partículas se generan principalmente a partir de procesos de combustión (transporte, industria, quema de biomasa, etc.)

La generación de la fracción gruesa en cambio, se asocia al polvo resuspendido en las calles, tratamiento de áridos y actividades de construcción. En la figura que se presenta a continuación se muestra como han variado los niveles de concentración de material particulado en el periodo 1989 a 2004 para las distintas fracciones que lo componen.

Figura 4: Evolución del material particulado respirable (MP10)



Fuente: SEREMI de Salud-CONAMA Metropolitana

Principio de medición: Equipo Dicotómico

Incluye estaciones Providencia, La Paz, Parque O'Higgins y Las Condes (1992 a 1994 no considera estación Parque O'Higgins en los cálculos)

La fracción fina ha registrado una reducción sostenida, llegando el año 2004 al 57% de la concentración registrada el año 1989, reducción que es consistente con las medidas orientadas a controlar los procesos de combustión: congelamiento de emisiones del sector industrial, retiro de más de 3 mil buses antiguos a comienzos de la década de los noventa, mejoramiento de los combustibles diesel y gasolinas, introducción del gas natural en la industria, entre otras medidas. La fracción gruesa en cambio, muestra una tendencia creciente hasta el año 1996, la

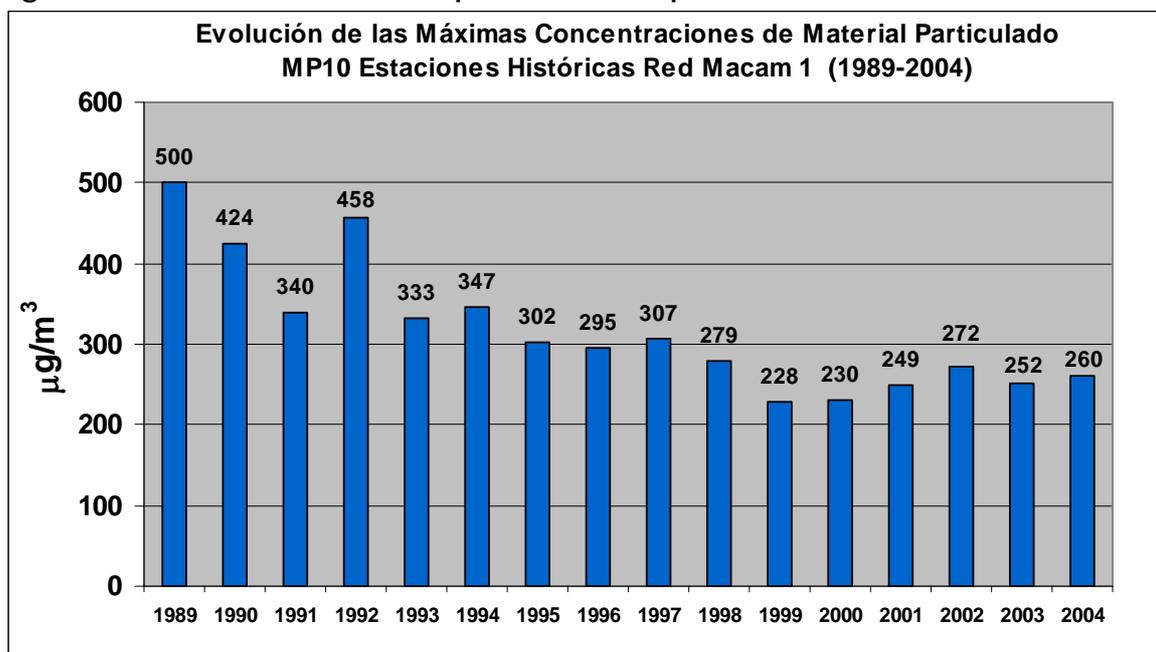
que se revierte con la implementación de programas de pavimentación de calles y de lavado y aspirado de calles.

La concentración promedio anual para el año 2004 alcanza $60,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, todavía por sobre la norma anual de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que se estableció en la modificación del D.S N° 59/98 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia con el objetivo de proteger a la población de los efectos crónicos de este contaminante. Lo anterior implica la necesidad de implementar nuevas medidas tendientes a seguir reduciendo este contaminante, según se plantea en la Actualización del PPDA.

En relación a las concentraciones diarias de MP10 que dan cuenta de los efectos agudos de este contaminante, de la figura 2 se desprende que los niveles de concentración de promedios máximos diarios anuales de MP10 registrados en la Red MACAM-1 se han reducido en el tiempo de manera consistente. El año 1989 el máximo alcanzó un promedio diario de $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que significa 3,3 veces el valor de la norma. El último año (2004), este valor llegó a $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que corresponde a 1,7 veces la norma.

Otro elemento a destacar es que el año 1990 se registraron 95 superaciones de la norma diaria, mientras que el 2004 las superaciones alcanzan 11 eventos.

Figura 5: Evolución del material particulado respirable, máximos diarios



Fuente: CONAMA Metropolitana

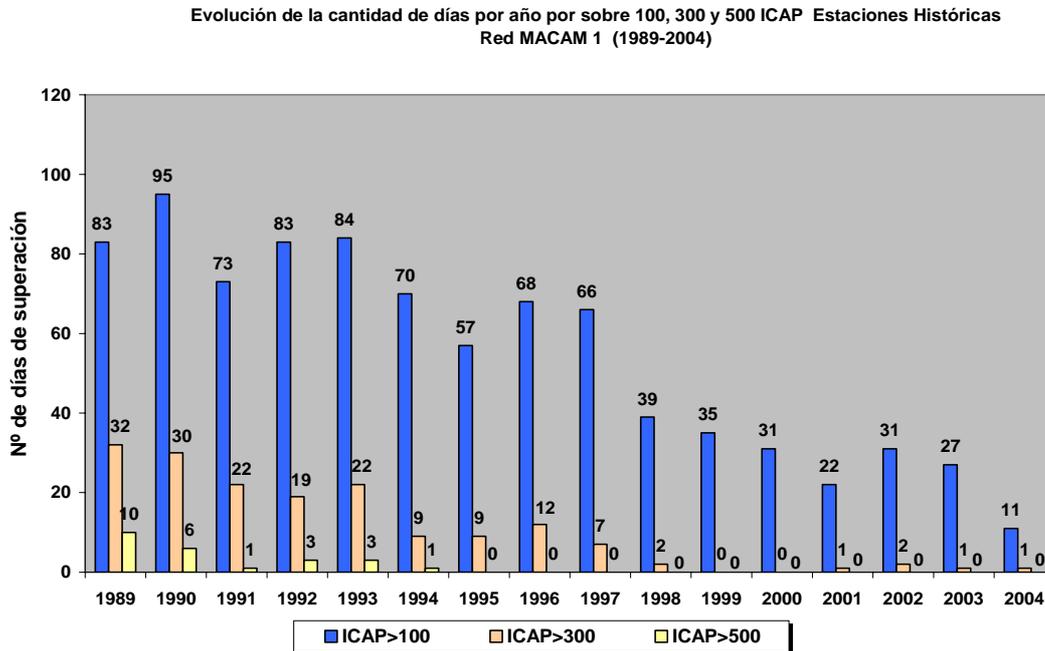
Principio de medición: Equipo Dicotómico

Estaciones Históricas: La Paz, Parque O'Higgins, Providencia, Las Condes

Nota: No se consideró información estación Parque O'Higgins los años 1993-1994, por estar afectada por actividades de construcción en su entorno.

Respecto de los índices de calidad de aire la superación de los niveles 100, 300 y 500 de ICAP constatados en la red MACAM1 en el período 1989-2004 muestran una reducción importante, siendo el hecho más destacable el que no se han registrado emergencias en los últimos diez años.

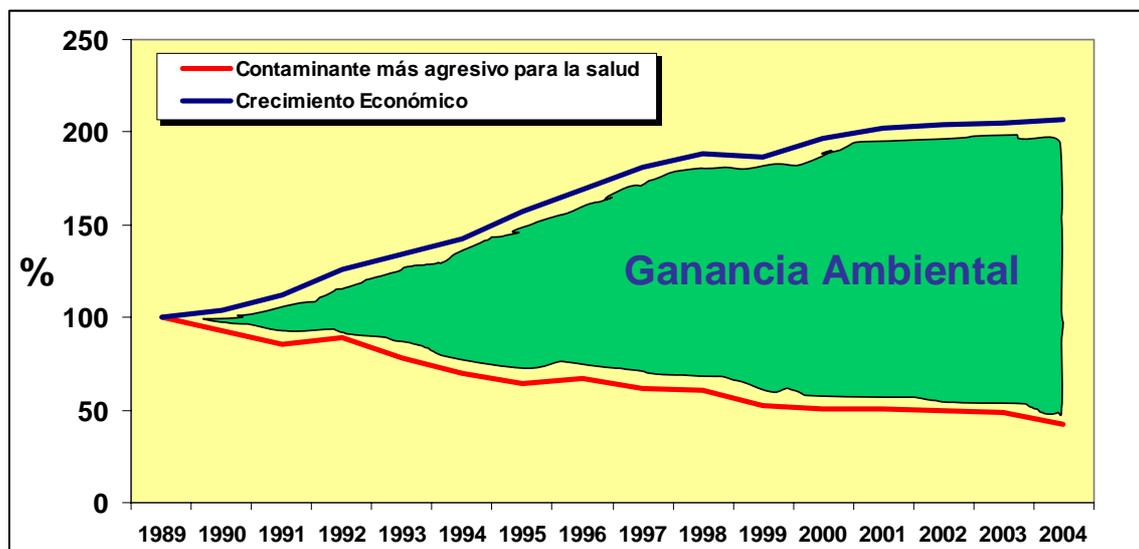
Figura 6: Superación de Índices de Calidad de Aire ICAP 100, 300 y 500 (Red MACAM 1)



Fuente: CONAMA Metropolitana
 Principio de medición: Equipo Dicotómico
 Estaciones Históricas: La Paz, Parque O'Higgins, Providencia, Las Condes.

En los países en desarrollo, el crecimiento económico ha traído, en general, un incremento de los niveles de contaminación atmosférica. En Santiago, sin embargo, se ha conseguido bajar las concentraciones del contaminante más peligroso (fracción fina del MP10) al mismo tiempo que la ciudad prácticamente duplicaba su actividad económica. A este efecto lo hemos llamado *Ganancia Ambiental*, y está asociada a los beneficios en salud de la población. La figura a continuación representa la *Ganancia Ambiental* registrada en la Región Metropolitana por medio de dos curvas: El crecimiento económico (PIB regional anual) y descontaminación, representada a través de las concentraciones de material particulado fino, el contaminante más agresivo para la salud.

Figura 7: Crecimiento Económico Región Metropolitana-Descontaminación



Fuente: CONAMA Metropolitana

En la figura se aprecia el sostenido crecimiento económico que ha experimentado en estos años la Región Metropolitana en conjunto con la disminución de las concentraciones de material particulado respirable fino, lo que refleja un importante avance en la gestión ambiental. Estos logros son producto de la acción coordinada entre los diferentes actores a nivel de Gobierno y la sociedad, representada por los diferentes sectores económicos industrial, combustibles, transporte y, por supuesto, los habitantes de la Región Metropolitana.

Los avances son evidentes, sin embargo la percepción de la población respecto de la calidad del aire resulta distinta, aún cuando los datos indican que se han reducido en forma considerable el número e intensidad los episodios críticos de contaminación. Tal percepción se funda en que a la fecha continúan los estados de preemergencia ambiental.

Para permitir al lector una mirada retrospectiva de la ciudad, nos hemos permitido un sencillo balance que compara algunos elementos vinculados con la contaminación atmosférica en dos periodos distintos: a principios de los noventa y la situación actual. De esta forma, es posible darse cuenta como se explica que la calidad del aire registre una importante mejoría.

Tabla 5: Balance Histórico

FUENTE	10 AÑOS ATRÁS	AHORA
Buses	14.000 15 años Promedio	7.500 5 años Promedio
Diesel	5.000 ppm de Azufre	50 ppm de azufre
Gasolinas	Todas con Plomo	Todas sin Plomo
Vehículos Particulares	100% Convencionales	25% Convencionales 75% Catalíticos
Industria	Leña, Carbón y Petróleos Pesados	Gas Natural Diesel 50 ppm azufre
Generación Eléctrica	Carbón	Gas Natural

Fuente: CONAMA Metropolitana

El transporte público ha sido sometido a dos procesos de licitación que han mejorado su operación y han reducido el número y antigüedad de los buses, al mismo tiempo que han mejorado su tecnología. Desde el año 1994 sólo pueden ingresar a Santiago buses con emisión certificada. El mayor cambio en el sector no se producirá, sin embargo, sino en una primera etapa el año 2005, con la implementación de Transantiago, que concluirá el año 2006. Todo orientado a mejorar el sistema de transporte público para mantener e incrementar su uso.

El mejoramiento de la calidad de los combustibles, donde destaca la reducción en los contenidos de azufre en el diesel, la eliminación de las gasolinas con plomo y el ingreso del gas natural.

Por otra parte, se ha producido una rápida renovación del parque vehicular. Santiago cuenta actualmente con más de un 80% de vehículos catalíticos, con emisiones considerablemente menores que las de vehículos convencionales. Un complejo y eficiente sistema orientado al control de las emisiones del parque vehicular, conformado por tres grandes eslabones: normas de ingreso y la certificación de éstas en el laboratorio de control de emisiones más avanzado de Latinoamérica, un sistema de revisión técnica obligatorio y la fiscalización en terreno, todas estas medidas que no son menos importantes pues han permitido la circulación de vehículos más limpios.

Cuando nos acostumbramos a los cambios, muchas veces se nos olvida el impacto que ellos produjeron. A partir de la década pasada, Santiago sufrió grandes transformaciones necesarias para el control de la contaminación atmosférica, y seguirá cambiando durante esta década, para llegar al Bicentenario cumpliendo con todas las normas de calidad del aire.

3.2 EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL PERIODO DE APLICACIÓN DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN

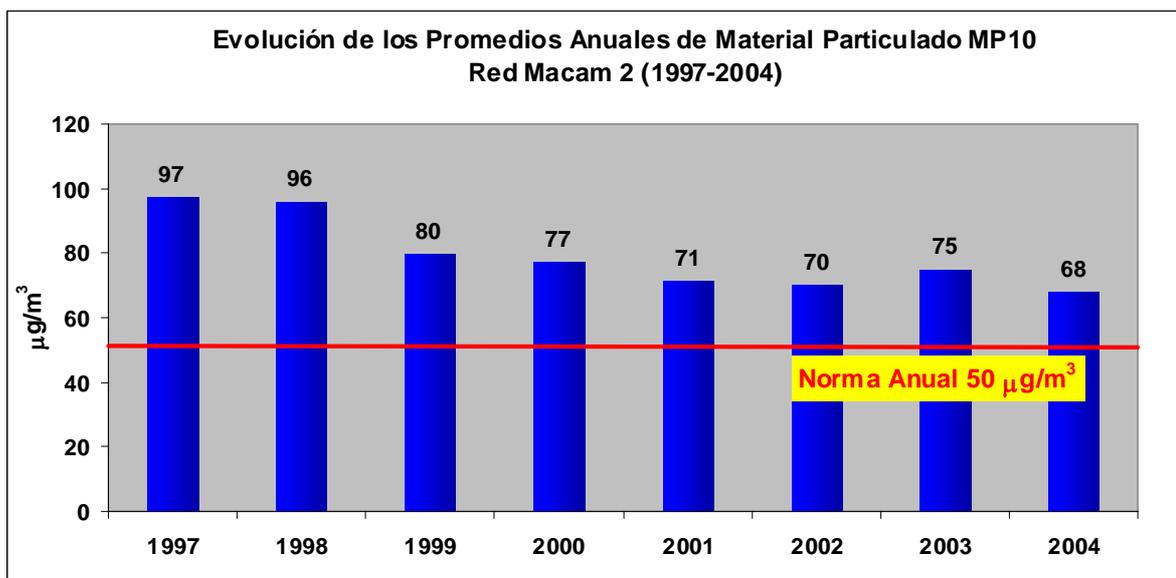
Material Particulado Respirable MP10

El material particulado es el principal contaminante que afecta a la ciudad de Santiago. Por esta razón, su evolución en el período de estudio será analizada en detalle a través de los promedios anuales y los máximos diarios, agregados para toda la red de monitoreo. Para entregar al lector una idea del comportamiento a nivel espacial, se presenta además, información de todas las estaciones de la red MACAM-2 en forma individual.

La evolución de los promedios anuales de MP10 para las estaciones de la red se muestra en la figura 8, en la cual se observa que existe una evolución positiva de los niveles de concentración hasta el año 2002, un aumento considerable el año 2003 y el año 2004 vuelve a la normalidad según la tendencia que venía registrando. Una interpretación de este empeoramiento del año 2003 será analizado más adelante por estación.

La situación respecto de la norma anual ha mejorado de forma significativa, pasando de concentraciones que duplicaban el valor de la norma el año 1997 a la situación actual, donde se supera en un 50%.

Figura 8: Evolución de Promedios Anuales de MP10

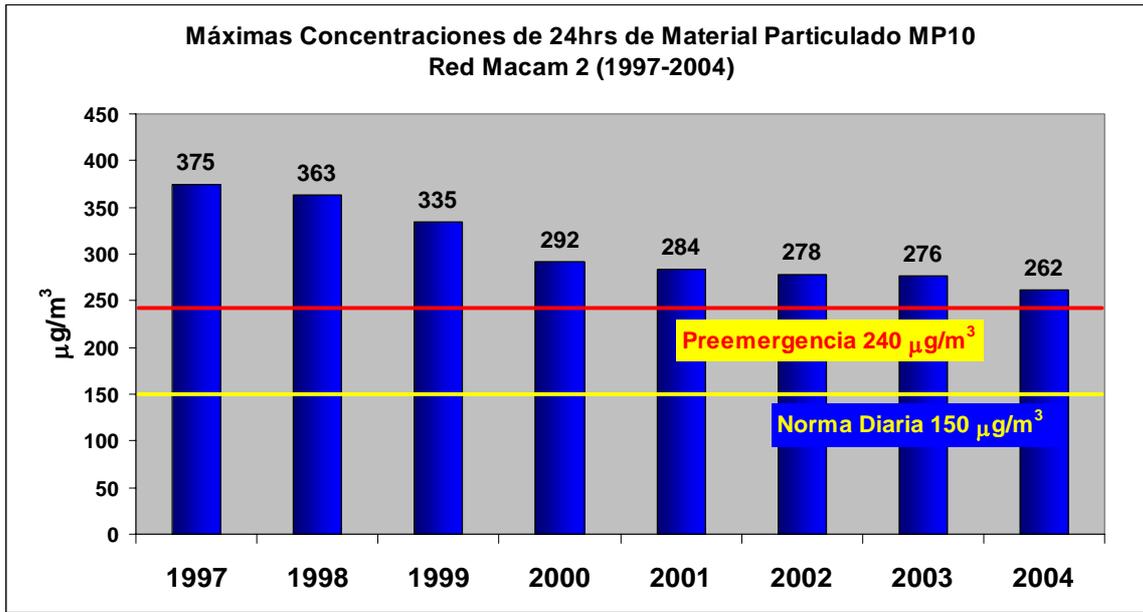


Fuente: SEREMI de Salud RM-CONAMA Metropolitana

En relación a las concentraciones diarias, expresadas como máximos diarios, en la figura 9 se observa una disminución sostenida de las concentraciones hasta el año 2000 y posteriormente una tendencia a la estabilización de las mismas. Esto hecho puede deberse a que los inviernos 2002 y 2003 presentaron condiciones de ventilación particularmente adversas.

En lo que se refiere al cumplimiento de norma diaria de calidad, la relación entre la concentración medida y la norma pasó de 2,5 veces el año 1997 a 1,7 veces el 2004. Además, esta concentración se encuentra a 22 µg/m³ del límite para no superar el nivel de pre-emergencia ambiental (240 µg/m³).

Figura 9: Evolución de Máximos Diarios de MP10

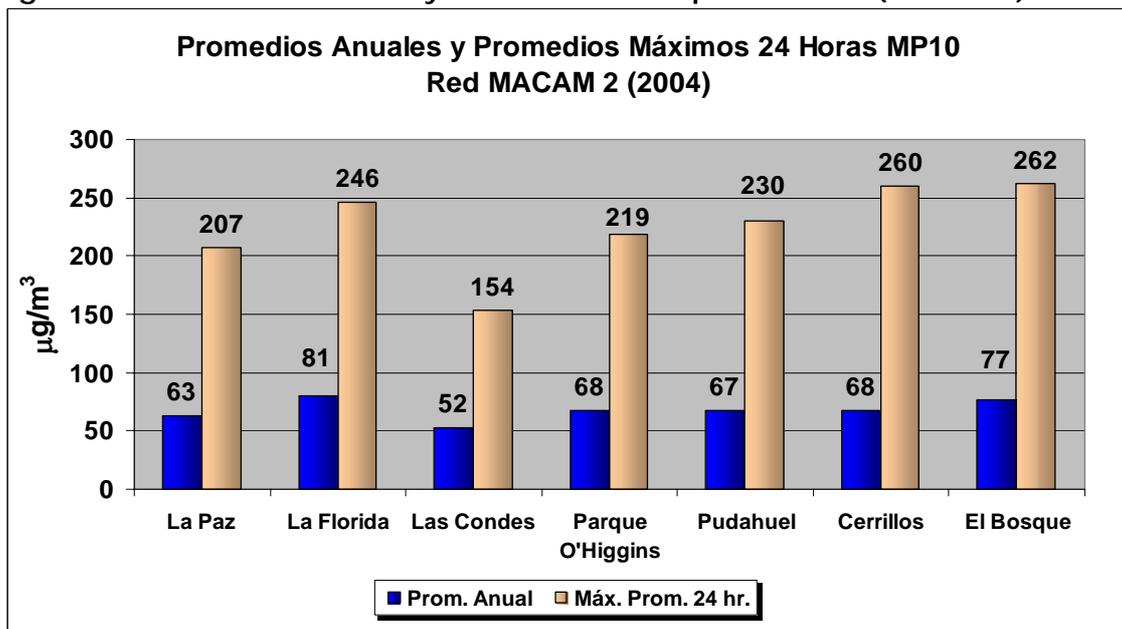


Fuente: SEREMI de Salud RM-CONAMA Metropolitana

En relación a la distribución geográfica del contaminante, la figura 10 muestra que los promedios anuales de MP10 son muy similares en toda la ciudad, con la sola excepción de Las Condes, estación que muestra una concentración anual mucho más baja, cercana al cumplimiento de la norma anual. Lo mismo ocurre con los máximos diarios, en donde la estación de Las Condes aparece muy por debajo de las otras estaciones y muy cerca de la norma diaria.

El hecho más preocupante es el nivel máximo alcanzado por las estaciones de El Bosque y Cerrillos, las cuales están por encima incluso que la estación Pudahuel, estación que hasta el año 2002 siempre registró el máximo de la red. Otro hecho destacable es la constatación que cuatro de las siete estaciones no registraron preemergencias durante el año 2004, dentro de las cuales está Pudahuel, estación que históricamente siempre registró este episodio.

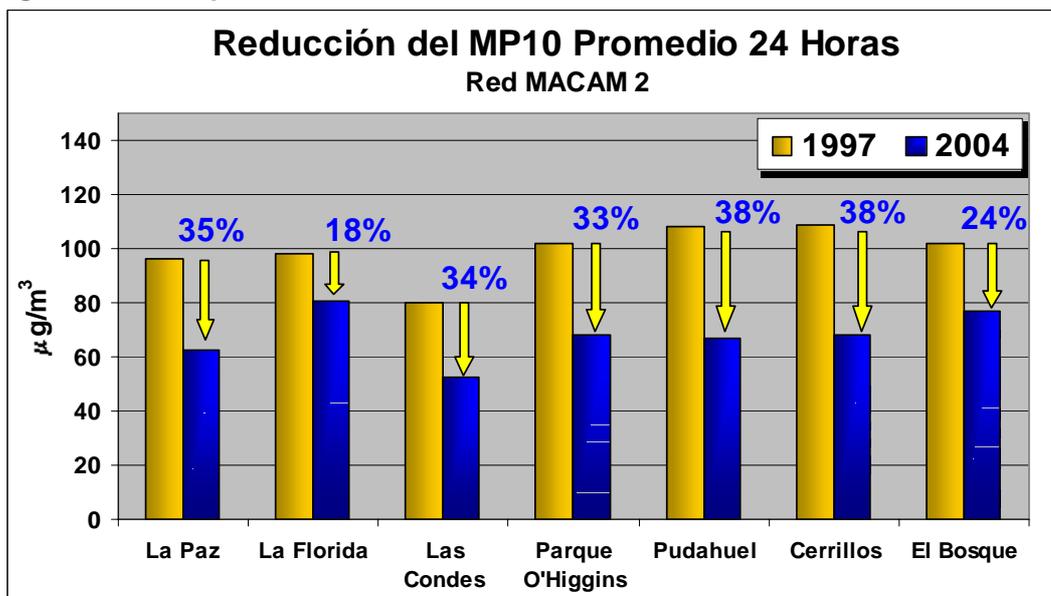
Figura 10: Promedios Anuales y Máximos Diarios por Estación (año 2004)



Fuente: SEREMI de Salud RM-CONAMA Metropolitana

La evolución por estación de las concentraciones para el período de análisis, muestra que las medidas implementadas han tenido un importante impacto en el mejoramiento de la calidad del aire a nivel de toda la ciudad, lo que se manifiesta en que todas las estaciones muestran reducciones importantes en las concentraciones promedio, las cuales van desde un 18% en La Florida, hasta un 38% en Pudahuel y Cerrillos (ver figura 11). Estos resultados, permiten ratificar el concepto que dio origen a la declaración de Zona Saturada: la necesidad de abordar el control de la contaminación en forma global, con medidas que permitan reducir las emisiones de la ciudad en su conjunto. Las altas concentraciones que afectan con mayor intensidad a Pudahuel, no se deben a un problema local de Pudahuel.

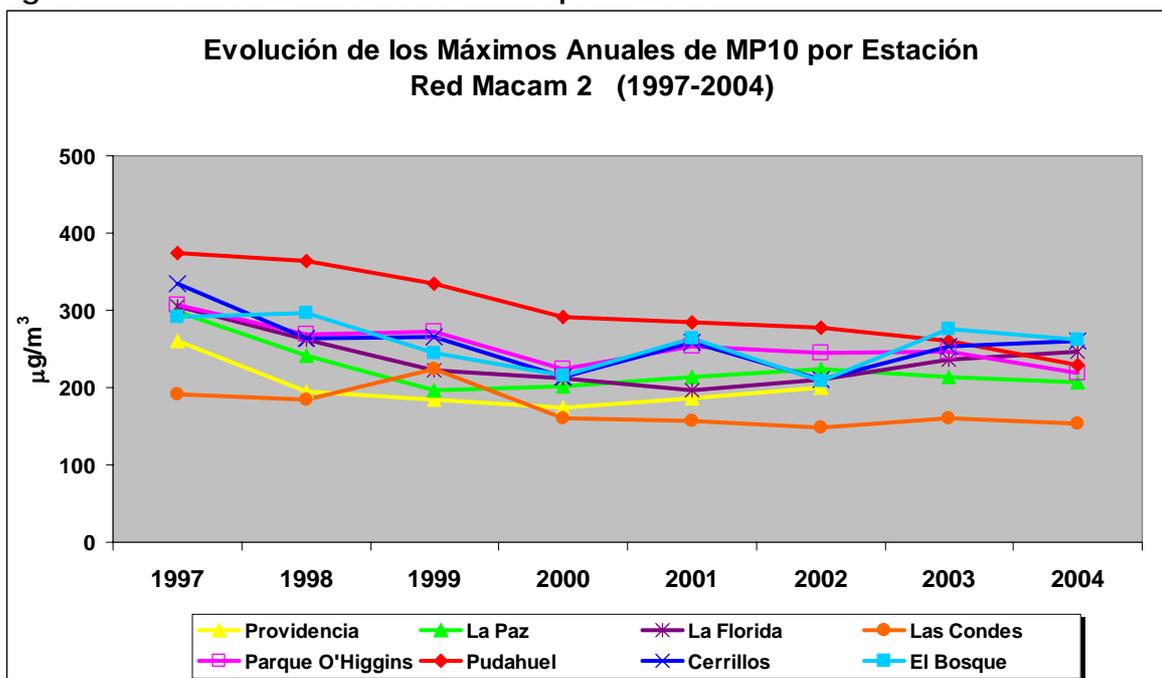
Figura 11: Comparación de los Promedios Invernales de MP10



Fuente: SEREMI de Salud RM- CONAMA Metropolitana

Nota: El período (invernal) considerado es 04 Abril al 17 de Septiembre.

Figura 12: Promedios Anuales de MP10 por Estación



Fuente: SEREMI de Salud- CONAMA Metropolitana

Finalmente, el análisis de los promedios anuales por estación para todo el período, nos muestra como se han comportado las tendencias en forma individual. Hay dos estaciones que muestran un incremento importante a nivel de promedios anuales el último año, estas son La Florida y Cerrillos, todas ellas sometidas a impactos por cambios en su entorno, por el redireccionamiento del tráfico asociado a mejoras de la infraestructura vial de la Región Metropolitana, sin embargo, en ambos casos el impacto es transitorio.

Material Particulado Respirable MP2,5

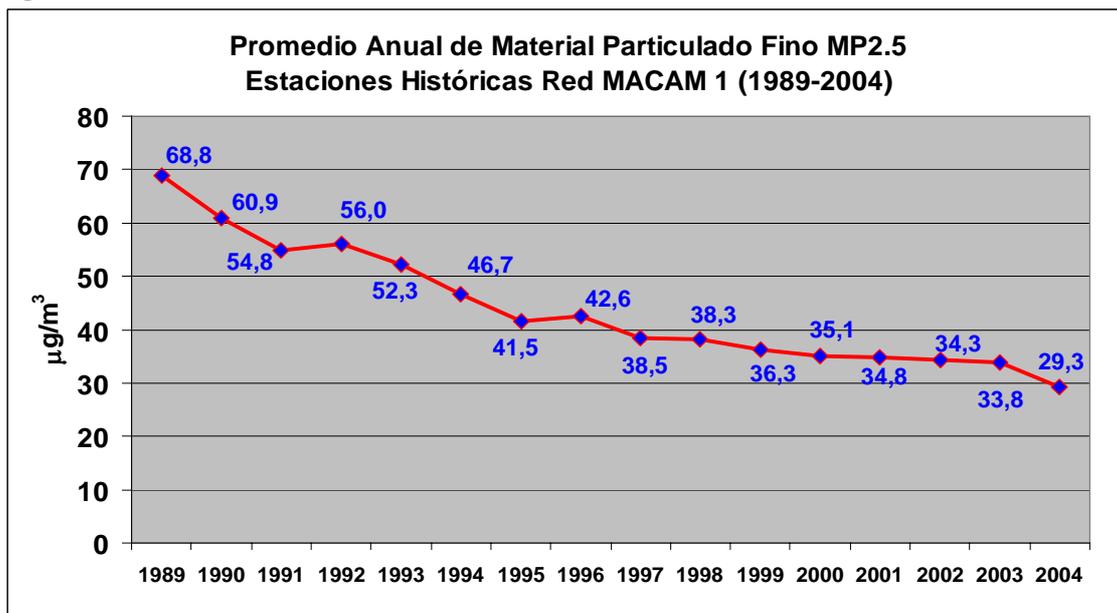
El MP2,5, se ha monitoreado en la Red MACAM-1 desde el año 1989, como la fracción fina de los monitores Dicotómicos, aún en funcionamiento en las estaciones La Paz, Parque O'Higgins y Las Condes. Desde el año 2000, esta fracción está siendo medida en forma continua con monitores TEOM2.5 en las estaciones La Florida, Las Condes, Parque O'Higgins y Pudahuel de la Red MACAM-2.

Por otra parte, desde el año 1996, CONAMA RM ha estado desarrollando diversos estudios de caracterización del material particulado fino, la fracción más peligrosa para la salud humana. Esta fracción está compuesta mayoritariamente por derivados de carbono y aerosoles secundarios, que no son emitidos directamente a la atmósfera, sino que se forman fundamentalmente por reacciones químicas de sustancias primarias como óxidos de nitrógeno (NOx), dióxido de azufre (SO₂), amoníaco (NH₃) y compuestos orgánicos volátiles (COV).

De los elementos presentes en la fracción fina, los más peligrosos para la salud humana son los derivados de carbono conocidos como "carbono orgánico", por tener acción cancerígena de algunos de sus compuestos que la componen y propiedades tóxicas de otros. El "carbono elemental" es también relevante ya que es el portador en el que se adsorben gases como SOx y NOx que, junto con la humedad atmosférica, generan la acidez del material particulado.

La figura 13, da cuenta de la reducción sostenida de esta fracción en la Red MACAM-1, reducción que alcanza el 57% en el período de análisis. Desde el año 1999, se observan tasas de reducción mucho menores, lo cual es consistente con la experiencia internacional de "rendimientos decrecientes". Esto obliga a reforzar y aumentar las medidas de reducción de emisiones. Este efecto también está marcado por los años 2002 y 2003, que presentaron mala ventilación.

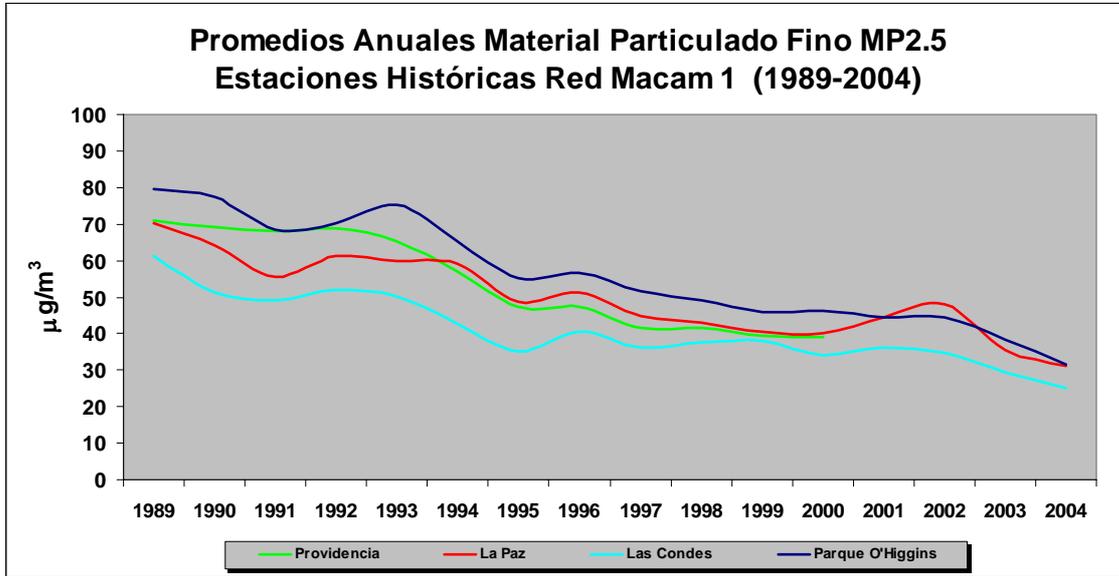
Figura 13: Evolución de las concentraciones de PM2.5



Fuente: SEREMI de Salud RM- CONAMA Metropolitana
Principio de medición: Equipo Dicotómico

Al analizar las estaciones en forma individual, es posible observar que la estación La Paz presenta una tendencia creciente a partir del año 2001. Como ya se explicó para el caso de MP10, Av. La Paz se transformó en eje troncal de transporte público. Se puede suponer entonces, que este aumento en la fracción fina se debe a que la estación está impactada directamente por el tráfico, y no a un aumento de la contaminación en esta zona, situación que se invierte a partir del año 2003 (ver figura 14) en donde los proyectos viales comenzaron su etapa de entrega.

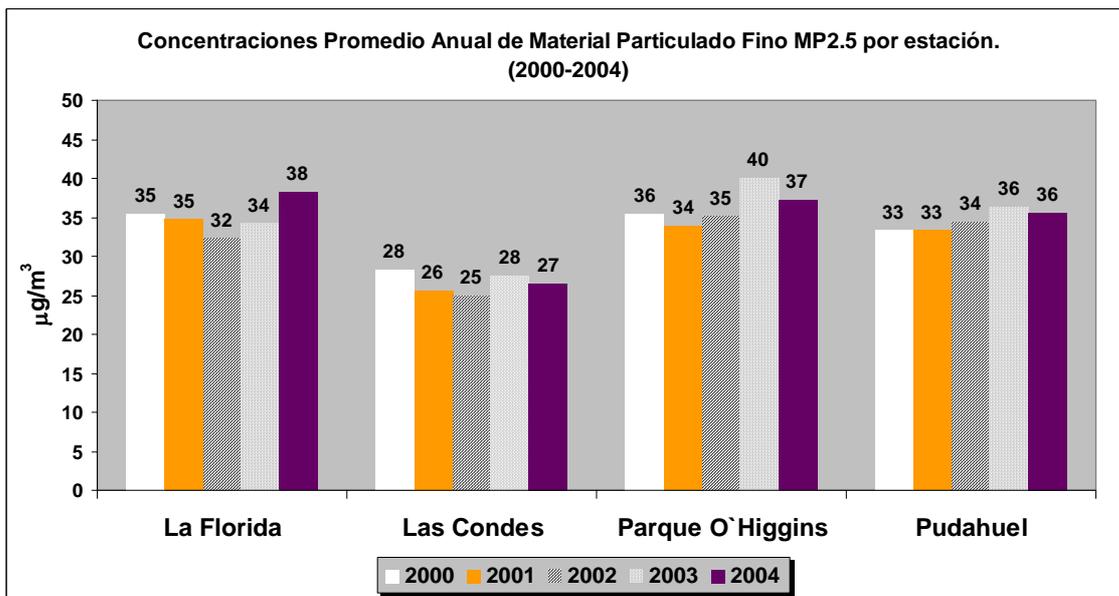
Figura 14: Evolución de las Concentraciones de MP2.5 por Estación.



Fuente: SEREMI de Salud- CONAMA Metropolitana
Principio de medición: Equipo Dicotómico

Las estaciones que cuentan con monitores TEOM2.5, en funcionamiento desde el año 2000, presentan concentraciones promedio anual muy similares, prácticamente con ninguna diferencia entre las estaciones La Florida, Parque O'Higgins y Pudahuel. La estación La Florida presenta un aumento en concentraciones el último año, lo que se debe al impacto directo del tráfico en su entorno, ver figura 15.

Figura 15: Evolución de los Promedios Anuales de MP2.5



Fuente: SEREMI de Salud- CONAMA Metropolitana

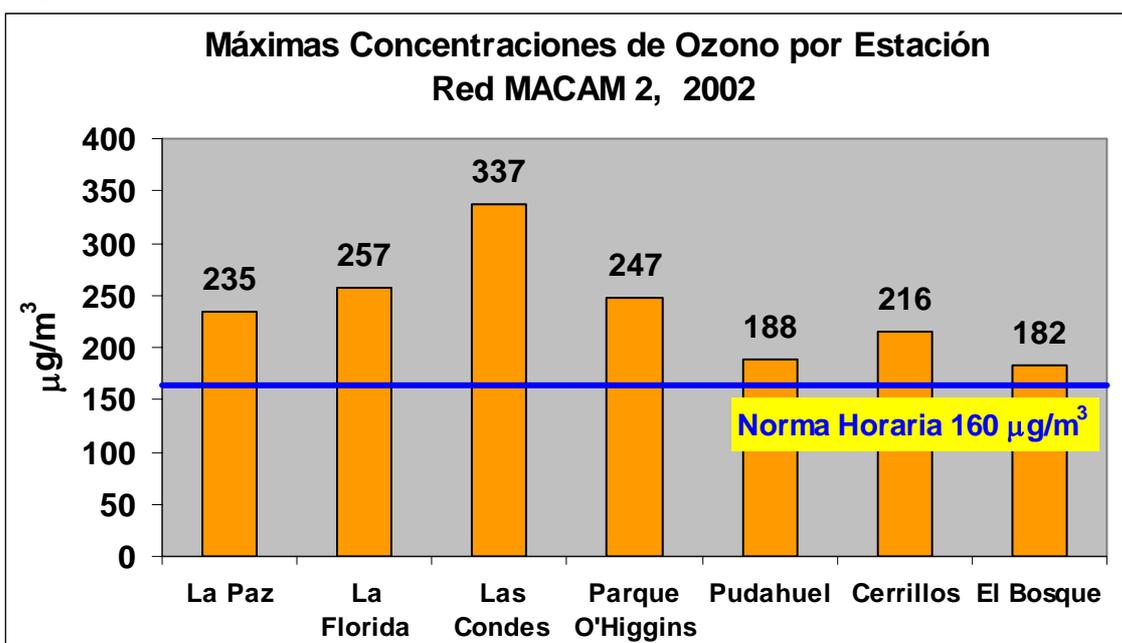
Las concentraciones medidas son en general altas, y representan del orden del 50% de las concentraciones de MP10 para cada estación.

Ozono (O₃)

El ozono troposférico es un contaminante de origen fotoquímico y, como tal, ve sus concentraciones fuertemente afectadas por diversos factores meteorológicos, entre los cuales se destacan la velocidad del viento, la temperatura y, sobre todo, la intensidad de la radiación solar. Por esta razón, las máximas concentraciones deberían ocurrir en el período de primavera y verano, en aquellos lugares que estén a cierta distancia viento abajo de las fuentes emisoras de los contaminantes primarios que dan origen al ozono (óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles).

La figura 16, muestra la distribución de los niveles máximos de concentración de Ozono en las diferentes estaciones de monitoreo. En ella se puede observar que en las comunas de la zona oriente, Las Condes, Vitacura y Lo Barnechea, ubicadas viento abajo del centro de la ciudad, están afectadas por las mayores concentraciones de ozono. La norma horaria de 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (que a partir del año 2006 será de 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) se superó el año 2002 en todas las estaciones de la red, pero las mayores concentraciones se alcanzaron en las estaciones ubicadas en el sector oriente de la ciudad, Las Condes y La Florida.

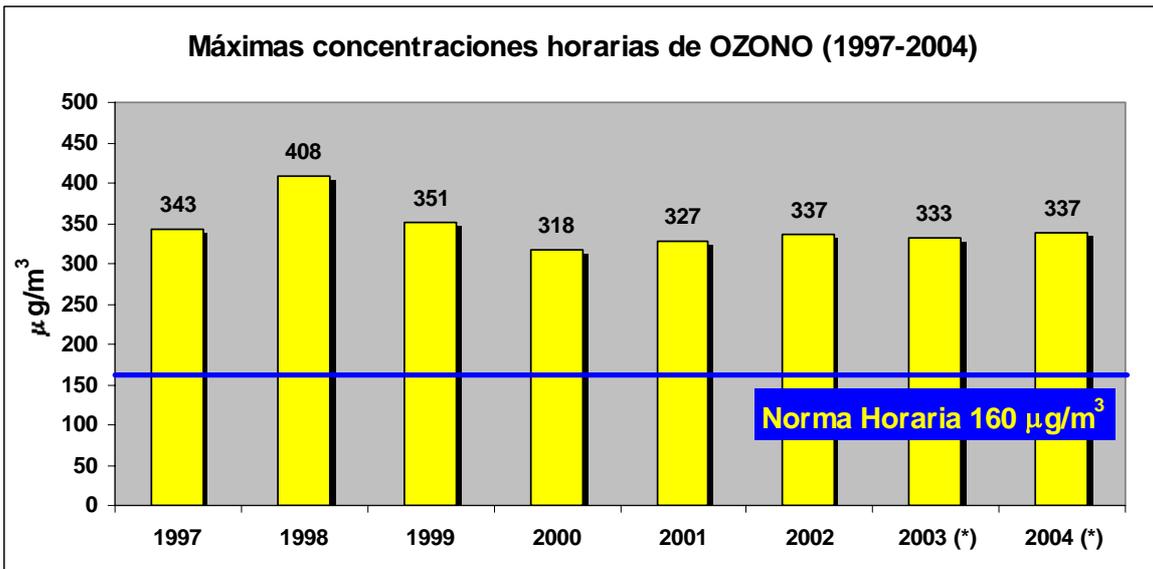
Figura 16: Máximos Horarios de Ozono por Estación Año 2002



Fuente: SEREMI de Salud RM- CONAMA Metropolitana

Respecto de la evolución anual que ha tenido el ozono en el tiempo, en la figura 17 se muestra la variación de los niveles de concentración máximos horarios de Ozono en el periodo 1997 y 2004. No se registran grandes variaciones y es importante señalar que todos estos máximos han sido registrados en la estación Las Condes, estación donde se supera la norma horaria gran parte de los días de la época estival. Se debe considerar que los datos del año 2003 y 2004 no se encuentran validados y son sólo una referencia.

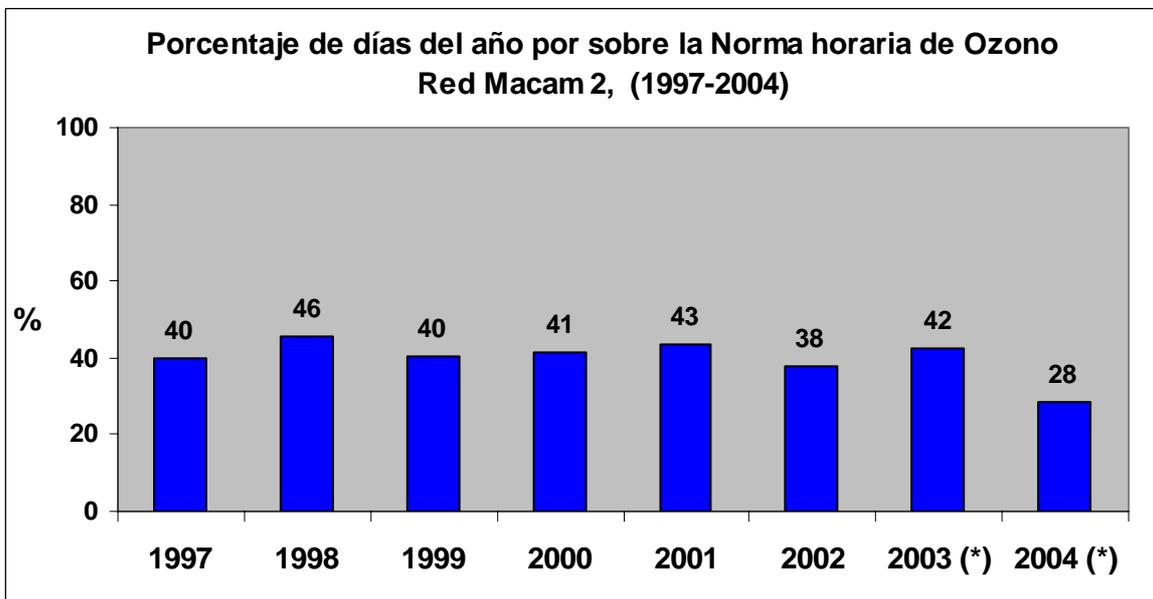
Figura 17: Evolución de Máximos Horarios de Ozono



Fuente: SEREMI de Salud RM- CONAMA Metropolitana
 (*) Datos 2003 y 2004 no validados

El gráfico 18, da cuenta del porcentaje de días al año en que se supera la norma horaria en alguna estación. Es necesario indicar que estas superaciones se producen en gran medida en Las Condes, seguida por la estación La Florida en menor medida. Las demás estaciones superan la norma horaria muy pocas veces al año.

Figura 18: Días de Superación de Norma Horaria de Ozono



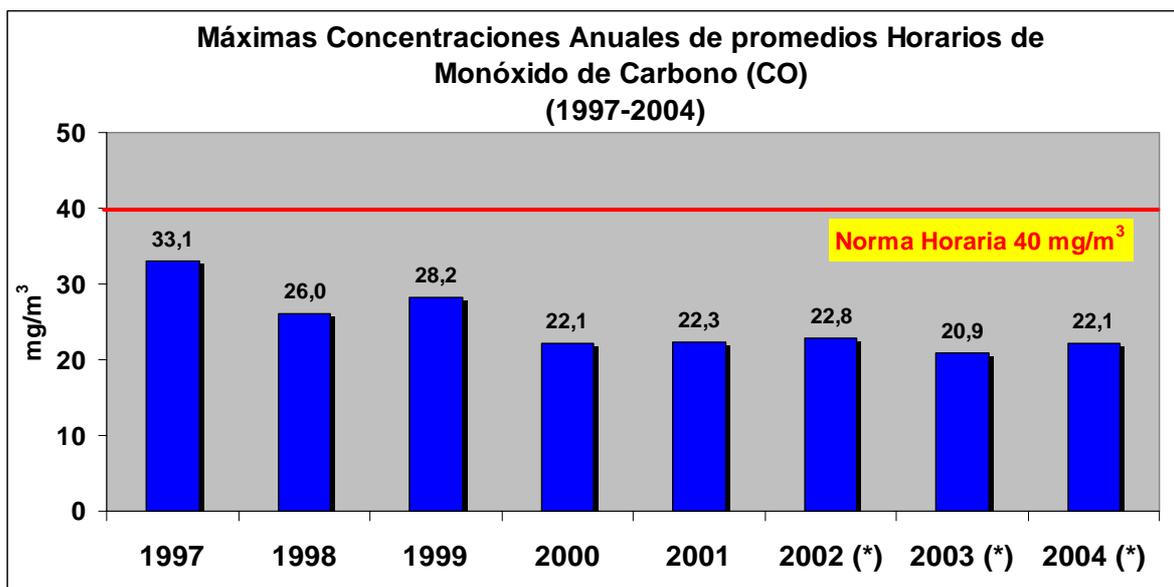
Fuente: CONAMA Metropolitana
 (*) Datos 2003 y 2004 no validados

Monóxido de Carbono (CO)

Al igual que otros contaminantes primarios, el monóxido de carbono presenta una marcada variación estacional, al verse las concentraciones afectadas por diversos factores meteorológicos. Como resultado, los mayores valores se registran durante los meses de invierno. El monóxido de carbono es un contaminante primario (emitido directamente por las fuentes) y es bastante estable en la atmósfera, por lo cual no reacciona con otros compuestos.

Actualmente Chile tiene dos normas para el CO, una horaria de 40 mg/m^3 (que cambia a 30 mg/m^3 a partir del año 2006) y otra de ocho horas equivalente a 10 mg/m^3 . Desde que se registra este contaminante en la red de monitoreo, nunca se ha superado la norma horaria vigente, las concentraciones de los últimos años permiten asegurar el cumplimiento incluso de la nueva norma, ver figura 19.

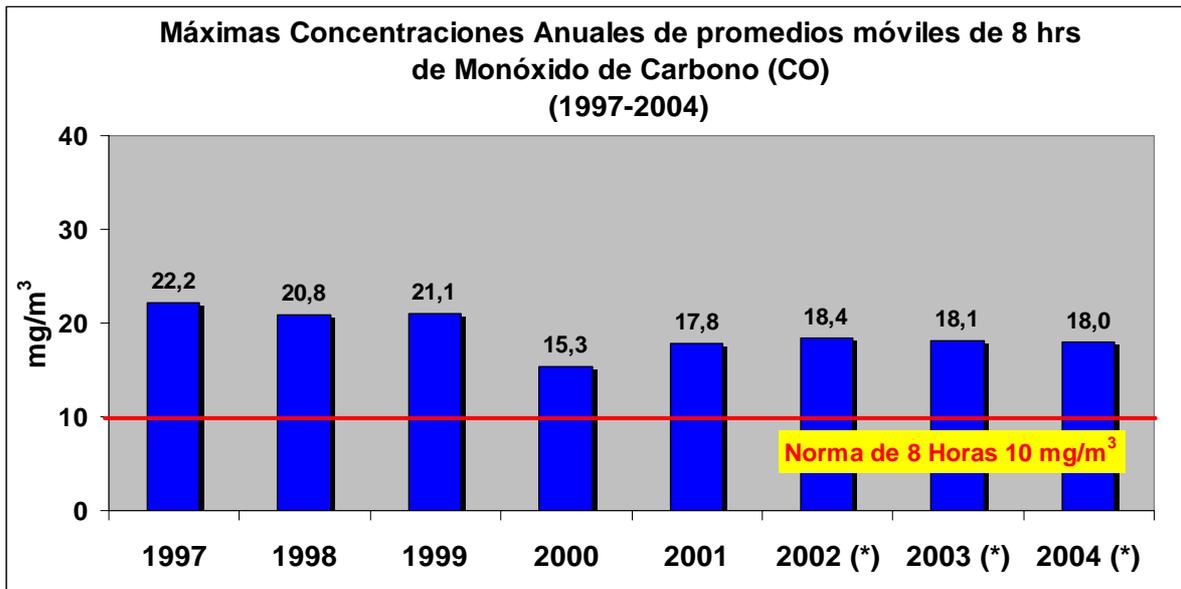
Figura 19: Máximos Horarios de Monóxido de Carbono (CO)



Fuente: SEREMI de Salud RM- CONAMA Metropolitana
(*) Datos 2002, 2003 y 2004 no validados

Sin embargo, la situación respecto de la norma de 8 horas es muy diferente, las concentraciones (figura 20) superan la norma en todo el período, aunque muestran una evolución positiva que permite proyectar una pronta salida del estado de saturación, esto si se mantienen las tendencias. Los avances en la reducción de las concentraciones de CO, se deben sin lugar a dudas a las menores emisiones provenientes del parque de vehículos livianos, responsables de más del 90% del total de emisiones de este contaminante.

Figura 20: Máximos Promedios Móviles de 8 horas, Monóxido de Carbono (CO)



Fuente: SEREMI de Salud RM- CONAMA Metropolitana
(*) Datos 2002, 2003 y 2004 no validados

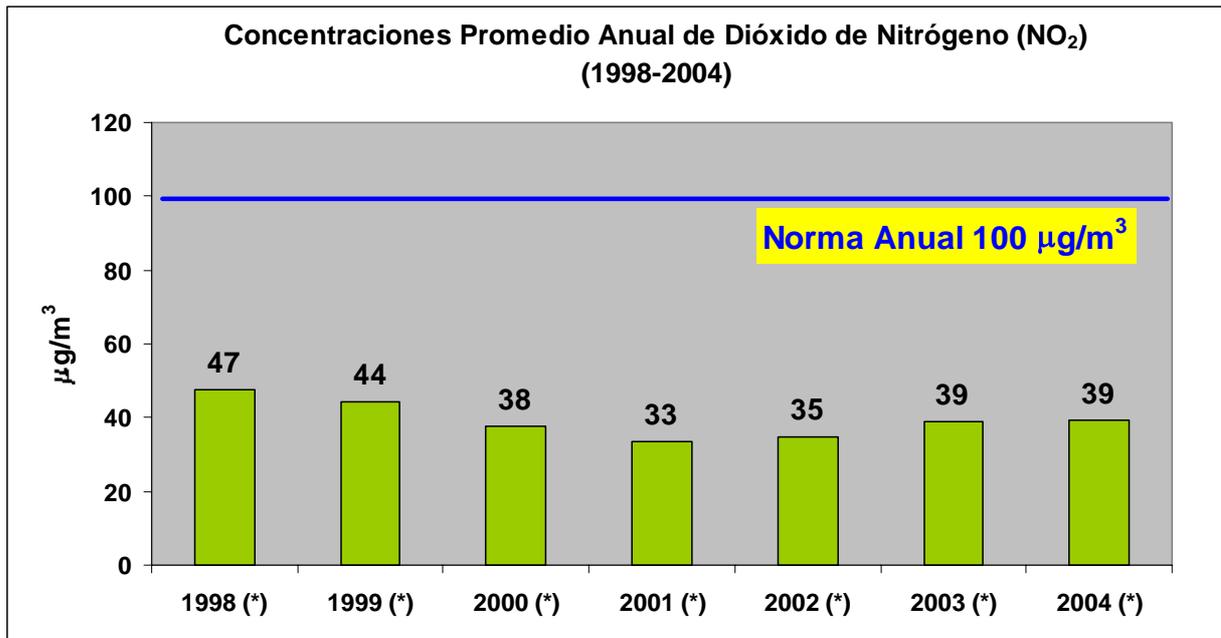
Dióxido de Nitrógeno (NO₂)

Las concentraciones de dióxido de nitrógeno presentan un ciclo anual sumamente marcado debido a la influencia de diversos parámetros meteorológicos, entre los que se destacan la velocidad y dirección del viento, radiación solar, los niveles de turbulencia atmosférica y la altura de la capa de inversión térmica. Así, las mayores concentraciones son medidas durante el invierno, cuando las condiciones de dispersión son más adversas.

El dióxido de nitrógeno, en estado de latencia al momento de la declaración de Zona Saturada, justifica su control por aporte al material particulado secundario, especialmente a la fracción fina y por su participación como precursor, en conjunto con los Compuestos Orgánicos Volátiles, en la formación de ozono troposférico. Actualmente, Chile tiene una norma anual vigente de 100 µg/m³, pero a partir del año 2006 entra en vigencia también, una norma horaria de 400 µg/m³.

La figura 21, muestra la evolución anual de las concentraciones promedios de Dióxido de Nitrógeno para el periodo 1998 – 2004. Con los datos disponibles hasta el año 1995, este contaminante fue declarado en estado de latencia (80% de la norma), por encontrarse en un 89% de la norma. Desafortunadamente, no se dispone con información actual validada para los datos presentados. Con la información disponible podemos indicar que desde el año 1998 las concentraciones han estado siempre por debajo del 50% de la norma.

Figura 21: Concentraciones Promedio Anual de NO₂



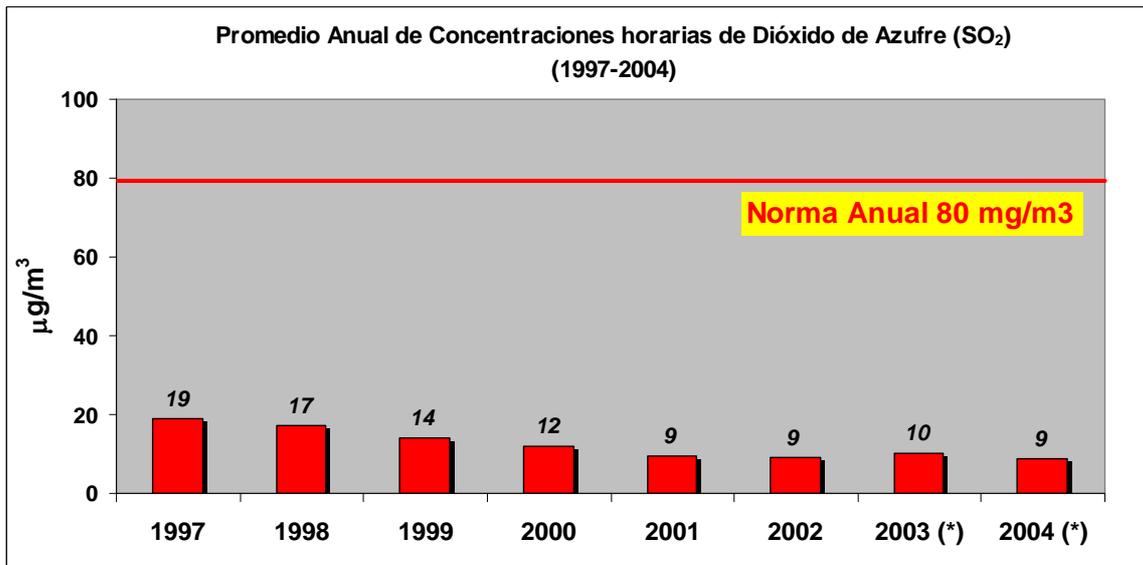
Fuente: SEREMI de Salud RM- CONAMA Metropolitana
 (*) Datos 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003 y 2004 no validados

Dióxido de Azufre (SO₂)

La evolución temporal de los niveles observados de dióxido de azufre presenta, al igual que los demás contaminantes primarios, una marcada influencia de condiciones atmosféricas como la velocidad del viento y la altura de la capa de inversión. Las mayores concentraciones se registran durante los meses de invierno. El dióxido de azufre, según los resultados de la caracterización fisico-química del material particulado, es un agente importante en la formación de material particulado secundario, junto a otros precursores como el dióxido de nitrógeno y el amoníaco.

El dióxido de azufre tiene norma diaria y anual, de 365 µg/m³ y 80 µg/m³ respectivamente. A partir del año 2006, entra en vigencia una norma diaria de 250 µg/m³. La figura 22, da cuenta de las concentraciones promedio anual, verificándose que no existe excedencia de la norma anual. En el último año de registro las concentraciones resultan ser un 11% del valor de la norma.

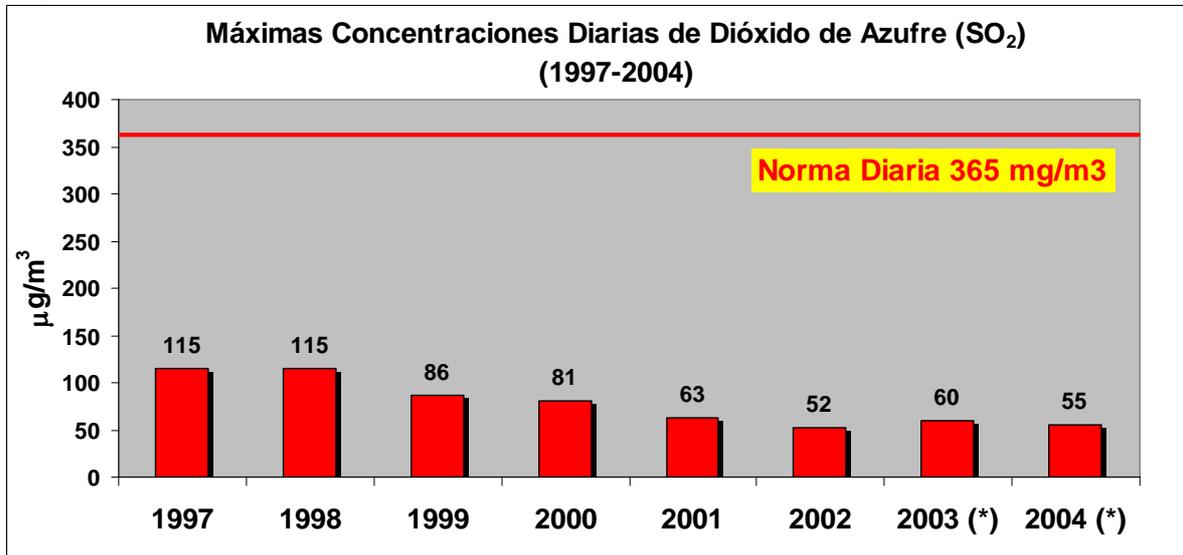
Figura 22: Concentraciones Anuales de SO₂



Fuente: SEREMI de Salud RM- CONAMA Metropolitana
(*) Datos 2003 y 2004 no validados

Al observar las concentraciones máximas diarias, resulta evidente que éstas están muy por debajo de la norma actual y de aquella que entrará en vigencia el año 2006. En ningún momento del período se supera la norma y las concentraciones del último año con registros, resultan ser un 15% del valor de la norma correspondiente, ver figura 23.

Figura 23: Concentraciones Máximas Diarias de SO₂



Fuente: SEREMI de Salud RM- CONAMA Metropolitana
(*) Datos 2003 y 2004 no validados

4 SOLUCIONES ESTRUCTURALES PARA DESCONTAMINAR SANTIAGO

Este capítulo presenta los principales lineamientos del Plan de Descontaminación Actualizado. En primer lugar se describe el enfoque y metas de este plan actualizado. En seguida se plantea el análisis de las responsabilidades en las emisiones, elemento a partir del cual se definen las medidas orientadas a reducir las emisiones de forma tal de alcanzar las metas de calidad del aire establecidas para el año 2005 y 2010.

4.1 ENFOQUE DE LA ACTUALIZACION DEL PPDA

La contaminación atmosférica que afecta a la Región Metropolitana es causada principalmente por el desarrollo de ciertas actividades humanas, las cuales emiten a la atmósfera sustancias que provocan daño a las personas, animales, plantas, materiales, etc. De esta forma, el Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana (PPDA) publicado en el D.S. 16/1998 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, corresponde a un instrumento de gestión ambiental a largo plazo que persigue reducir las emisiones al aire de sustancias dañinas y así cumplir con las normas primarias de calidad de aire vigentes en Chile.

La Actualización del PPDA, D.S N°58/03 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, que entró en vigencia el 29 enero del 2004 mediante la publicación del decreto publicado en el Diario Oficial. Sus contenidos se sustentan en un amplio y continuo esfuerzo de discusión efectuado a partir del año 1999, período en el cual se llevaron a cabo numerosos talleres de trabajo con más de mil participantes. A este trabajo de actualización, se suman las tres evaluaciones independientes al PPDA, efectuadas durante el año 1999: una Auditoría Internacional, el Informe de la Comisión Investigadora de la Cámara de Diputados y el Informe de Evaluación de los Municipios de la Región Metropolitana.

Para el año 2005 se contempla una nueva auditoría internacional, orientada a evaluar el estado de avance en la implementación del PPDA y a proponer nuevas estrategias de control de emisiones ha ser incluidas en un próximo proceso de actualización, contemplado para el año 2006.

PRINCIPALES METAS DE LA ACTUALIZACIÓN DEL PPDA:

- ❖ Terminar con los estados de preemergencia ambiental al año 2005, y
- ❖ Cumplir con las normas primarias de calidad del aire el año 2010, año del Bicentenario.

4.2 RESPONSABILIDAD EN LA CONTAMINACIÓN DE SANTIAGO

Considerando que no existe una relación lineal entre las emisiones de contaminantes a la atmósfera y los niveles de concentración de esto en el aire, una forma de determinar las responsabilidades de las emisiones provenientes de diferentes fuentes se construye a partir del análisis de la composición química del material particulado que respiran los habitantes de la Región Metropolitana.

En este sentido, a partir del análisis exhaustivo de los filtros provenientes de las estaciones de monitoreo de calidad de aire de Las Condes, Parque O'Higgins y Pudahuel realizado durante el invierno de 1999, se ha logrado determinar la composición química promedio del MP10, según se señala en la siguiente tabla:

Tabla 6: Composición Química del Material Particulado

Compuesto	Participación
Carbono orgánico	8 %
Carbono elemental	7 %
Nitrato	10 %
Sulfato	8 %
Amonio	8 %
Cloro	7 %
Polvo Background	38%
Polvo Antropogénico	11%
Otros	3 %
TOTAL	100 %

Fuente: Elaboración propia a partir de U. São Paulo (Artaxo) y CENMA (1999)

Analizando la muestra, es posible señalar que las emisiones directas de material particulado por procesos de combustión están dadas por la fracción de carbono orgánico y carbono elemental, que en conjunto aportan un 15% del total. A esto se suman las emisiones de polvo antropogénico, provocado principalmente por el polvo en resuspensión, producto del tráfico vehicular.

El aporte del material particulado secundario, representado por el nitrato, sulfato y amonio, alcanza un 26% del total, lo cual es consistente con diversos estudios realizados por CONAMA Región Metropolitana en los últimos años, que indican que el material particulado secundario, es decir, aquél que se forma en la atmósfera a partir de gases precursores (NO_x , SO_x y NH_3) tiene una participación importante en las concentraciones de material particulado total.

En la fracción fina, el aporte del material particulado secundario supera el 50%. Siendo ésta la fracción más agresiva para la salud, su control debe ser abordado con una prioridad mayor que el de la fracción gruesa del material particulado, cuyo efecto en la salud es de menor magnitud. Otro elemento que surge de este análisis es la existencia de concentraciones *background* de material particulado, las cuales dan cuenta de al menos un tercio de las concentraciones medidas en las redes de monitoreo de la Región Metropolitana. Esta fracción, es producto de procesos naturales y no antropogénicos, por lo tanto no puede ser controlada a través del PPDA.

El origen de las emisiones, tanto directas como secundarias, se encuentra en los inventarios de emisiones. Para el año 2000, la estimación de emisiones de contaminantes en toda la Región Metropolitana, por sectores, es la siguiente:

Tabla 7: Emisiones por Categoría de Fuentes

Categoría de Fuente	MP10	CO	NOx	COV	SO2	NH₃
	ton/año	ton/año	ton/año	ton/año	ton/año	ton/año
Buses	1208	6020	20428	2478	793	5
Camiones	810	3333	9209	2388	471	5
Vehículos livianos	408	164843	16543	19590	927	924
Fuentes móviles fuera de ruta	42	1529	865	272	5	0
Total Móviles	2468	175725	47045	24728	2196	934
Fijas Combustión	304	990	2515	87	2536	97
Fijas Procesos	739	5514	2748	4041	4065	104
Residenciales	328	888	1392	30309	239	2002
Total Fuentes Fijas	1371	7392	6655	34437	6840	2203
Total Fuentes Areales (i)	534	4322	310	20926	16	26213
TOTAL	4373	187439	54010	80091	9052	29350

Fuente: **CONAMA Metropolitana** -CENMA (2000), mejorado en 2001 con información generada durante 2000 y 2001. (i): Las principales fuentes areales incluidas en esta categoría son lavasecos, talleres de pintura, quemas agrícolas, crianza de animales y emisiones biogénicas.

Las emisiones de polvo antropogénico estimadas para el año 2000 corresponden a 40.330 toneladas/año, de las cuales 37.890 corresponden a polvo resuspendido por el tráfico

Para calcular la participación en las concentraciones del MP10 debido a la actividad humana, se identificó el contenido químico de los filtros. Esto permitió definir las proporciones de MP10 emitido directamente y las de sus precursores, a saber, nitrato, sulfato y amonio. Al combinar esta información con el Inventario de Emisiones 2000, para MP10, NOx, SO₂ y NH₃, bajo el supuesto que éstos compuestos se encuentran en el aire en proporciones iguales a las emitidas, y considerando solamente el material particulado de origen antropogénico, se llegó a determinar la responsabilidad en las concentraciones de MP10.

De acuerdo a lo anterior, los responsables de las emisiones y su impacto en las concentraciones de material particulado producido por actividades humanas, tanto por su emisión directa como por el aporte a través de la emisión de gases precursores, son las que se indican en la siguiente tabla:

Tabla 8: Responsabilidad en Concentraciones de MP10

Fuente	Participación
Buses	22%
Camiones	13%
Vehículos livianos	14%
Total Fuentes Móviles	49%
Procesos de combustión	9%
Otros procesos industriales	15%
Fuentes residenciales	5%
Total Fuentes Fijas	29%
Total Fuentes Areales (i)	22%
TOTAL	100%

Fuente: Elaboración propia a partir de CENMA-U. São Paulo (Artaxo) (1999)

(i) Incluye el aporte del polvo de generación antropogénica además de la emisión de otras fuentes.

En consideración a lo expuesto anteriormente, el enfoque del PPDA está orientado a las concentraciones en la atmósfera de los contaminantes, como se aprecia en la última tabla, pues ello representa de mejor forma la exposición a la que se ve sometida la población.

4.3 MEDIDAS ESTRUCTURALES

El principal objetivo de los instrumentos propuestos, se centra en la reducción de emisiones de precursores de material particulado, donde se encuentran los óxidos de azufre junto a óxidos de nitrógeno y algunos compuestos orgánicos volátiles y amoniaco. Estos precursores aportan más del 50% del material particulado más dañino para la salud, y provienen en su mayor parte de los procesos de combustión.

Las metas del PPDA, que consisten en el cumplimiento de las normas de calidad del aire, serán alcanzadas a través de instrumentos para la reducción de emisiones. Dichos instrumentos se establecen en función de la responsabilidad que tienen los distintos sectores en las concentraciones de contaminantes atmosféricos.

Se han privilegiado instrumentos de gestión ambiental que permiten obtener efectos inmediatos focalizados en el control de los procesos de combustión, pero también en el logro y consolidación de la reducción de las emisiones en el mediano y largo plazo.

El enfoque del PPDA, consecuentemente con el análisis de responsabilidades en las concentraciones de MP10, pone el énfasis en el control de las emisiones del sector transporte, dejando claro que sólo se puede alcanzar las metas si este plan funciona en estricta complementariedad con los instrumentos de Planificación Urbana y de Transporte.

A continuación, se presenta un resumen de las medidas establecidas en el PPDA:

Renovación en Transporte

Las medidas consideradas dentro de la Actualización del PPDA para el sector transporte, se orientan principalmente hacia el mejoramiento del transporte público y la reducción de su impacto en el medio ambiente. Además, normas de emisión más estrictas para los vehículos nuevos y mecanismos para incentivar la reducción de emisiones para los vehículos en uso.

- **Retiro de 2700 buses sin sello verde al 2004**

Orientado a que la flota que presta servicio en el transporte público sea cada vez más limpia. Al año 2004 se completó el retiro de alrededor de 2.700 buses de tecnología más antigua, y por ende, más contaminante. Esta medida se tradujo en una baja significativa de las emisiones de MP10 y NOx de este sector.

- **Transantiago, 2005**

Así mismo, coincidente con el objetivo de que el transporte público licitado avance de manera significativa en la reducción de sus emisiones, se establecieron metas específicas de reducción para el año 2005 para este sector que ascienden, al menos, al 75% de MP10 y al 40% de NOx, todo esto medido con respecto a las emisiones que el sector exhibía a 1997.

El logro de estas metas se alcanzará con la implementación de Transantiago, componente del Plan de Transporte Urbano del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, y que busca reestructurar la totalidad del transporte dentro de la Región Metropolitana.

- **Norma Euro III avanzada y EPA98**

A contar de septiembre de 2005, se exigirá a los buses nuevos que deseen prestar servicio de transporte público, ya sea urbano o rural, el cumplimiento de la norma de Euro III avanzada o EPA 98, que son más exigente que la actualmente vigente Euro III.

- **Renovación de Camiones, Norma Euro III y EPA98**

A contar de tres meses después de la entrada en vigencia de la norma que establezca a nivel nacional en el Diesel el contenido de azufre de 350 ppm, se exigirá el cumplimiento de la norma Euro III o EPA 98 a los camiones nuevos que ingresen a la Región.

- **Incorporación de sistemas de post tratamiento**

Adicionalmente, y como consecuencia del advenimiento de combustibles más limpios, se exigirá a los vehículos en uso, la reducción del 30% de los niveles de opacidad de sus emisiones, que constituye una forma indirecta de medir las emisiones de MP10, y que redundará en la incorporación de sistemas de post tratamiento. Estas tecnologías en algunos casos pueden llegar a reducir las emisiones de MP10 hasta en 90%, con el consiguiente beneficio ambiental.

- **Nuevas normas de ingreso vehículos livianos y medianos**

Para el segmento de los vehículos livianos y medianos se establece que 12 meses después de la entrada en vigencia de la Actualización del PPDA, es decir a enero de 2005, se exigirá a todo vehículo nuevo el cumplimiento de la norma Tier 1 o Euro III aplicable a este tipo de vehículos.

Para el segmento de vehículos livianos Diesel, se establece la exigencia a enero de 2006 del cumplimiento de la norma Euro IV o Tier 1 de California para todos los vehículos nuevos de esta categoría.

Mejoramiento de los Combustibles

- **Reducción de la cantidad azufre en el DIESEL de 300 ppm a 50 ppm**

Concordante con la exigencia de nuevas tecnologías para los motores, se hace necesario mejorar la calidad de los combustibles para que efectivamente se puedan alcanzar las rebajas en las emisiones que garantizan dichas tecnologías.

De esta forma, a partir de julio de 2004 el combustible Diesel que se expende en la Región Metropolitana bajó el contenido de azufre de 300 ppm a sólo 50 ppm. Por efecto directo de esta medida se reducen las emisiones de SOx en forma proporcional a la rebaja, y en forma indirecta, se posibilita la instalación de sistemas de post tratamiento para el control de las emisiones de material particulado.

- **Mejora en la calidad de la gasolina, año 2004**

Desde julio de 2004 se rebajó el contenido de azufre de 400 ppm a 30 ppm en la gasolina. Adicionalmente se contempla reducir el contenido de benceno, compuesto cancerígeno, de 2% a 1%, y reducir de 35% a 12% el de las ofeínas, con lo que se bajarán las emisiones de óxidos de nitrógeno, y por ende, la formación de material particulado secundario.

- **Mejora en la calidad del gas licuado, año 2004**

Con la entrada en vigencia de la Actualización del PPDA, se exigirá que el gas licuado vehicular tenga un contenido mínimo de propano del 85%. Con esto se pone un techo a la cantidad de olefinas de este combustible, lo que se traduce en menores emisiones de óxidos de nitrógeno.

- **Regulación en el uso de la leña residencial**

Para efectos de controlar las emisiones domiciliarias que provoca el consumo de leña como combustible para calefacción, se procederá a certificar las emisiones de los equipos nuevos que se expendan en la Región Metropolitana. Adicionalmente, y dentro del Plan Operacional de Episodios Críticos, se contempla la aplicación de restricciones a su funcionamiento de acuerdo a la tecnología de los equipos de calefacción.

Nuevas normas para la Industria

- **Cupos de emisión de NOx en la industria**

Con el fin de controlar las emisiones de gases precursores de material particulado de fuentes estacionarias, la Actualización del PPDA establece metas globales e individuales de reducción de emisiones de NOx para calderas y procesos industriales correspondiente a un 33% y posteriormente a un 50% de las emisiones base 1997. El plazo de cumplimiento corresponde al 1º de mayo del año 2007 y el 2010, respectivamente.

El cumplimiento de las metas podrá hacerse reduciendo las emisiones directamente en la fuente o a través de la compensación de emisiones con otras fuentes. Con esto, se amplía para este sector el sistema de compensaciones de emisiones para este contaminante, y se sientan las bases para el futuro establecimiento de un Sistema de Compensación de Emisiones como un instrumento más del PPDA.

- **Cupos de emisión de MP10 en procesos industriales**

Continuando con el proceso de control de las emisiones de material particulado en fuentes estacionarias, la Actualización del PPDA establece metas globales e individuales de reducción de emisiones de MP10 para procesos industriales correspondientes al 50% de las emisiones base 1997. El plazo de cumplimiento corresponde al 1º de mayo del año 2007.

- **Norma de emisión de CO en la industria**

Con la dictación de la Actualización del PPDA se establece en 100 ppm la norma de emisión de CO aplicable a todas las fuentes estacionarias, cuyo cumplimiento debe verificarse un año a partir de la publicación del PPDA. Esta norma está orientada a generar un mejoramiento en los procedimientos de mantención de los equipos de combustión a nivel industrial, lo cual se traduce necesariamente en menores emisiones de material particulado.

- **Norma de emisión de SO₂ en la industria**

En la Actualización del PPDA se establece en 30 nanogramos por joule la norma de emisión de SO₂ aplicable a todas las fuentes estacionarias, cuyo cumplimiento debe verificarse a partir de un año desde la publicación del Plan. El objetivo de esta norma es controlar las emisiones de este gas, precursor de material particulado secundario en la atmósfera.

- **Programa de reducción de emisiones de SO₂ en grandes emisores industriales**

Por su parte, con el objetivo de controlar a los grandes emisores, los establecimientos con fuentes estacionarias correspondientes a procesos industriales y cuyo aporte de emisiones supere las 100 ton/año de SO₂, deberán presentar un programa que permita su reducción. Al igual que en el caso anterior, se pretende reducir la formación de material particulado secundario.

- **Compensación de emisiones 150% para toda nueva actividad**

Para efectos de permitir el desarrollo de nuevas actividades en la Región y resguardando que ello no implique un incremento de las emisiones, la Actualización del PPDA mantiene la exigencia de que aquellas nuevas actividades que se deseen realizar en la zona y que produzcan un impacto significativo en términos de emisiones, deban compensarlas en un 150%.

Control de Polvo y Areas Verdes

- **Programa de Aspirado de Calles**

Como una medida de continuidad, la Actualización del PPDA mantiene el programa de aspirado de calles en la Región Metropolitana, pero buscando mejorar su eficiencia a través de la utilización de tecnología ambientalmente certificada para estos efectos. Esta es una de las medidas que tienden a prevenir la ocurrencia de episodios ambientales durante el período de invierno, que es el más crítico en términos de contaminación.

- **Control del Levantamiento de Polvo y Generación de Areas Verdes**

Se plantea como un objetivo del PPDA, incrementar la cantidad de áreas verdes hasta alcanzar el año 2010 una superficie de 6 m² por habitante, lo que implica implementar y mantener 1.800 hectáreas de espacios verdes urbanos. Un completo plan se presenta para dicho efecto.

Adicionalmente, se considera reforzar los planes y programas ministeriales que permitan superar el déficit de calles pavimentadas en la Región, y gestionar al año 2006 la estabilización de bermas y bandejoneras de tierra dentro del área urbana equivalente a 1.000 km, entre otras medidas.

INSTRUMENTOS DE GESTIÓN COMPLEMENTARIOS

Los instrumentos de gestión ambiental complementarios se han identificado como elementos clave para recuperar y mantener la calidad del aire de la Región Metropolitana.

1) Sistemas de Compensación de Emisiones y Otros Instrumentos Económicos

- Generar un sistema de compensación de emisiones para MP y NOx que permita el cumplimiento de las metas de reducción de emisiones a los sectores transporte e industria, así como también a los proyectos nuevos con exigencias de compensación.
- Presentar al Parlamento la Ley de Bonos de Descontaminación. La primera aplicación práctica será su uso orientado a la descontaminación atmosférica de la Región Metropolitana. Esta ley fue presentada para su discusión en junio de 2003.

2) Instrumentos de Planificación Territorial y de Transporte

- El Ministerio de Transportes deberá someter a una Evaluación Ambiental Estratégica al Plan de Transporte Urbano de Santiago, particularmente el Plan Transantiago.

3) Instrumentos de Carácter Voluntario

Para el cumplimiento de las metas del sector industrial o comercial se podrá convenir la elaboración e implementación de Acuerdos de Producción Limpia (APL) dentro del marco de la Política de Producción Limpia del Gobierno.

PROGRAMAS ESTRATÉGICOS

Los programas estratégicos son planteados con el objetivo de coordinar a través ellos las acciones y estudios necesarios para llevar adelante temas que son una gran relevancia para el cumplimiento de las metas del PPDA. Los programas incluidos en el plan son:

- Programa para el control de la contaminación intramuros
- Programa para el control del levantamiento de polvo y generación de áreas verdes
- Programa para el control de compuestos orgánicos volátiles (COV) y amoníaco (NH₃)
- Programa permanente de vigilancia y fiscalización
- Programa de fortalecimiento de la gestión ambiental local
- Programa de participación ciudadana y educación ambiental

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Contaminantes criterio: Son contaminantes primarios, ya sean gases o partículas, los cuales tienen normas de calidad del aire establecidas, a saber, CO, O₃, NO₂, MP10 y SO₂.

Carbono elemental: Es material particulado derivado de compuestos de carbono en su forma elemental, como el hollín. Este contaminante generalmente se concentra en la fracción fina del material particulado.

Carbono orgánico: Es material particulado derivado de compuestos de carbono no elemental, en que el átomo de carbono se encuentra unido con otros átomos como oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, etc. que generan moléculas orgánicas no gaseosas. Estos compuestos generalmente se concentran en la fracción fina del material particulado.

Contaminante: todo elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energía, radiación, vibración, ruido, o una combinación de ellos, cuya presencia en el ambiente, en ciertos niveles, concentraciones o períodos de tiempo, pueda constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población y a la preservación de la naturaleza.

Contaminación: presencia en el ambiente de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, en concentraciones o concentraciones y permanencia superiores o inferiores, según corresponda, a las establecidas en la legislación vigente.

Contaminantes primarios: son aquellos contaminantes que reaccionan por sí mismos en la atmósfera y que son emitidos directamente desde una fuente, por ejemplo, el monóxido de carbono (CO)

Contaminantes secundarios: son aquellos que se forman en el aire a partir de distintas reacciones químicas o fotoquímicas de los contaminantes primarios, por ejemplo, el ozono (O₃), que nace a partir de los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos, cuando éstos están en presencia de radiación solar.

Concentraciones de base o background: es la concentración promedio mínima de un contaminante medido, en un sector geográfico determinado. Estas concentraciones se miden en zonas rurales, en donde no existen impactos directos de emisiones de contaminantes.

Emisiones biogénicas: Son las emisiones generadas por procesos biológicos, tales como la evaporación de compuestos volátiles por fluctuaciones de temperatura.

Emisiones de polvo antropogénico: Son las emisiones de polvo generadas directamente por actividades humanas, tales como el tráfico, construcción, y movimiento de tierra, entre otras.

Episodios críticos de contaminación: aumento repentino en los niveles de contaminación del aire que en la Región Metropolitana se producen usualmente durante el período otoño-invierno. Se originan a partir de la convergencia de una serie de factores meteorológicos que impiden la buena ventilación de la cuenca de Santiago y/o debido a un incremento en las emisiones previo al evento.

Episodios de emergencia: Se decreta un episodio de Emergencia en forma preventiva para evitar que los valores de concentraciones de material particulado respirable (MP10) alcancen o superen el nivel 500 del índice ICAP.

Episodios de preemergencia: El episodio de Preemergencia se declara en forma preventiva para evitar que los valores de concentraciones de material particulado respirable (MP10) alcancen o superen el nivel 300 del índice ICAP.

Episodios de alerta: El estado de Alerta se declara en forma preventiva para evitar que los valores de concentraciones de material particulado respirable (MP10) alcancen o superen el nivel 200 del índice ICAP.

HAPs: Son hidrocarburos alifáticos policíclicos, que pertenecen a la familia de compuestos orgánicos volátiles. Su estudio se basa en la alta toxicidad que éstos tienen, como el benzo (α) pireno.

ICAP: El ICAP es un índice que transforma a una escala estándar el valor promedio de las concentraciones del MP10, de acuerdo a lo que establece la norma para este contaminante.

Modelo de pronóstico CASSMASSI: En 1998 se oficializó la primera aplicación de un modelo de pronóstico de calidad de aire en la ciudad de Santiago. En 1999 CONAMA Región Metropolitana encargó un estudio para mejorar el modelo de pronóstico, lo que dio como resultado el modelo de pronóstico CASSMASSI, que es el que usa actualmente.

Material particulado respirable, MP10: se puede definir como partículas sólidas o líquidas, como polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen dispersas en la atmósfera, cuyo diámetro es inferior a 10 micrómetros.

Material particulado respirable, MP2.5: corresponde a la fracción más pequeña y agresiva del material particulado cuyo diámetro es inferior a 2.5 micrómetros. Por su tamaño, estas partículas son respirables en un 100% y por ello se alojan en bronquios, bronquiolos y alvéolos.

Material particulado secundario: aquel material particulado que se forma a partir de distintas reacciones químicas entre precursores como NO_x , SO_2 y NH_3 .

Norma Primaria de Calidad Ambiental: aquella que establece los valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos permisibles, de elementos o compuestos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la vida o la salud de la población.

Norma Secundaria de Calidad Ambiental: aquella que establece los valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos permisibles, de sustancias, o compuestos, 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.

Normas de emisión: las que establecen la cantidad máxima permitida para un contaminante, medida en el efluente de la fuente emisora.

PPDA: Plan de Prevención y Descontaminación para la Región Metropolitana (D.S. 16/1998 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia) Es un instrumento de gestión ambiental de largo plazo, que persigue reducir las emisiones de sustancias dañinas emitidas a la atmósfera para cumplir así con las normas primarias de calidad de aire vigentes en Chile.

Precursores: Son compuestos químicos primarios que por distintos mecanismos de reacciones químicas forman contaminantes secundarios.

Red MACAM: Red de Monitoreo Automática de Calidad del Aire para la Región Metropolitana. El monitoreo del aire de la región se realiza desde 1988, cuando se oficializó la red de monitoreo MACAM-1, que contaba con 5 estaciones y que fue renovada y ampliada a 8 estaciones en 1997, en lo que se denominó red MACAM-2.

Transantiago: Es una política de Estado para modernizar el transporte público de la capital a través de un sistema integrado, eficiente, seguro, moderno y sustentable desde las perspectivas ambiental, económica y social.

Zona Latente: Aquella zona en que 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.

Zona Saturada: De acuerdo con la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, es aquella zona donde una o más normas de calidad ambiental se encuentran sobrepasadas.

BIBLIOGRAFIA

Páginas WEB de interés

- Seremi de Salud (Ex SESMA): www.autoridadsanitariarm.cl
- CONAMA: www.conama.cl
- CONAMA Región Metropolitana de Santiago: www.conamarm.cl
- Transantiago: www.transantiago.cl
- MOPTT: www.moptt.cl
- Secretaria de Planificación de Transporte (SECTRA): www.sectra.cl

General

- CONAMA R.M. "Santiago Limpia el Aire de Santiago". Santiago de Chile, 1997.
- CONAMA R.M. "Diagnóstico de la Calidad del Aire y sus Impactos en Salud. Antecedentes para la Actualización del PPDA". Santiago de Chile, 2000.
- CONAMA R.M. "Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana". Santiago de Chile, 1998.
- CONAMA "Auditoria Internacional del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana". Santiago de Chile, 1999.
- CONAMA R.M. "Diagnóstico de la Calidad del Aire y sus Impactos en Salud. Antecedentes para la Actualización del PPDA". Santiago de Chile, 2000.
- World Health Organization. "Guidelines for air quality". Geneva 2000.
- Kavouras, I.G. et al., Source Apportionment of MP10 and PM2.5 in five chilean cities using factor analysis. J. Air & Waste Manage Assoc. 2001.
- CONAMA R.M. "Caracterización Química de Aerosoles Orgánicos en la Región Metropolitana", 2003.
- CONAMA R.M. "Caracterización Físicoquímica del Material Particulado Inorgánico Fino en la Región Metropolitana", 2003

Impacto Económico y Social de la Descontaminación del Aire

- CONAMA R.M. "Análisis General del Impacto Económico y Social del PPDA de la Región Metropolitana". Santiago de Chile, 1997.
- CONAMA R.M. "Análisis General del Impacto Económico y Social de la Actualización del PPDA de la Región Metropolitana". Santiago de Chile, 2001.

Meteorología y episodios de contaminación atmosférica

- CENMA. "Análisis comparativo de condiciones meteorológicas asociadas a episodios de contaminación atmosférica en Santiago, durante los episodios de Otoño Invierno 1997, 1998, 1999 y 2000". Santiago de Chile, 2000.
- CENMA. "Evaluación del Pronóstico de Potencial Meteorológico de Contaminación Atmosférica PMCA y modelos de calidad del Aire". Santiago de Chile, 2000
- Rutllant J. y Garreaud R. (1995) Meteorological Air Pollution Potential for Santiago, Chile: Towards an Objective Weather Forecasting.
- Informe Final, Análisis al Sistema de gestión de Episodios en la Región Metropolitana año 2002, CENMA.
- Documento Planificación para enfrentar Episodios Críticos 2003, CONAMA RM.
- Documento Planificación para enfrentar Episodios Críticos 2004, CONAMA RM.
- Documento Planificación para enfrentar Episodios Críticos 2005, CONAMA RM.