

Sumario

5	Presentación
---	---------------------

7	1 Antecedentes
	Normas de Calidad del Aire y Redes de Monitoreo
8	Características geográficas de la Región Metropolitana
8	Normas de calidad del aire
10	Índices de calidad del aire
12	Redes de monitoreo de calidad del aire
12	Campañas de monitoreo

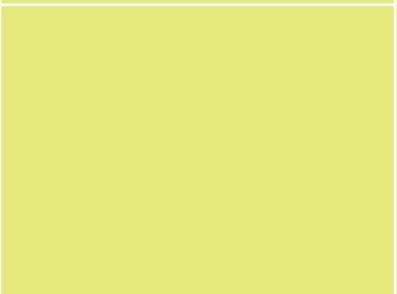
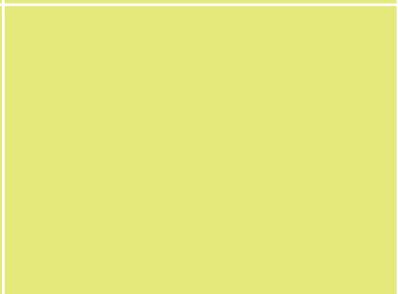
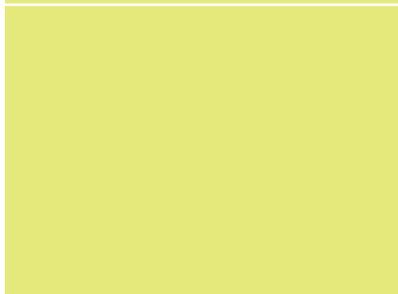
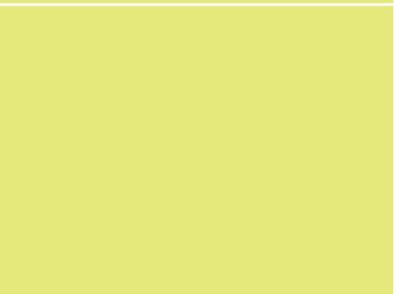
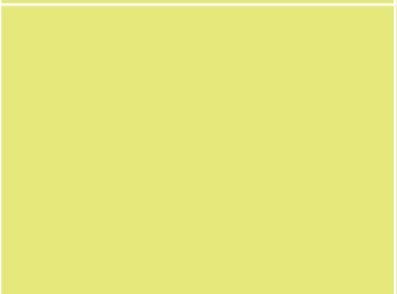
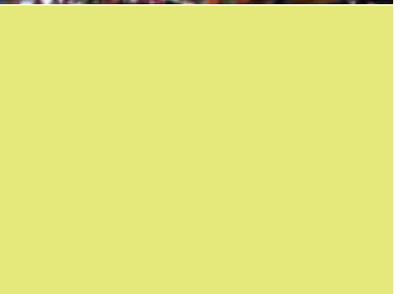
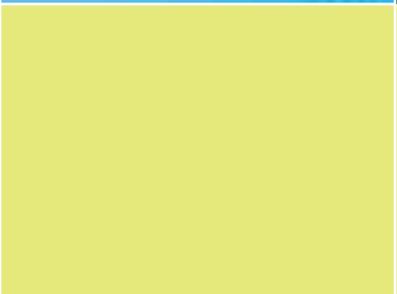
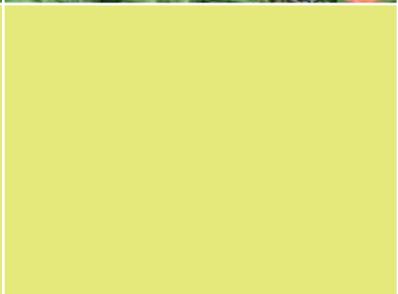
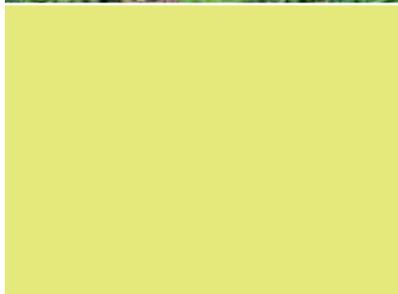
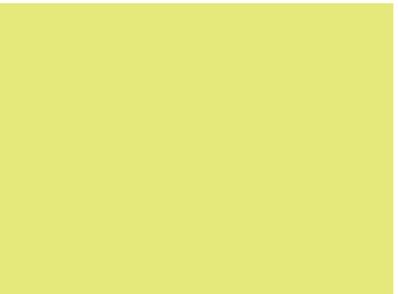
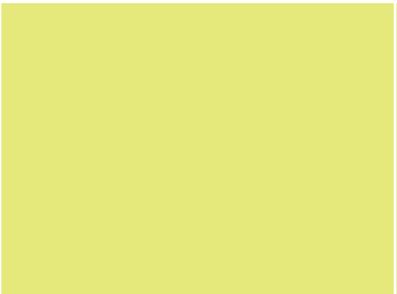
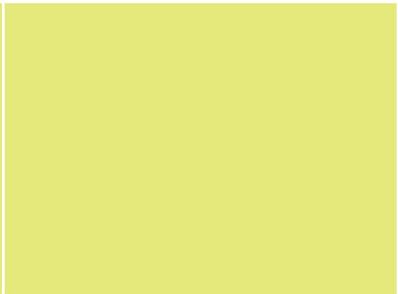
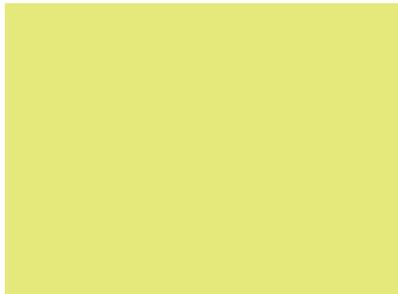
17	2 Evolución Histórica de la Calidad del Aire: 1989-2002
18	Evolucion histórica del Material Particulado: 1989-2002

25	3 Evolución de la Calidad del Aire, 1997-2003
	Período de Aplicación del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana
26	Episodios críticos de contaminación atmosférica
27	Indicadores de exposición a altos niveles de MP10
29	Meteorología asociada a episodios críticos
34	Evolución de la calidad del aire por contaminante
34	Material Particulado MP10
37	Material Particulado MP2,5
41	Ozono (O ₃)
42	Monóxido de carbono (CO)
44	Dióxido de nitrógeno (NO ₂)
45	Dióxido de azufre (SO ₂)

49	4 Soluciones Estructurales para Santiago
	Principales medidas del PPDA actualizado
50	Enfoque de la Actualización del PPDA
52	Reponsabilidades
55	Medidas estructurales
56	Renovación en transporte
57	Mejoramiento de los combustibles
57	Nuevas normas para la Industria
58	Control de polvo y áreas verdes
59	Instrumentos de gestión ambiental complementarios
59	Programas estratégicos
60	Glosario de términos
61	Referencias



En la última década,
la contaminación más
peligrosa se redujo
a la mitad. En el mismo
período, se duplicó
el crecimiento
económico de la región.
A esto le llamamos
Ganancia Ambiental.



Presentación

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

El tema de la descontaminación atmosférica de la Región Metropolitana ha sido sin duda una permanente preocupación gubernamental. A través de una coherente política pública, en estos años de gobierno democrático se ha podido disminuir los índices de contaminación atmosférica más dañinos para la salud en un 50%. Junto a ello hemos ido incorporando los avances tecnológicos necesarios para avanzar en una real calidad del aire acorde a los desafíos que nos hemos planteado en términos de lograr un desarrollo sustentable para nuestra ciudadanía.

El documento que tiene en sus manos, Evolución de la Calidad del Aire en Santiago, sintetiza el esfuerzo gubernamental en esta materia y pretende ser también un insumo imprescindible para que los distintos actores relevantes en este tema cuenten con la información necesaria para futuras actualizaciones del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana (PPDA).

Pero la tarea no es sólo de la autoridad gubernamental. La validación de las medidas y las responsabilidades públicas y privadas –asociadas a controlar y mejorar la calidad del aire– dependen también de la voluntad del sector privado y la población. Así lo han entendido los servicios públicos encargados del tema, las asociaciones empresariales y los ciudadanos, quienes han modificado sus conductas y modos de producción. Entendemos también que aún falta por hacer y esto depende directamente del tipo y oportunidad de la información que dispongamos, de ahí nuestra preocupación de contar con los instrumentos adecuados.

La información pública que contiene este documento y que describe los principales contaminantes de la atmósfera en la Región Metropolitana de Santiago, cumple con un doble propósito. Por una parte, anuncia los principales logros obtenidos por las políticas públicas en esta materia, y por otra, enuncia las tareas inconclusas que delinear el trabajo futuro de las instituciones públicas encargadas del medio ambiente, cuestión que de manera imperiosa es compartida también con la comunidad científica nacional e internacional, que en el cumplimiento de su rol, tanto ha aportado al desarrollo de esta temática.

Finalmente queda por señalar que, la Comisión Nacional del Medio Ambiente de la Región Metropolitana de Santiago, busca con esta publicación informar a la comunidad y con ello perfeccionar el debate público en temas de interés regional, a fin de valorar debidamente los avances de las políticas públicas de protección y recuperación del medio ambiente de nuestra región por el bien de todos sus ciudadanos.



1

Antecedentes

Normas de Calidad del Aire y Redes de Monitoreo

MARCELO FERNÁNDEZ GÓMEZ
JEFE DE ÁREA, DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA
COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE
REGIÓN METROPOLITANA DE SANTIAGO

La situación geográfica de la cuenca de Santiago y condiciones de ventilación adversas determinan, especialmente en invierno, un escenario propicio para la acumulación de contaminantes atmosféricos. A principios de los noventa, cada día de mala ventilación se traducían en niveles de contaminación atmosférica que superaban ampliamente los límites máximos establecidos. Una estimación indica que la estación Pudahuel habría superado en esa época más de 25 veces el nivel de emergencia y 50 el de preemergencia.

Después de más de una década de gestión ambiental, estamos a portas de terminar con los eventos de preemergencia. Es así como el año 2003 sólo se registraron 4 de estos eventos, en tanto que la última emergencia se constató el año 1999.

Para alcanzar las metas propuestas en el Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana (PPDA), se han desarrollado varias líneas de investigación con expertos nacionales e internacionales. Esto ha permitido contar con herramientas técnicas y experiencia de primer nivel para avanzar en el proceso de descontaminación atmosférica.

El PPDA Actualizado, contiene medidas estructurales con un fuerte impacto en la reducción de emisiones de material particulado y gases a la atmósfera. Las medidas más importantes están relacionadas con la implementación del Transantiago, con una reducción del 75% de las emisiones de material particulado y 40% de óxidos de nitrógeno del transporte público. A esto se debe sumar un diesel con bajos contenidos de azufre, al nivel de las ciudades europeas más exigentes, y que estará disponible en la Región Metropolitana a partir de julio de 2004. Respecto a las metas del sector industrial, éstas corresponden a una reducción de 50% de material particulado y 33% de óxidos de nitrógeno.

La incorporación de los instrumentos económicos es el siguiente paso necesario para cumplir con todas las normas de calidad del aire en el año del Bicentenario. Cabe señalar que, durante el año 2003, se lograron importantes avances en esta materia con el envío de la Ley de Bonos de Descontaminación al Congreso y la introducción de incentivos ambientales en las bases de Transantiago, tendientes a promover el ingreso de tecnologías limpias en el transporte público.

Todo lo anterior da cuenta de nuestro trabajo orientado a reducir la cantidad de contaminantes que se emiten a la atmósfera, lo que ha permitido disminuir el impacto que estos tienen sobre la salud de las personas. Los avances alcanzados hasta ahora se deben al esfuerzo de todos para recuperar la calidad del aire de nuestra ciudad.

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 sólo el 2,1% del territorio nacional, lo que la hace ser 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, y 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.

El PPDA fue concebido para cumplir las normas incluso ante las peores condiciones de ventilación. Como los episodios críticos se reducirán en forma paulatina hasta cumplir con los estándares, cada invierno se enfrentan estos eventos a través del Plan de Manejo de Episodios Críticos, que permite implementar medidas para reducir las emisiones durante los días de mala ventilación.

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 Troposférico (O₃) y Dióxido de Nitrógeno (NO₂) (Resolución 1215/78 del Ministerio de

Tabla 1: Normas primarias de calidad de aire

Resolución 1215

Contaminante	Norma	Unidad	Tipo de Norma
Dióxido de Azufre (SO ₂)	80	µg/m ³	Media Aritmética Anual
	365	µg/m ³	Media Aritmética de 24 Horas
Monóxido de Carbono (CO)	10.000 (*)	µg/m ³	Promedio Aritmético Móvil de 8 Horas Consecutivas
	40.000 (*)	µg/m ³	Media Aritmética de 1 Hora
Oxidantes Fotoquímicos: Ozono (O ₃)	160 (*)	µg/m ³	Media Aritmética de 1 Hora
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	100	µg/m ³	Media Aritmética Anual

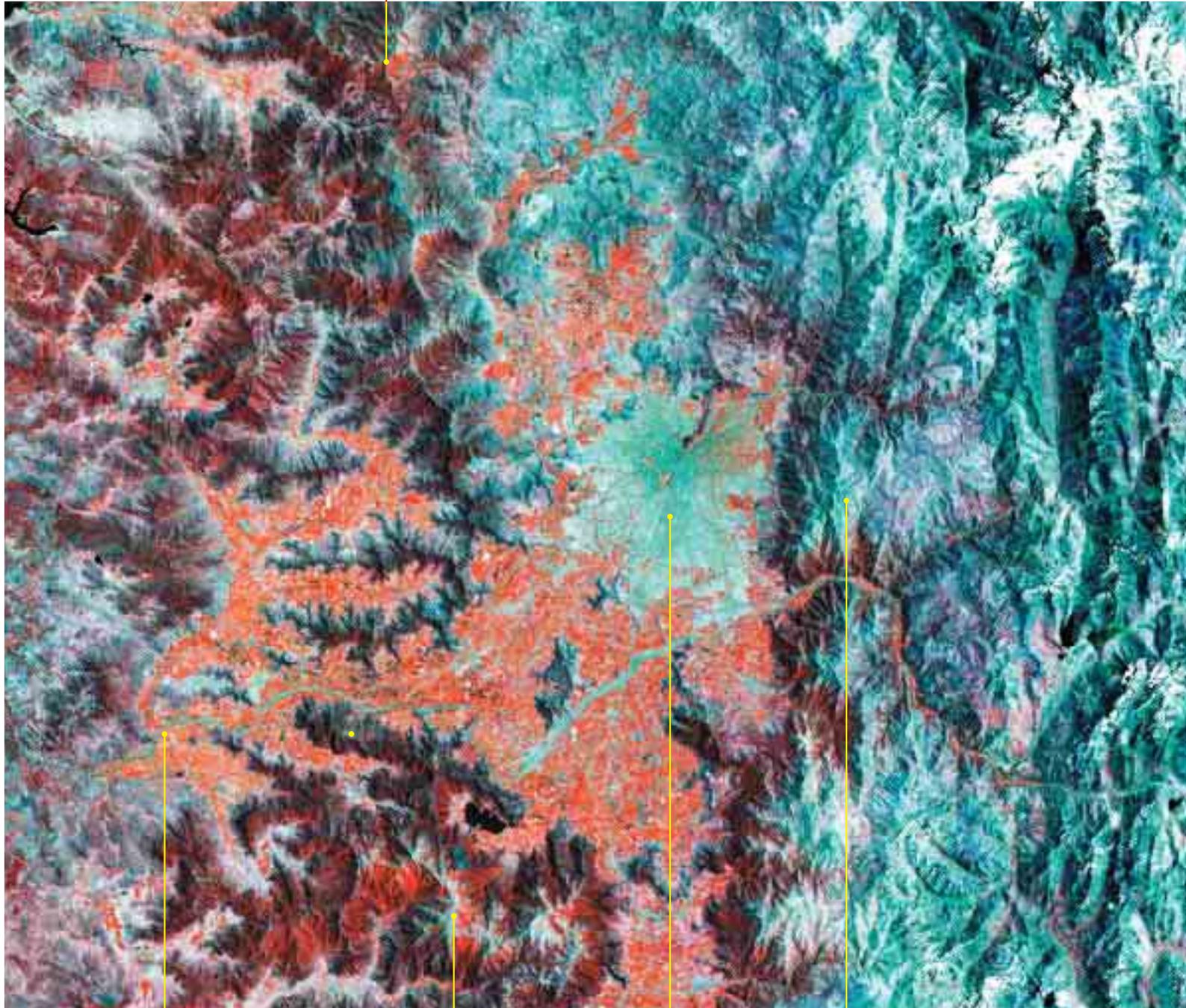
Decreto supremo No. 185

Contaminante	Norma	Unidad	Tipo de Norma
Material Particulado Respirable (MP10)	150	µg/m ³	Media Aritmética Diaria

µg: Un microgramo corresponde a una millonésima de gramo.

(*): Valor que no puede ser sobrepasado más de una vez al año.

Cerro El Roble. Una de las más altas cumbres de la Cordillera de la Costa: 2.222 m sobre el nivel mar.



Valle del Río Mapocho que interrumpe la Cordillera de la Costa.

Altos de Cantillana. Macizo que alcanza alturas sobre 2.200 m sobre el nivel del mar.

Mancha urbana de Santiago.

Cordillera de los Andes. Cerro San Ramón, 3.200 m sobre el nivel del mar.

Imagen satelital de la región metropolitana (LANSAT, 1998). Se aprecia la cuenca aérea de Santiago, delimitada por las cordilleras de Los Andes y de La Costa.

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.

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 de 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 millonésima 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.

Índices 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 los 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 del 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/MINSAL1988)

ICAP	Categoría ICAP	MP10 µg/m ³ (24 hrs.)	Nivel	Episodio
0 a 100	Bueno	0	0	-
101 a 200	Regular	100	0	-
201 a 300	Malo	200	1	Alerta
301 a 400	Crítico	300	2	Preemergencia
401 a 500	Peligroso	400	2	Preemergencia
>501	Excede	500	3	Emergencia

En Santiago, establecimos un plazo de 20 años para terminar con la contaminación atmosférica. Ciudades de países desarrollados se han tomado 40.

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 monitoreo 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.

Tabla 4: Red actual de monitoreo (MACAM-2)

Código Estación	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 NO _x /NO ₂ O ₃ MP10 MP2,5 α β	CO SO ₂ O ₃ MP10 MP2,5 α β Nitrato Sulfato	CO SO ₂ NO _x /NO ₂ O ₃ MP10 MP2,5 α β	CO SO ₂ NO _x /NO ₂ O ₃ MP10 α	CO SO ₂ O ₃ MP10

Todas las estaciones de la red MACAM-2 son operadas por el Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente (SESMA) y están conectadas en forma remota con esta institución y CONAMA RM, 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.sesma.cl y www.conamarm.cl).

α: CH₄ (metano) y NMH (hidrocarburos no metánicos).
β: carbono orgánico y total del MP2,5.

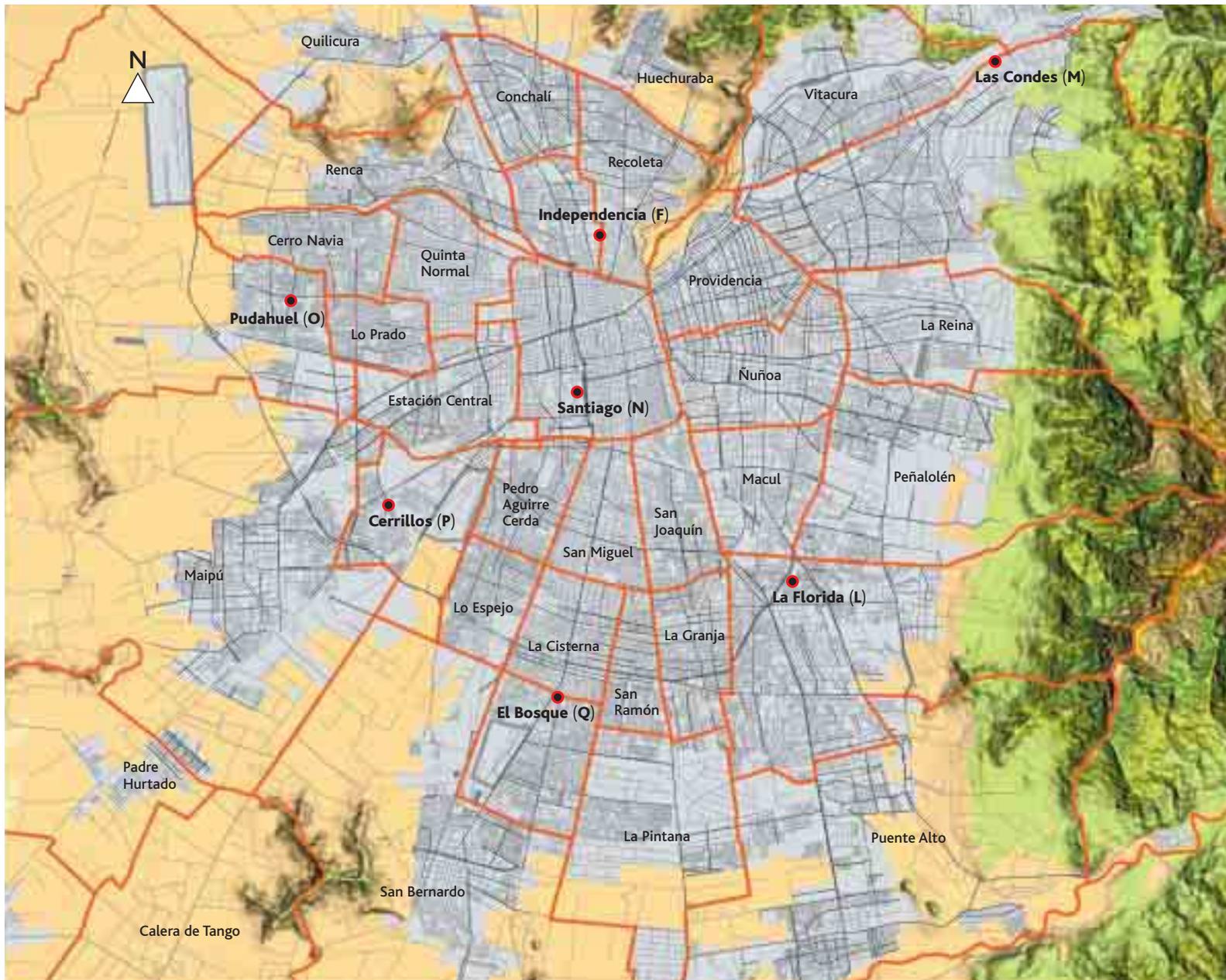
Fuente: SESMA-CONAMA RM

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 2003, 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 la Universidad Técnica Federico Santa María, cuyos profesionales han caracterizado la fracción orgánica de este contaminante (HAP's principalmente)

Precisamente para apoyar la caracterización del MP10 y determinar las concentraciones de base (background), fue que a partir del año 2003, CONAMA RM instaló una estación en la entrada suroeste de la Región Metropolitana, la cual monitorea en forma continua las concentraciones de MP10, MP2,5 y gases.



Red de Monitoreo MACAM-2, en operación desde el año 1997. Actualmente cuenta con 7 estaciones automáticas que monitorean el material particulado y gases en forma continúa.

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 últimos tres años se ha llevado a cabo una campaña de monitoreo a cargo de profesionales del Departamento de Física de la Universidad de Santiago, quienes han medido 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 Departamento 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.



Estación de monitoreo *background*, instalada en la localidad de Leyda, en la entrada surponiente de la Región Metropolitana.

Asimismo, con el objetivo de contribuir a la validación de los modelos fotoquímicos actualmente en desarrollo y mejorar el conocimiento de la química atmosférica de la Región Metropolitana, durante los años 2002 y 2003, el Departamento de Química de la Universidad de Santiago realizó mediciones de hidrometeoros (rocío, lluvia y neblina) en varios sectores de la ciudad. Hacia finales del año 2003, se monitoreó ozono en Farellones y otros sectores de la precordillera.

Producto de lo anterior, 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 de material particulado que finalmente respiramos, lo que ha permitido mejorar la focalización de las medidas de descontaminación.

En Santiago, el año 1989 se superó más de 50 veces el nivel de preemergencia y 25 veces el de emergencia. El año 2003, se registraron sólo 4 preemergencias.



2

**Evolución Histórica
de la Calidad del Aire
1989-2002**

Evolución histórica del Material Particulado: 1989-2002

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 material particulado. Esto es de gran utilidad para identificar el impacto que han tenido las diversas medidas 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.

Fracción fina y gruesa del MP10

La fracción fina del material particulado es aquella compuesta por partículas muy pequeñas, menores a 2,5 micrómetros. Estas partículas tienen 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 fracción gruesa, en cambio, se compone de partículas entre 2,5 y 10 micrómetros. La generación de esta fracción se asocia al polvo resuspendido en las calles, tratamiento de áridos y actividades de construcción.

En la figura 1, se muestra cómo han variado los niveles de concentración de material particulado en el periodo 1989-2002 para las distintas fracciones que lo componen.

La fracción fina ha registrado una reducción sostenida, llegando el año 2002 al 50% 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, mejoramiento de los combustibles diesel y gasolinas e 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 luego de la implementación de programas de pavimentación y de lavado y aspirado de calles.

La concentración promedio anual para el año 2002 alcanzó $69 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 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 muestra la necesidad de implementar nuevas medidas tendientes a seguir reduciendo este contaminante, según se plantea en la Actualización del PPDA.

En relación con 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 año 2002, este valor llegó a $272 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que corresponde a 1,8 veces la norma.

Para comprender el tamaño del Material Particulado:

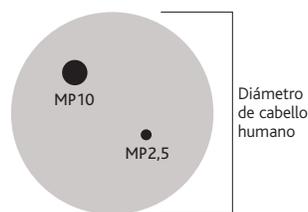


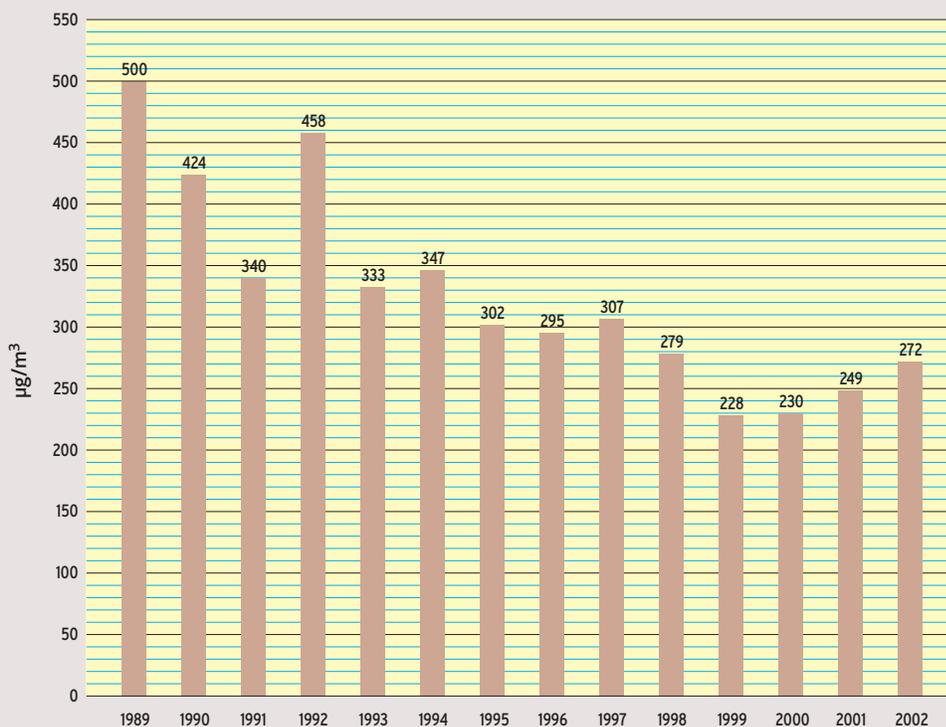
Figura 1: Evolución del Material Particulado respirable (MP10)



Principio de medición:
Equipo Dicotómico.
Incluye estaciones
Providencia, La Paz, Parque
O'Higgins y Las Condes.
(1993 a 1994 no
considera estación Parque
O'Higgins en los cálculos).

Fuente: SESMA-CONAMA RM

Figura 2: Evolución del Material Particulado respirable (MP10), máximos diarios



Principio de medición:
Equipo Dicotómico.
Estaciones Históricas:
La Paz, Parque O'Higgins,
Providencia, Las Condes.
No se consideró informa-
ción de la estación Parque
O'Higgins los años 1993-
1994, por estar afectada por
actividades de cons-
trucción en su entorno.

Fuente: SESMA-CONAMA RM

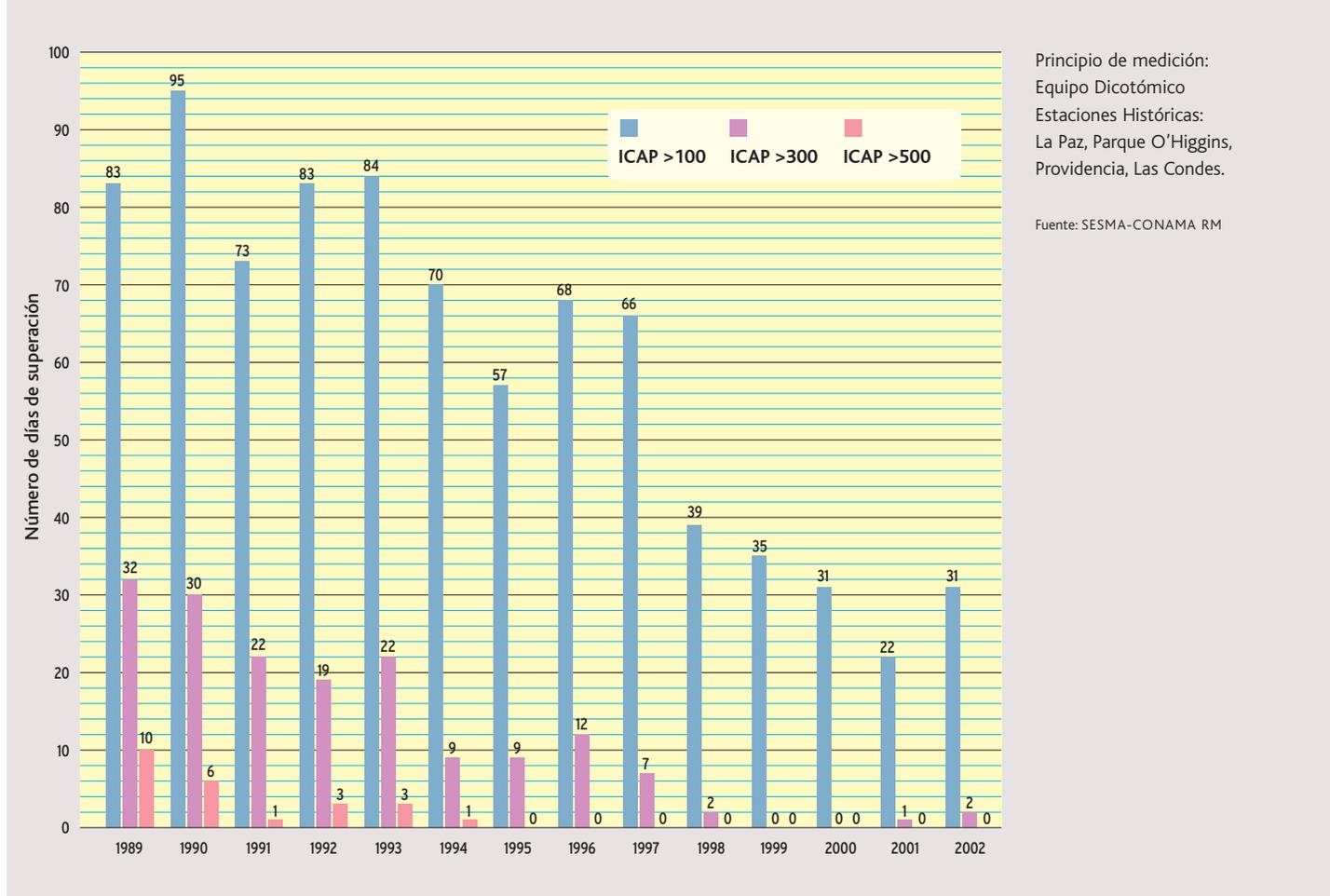
Otro elemento a destacar, es que el año 1990 se registraron 95 superaciones de la norma diaria, mientras que el 2002 las superaciones alcanzaron 31 eventos.

Respecto de los índices de calidad del aire, la superación de los niveles 100, 300 y 500 del ICAP en la red MACAM-1, la figura 3 muestra una reducción importante en el período, siendo el hecho más destacable, el que en los últimos nueve años no se han registrado emergencias ambientales.

En los países en desarrollo, el crecimiento económico ha traído, en general, un incremento en los niveles de contaminación atmosférica. En Santiago, sin embargo, se ha conseguido bajar las concentraciones del contaminante más peligroso (MP_{2,5}) al mismo tiempo que la ciudad prácticamente duplicaba su actividad económica. A este efecto le hemos llamado Ganancia Ambiental, y está asociada a los beneficios en salud de la población.

La figura 4, representa la Ganancia Ambiental registrada en la Región Metropolitana por medio de dos curvas: Crecimiento Económico (PIB regional anual) y descontaminación,

Figura 3: Superaciones de Índices de Calidad de Aire ICAP 100, ICAP 300 e ICAP 500



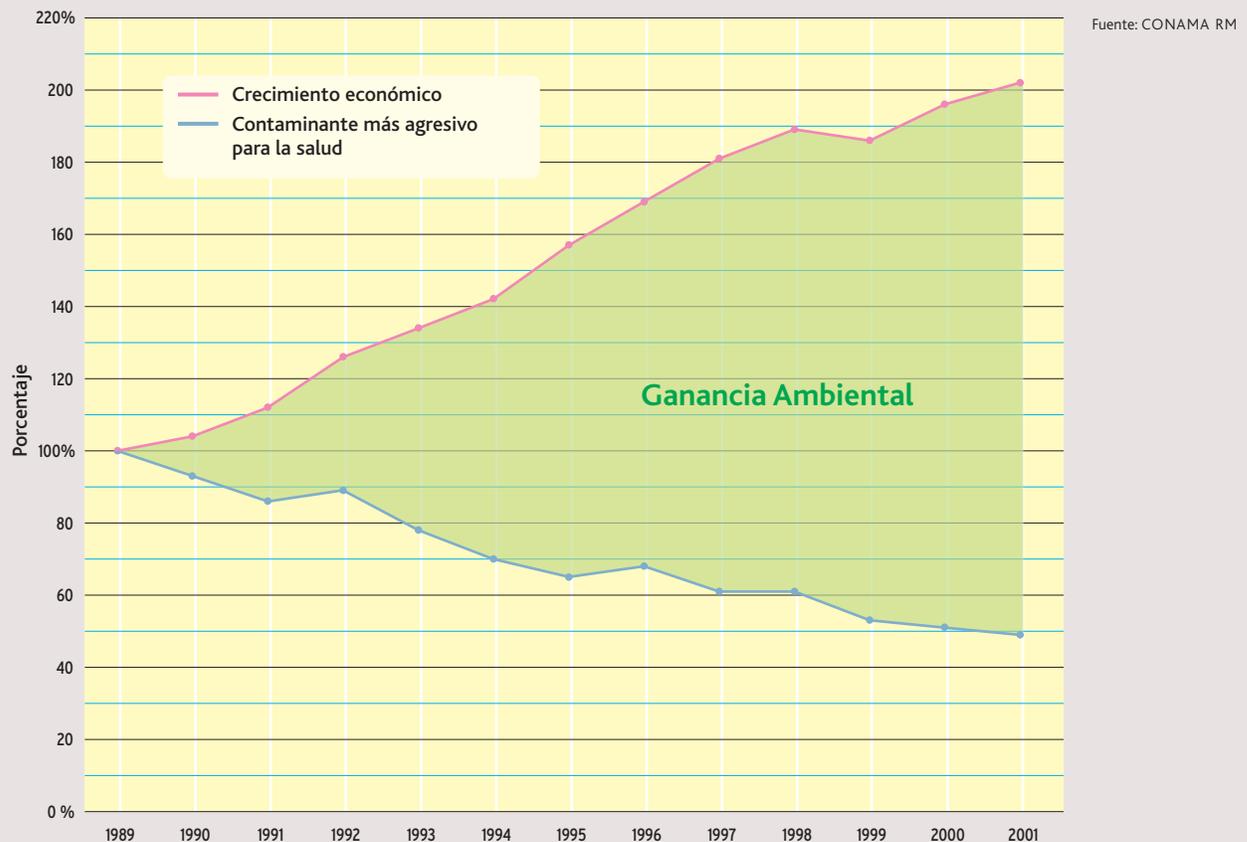
representada a través de las concentraciones de material particulado fino. En ella se aprecia el sostenido crecimiento económico que ha experimentado en estos años la Región Metropolitana en conjunto con la disminución de las concentraciones de material particulado respirable fino, lo que refleja un 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 de los episodios críticos de contaminación. Tal percepción, se funda en que a la fecha continúan los estados de preemergencia ambiental. Por esta razón, una de las metas más importantes establecidas en la actualización del PPDA, es que al año 2005 no se produzcan más preemergencias ambientales en la región.

Para permitir al lector una mirada retrospectiva de la ciudad, nos hemos permitido un sencillo balance que compara algunos antecedentes vinculados con la contaminación atmosférica en dos períodos distintos: a principios de los noventa y la situación actual. De esta forma, es posible darse cuenta cómo se explica que la calidad del aire registre una importante mejoría (ver página 23).

El transporte público ha sido sometido a dos procesos de licitación que han mejorado su operación y reducido el número y antigüedad de los buses, al mismo tiempo que han mejo-

Figura 4: Crecimiento económico de la Región Metropolitana y descontaminación



rado 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, hasta el año 2005, con la implementación de Transantiago.

Otro elemento importante es 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 certificación de éstas en el laboratorio de control de emisiones, un sistema de revisión técnica obligatorio y la fiscalización en terreno, todas 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.

Balance Histórico

Fuente	10 años atrás	Hoy
Buses	14.000 buses 15 años de antigüedad, (promedio)	7.500 buses 5 años de antigüedad, (promedio)
Diesel	5.000 ppm azufre	200 ppm azufre
Gasolinas	Todas con plomo	Todas sin plomo
Vehículos particulares	100% convencionales	20% convencionales 80% catalíticos
Industria	Leña, carbón y petróleos pesados	Gas natural y diesel ciudad (300 ppm)
Generación de electricidad	Carbón	Gas natural



3

**Evolución de la Calidad
del Aire, 1997-2003**

**Período de Aplicación
del Plan de Prevención
y Descontaminación
Atmosférica de la Región
Metropolitana**

Episodios críticos de contaminación atmosférica

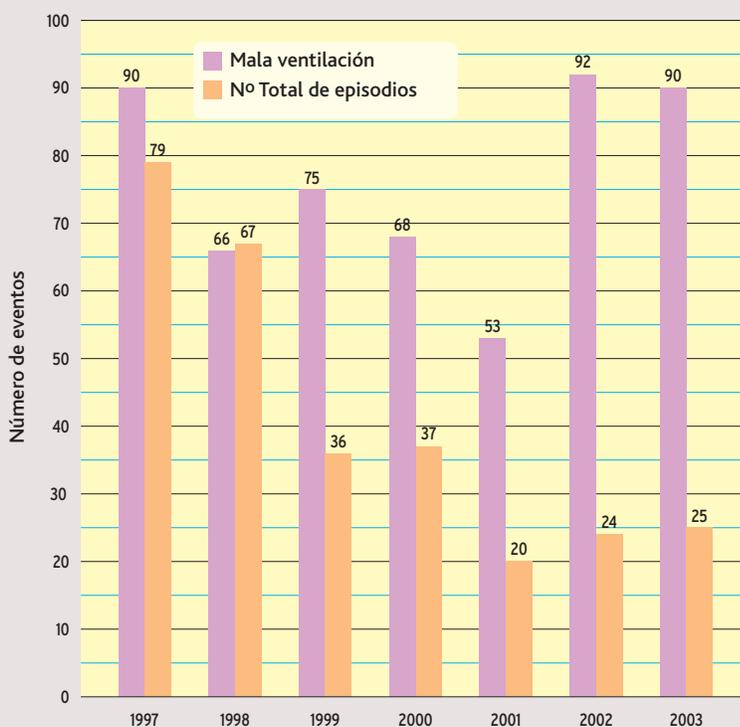
El empeoramiento de las condiciones de ventilación durante el período invernal en la Región Metropolitana determina la ocurrencia de episodios críticos de contaminación. El mayor impacto se produce sobre las concentraciones de material particulado, las cuales están determinadas por dos factores: emisiones y ventilación. Es este último factor el que presenta una mayor variabilidad anual, alcanzando sus niveles más adversos entre los meses de abril a agosto, con los meses de mayo, junio y julio como los que históricamente han concentrado la mayor cantidad de episodios.

En la figura 5, se presenta un análisis de la evolución de los episodios constatados y las condiciones de ventilación. Se entenderá como día de episodio, a aquellos días en que se constate al menos una estación de la red un ICAP mayor o igual que 200.

El gráfico presentado de esta forma, muestra que los años 1997 y 2003 son meteorológicamente similares, tanto desde el 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.

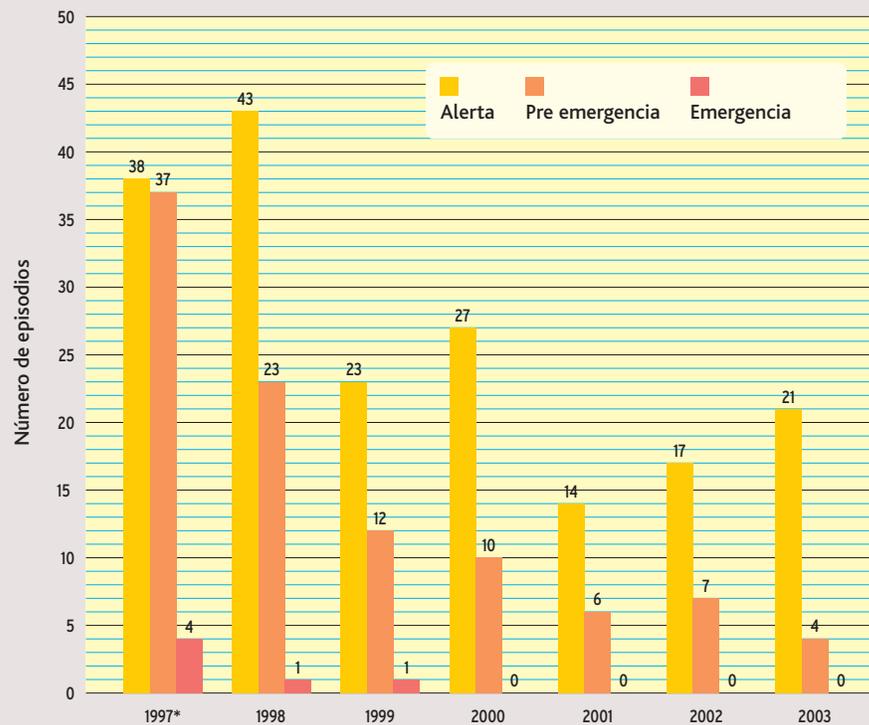
Como resultado se observa entonces, una reducción significativa de episodios críticos, pasando de 79 eventos el año 1997 a 25 el 2003.

Figura 5: Ventilación y episodios de contaminación



Fuente: CENMA-CONAMA RM

Figura 6: Evolución de la ocurrencia de episodios



(*) A partir de Abril de 1997.

Fuente: SESMA-CONAMA RM

La figura 6, muestra los episodios constatados en los últimos 7 años. Es posible ver cómo se ha reducido el número de episodios de contaminación atmosférica en la Región Metropolitana.

De la figura 6, se debe destacar que en los últimos cuatro años no se han registrado emergencias ambientales. Las preemergencias por su parte, han caído de 37 eventos el año 1997 a 4 el año 2003.

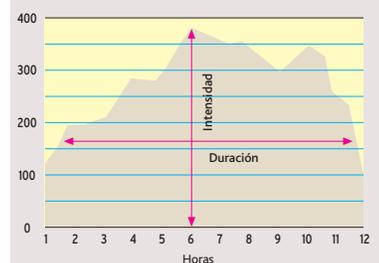
Indicadores de exposición a altos niveles de MP10

El nivel de exposición a altas concentraciones de material particulado por períodos prolongados de tiempo, determina el impacto en la salud de la población. Al comparar sólo el número de preemergencias, por ejemplo, un evento de 24 horas de duración cuenta igual que otro que dure sólo un par de horas; un ICAP 499 se registra como preemergencia al igual que un ICAP 300. Es necesario por lo tanto, generar indicadores que den cuenta del nivel de exposición.

La figura 7, ilustra dos indicadores: la duración del episodio (en horas) y la intensidad (expresada en concentración máxima o concentración promedio del episodio).

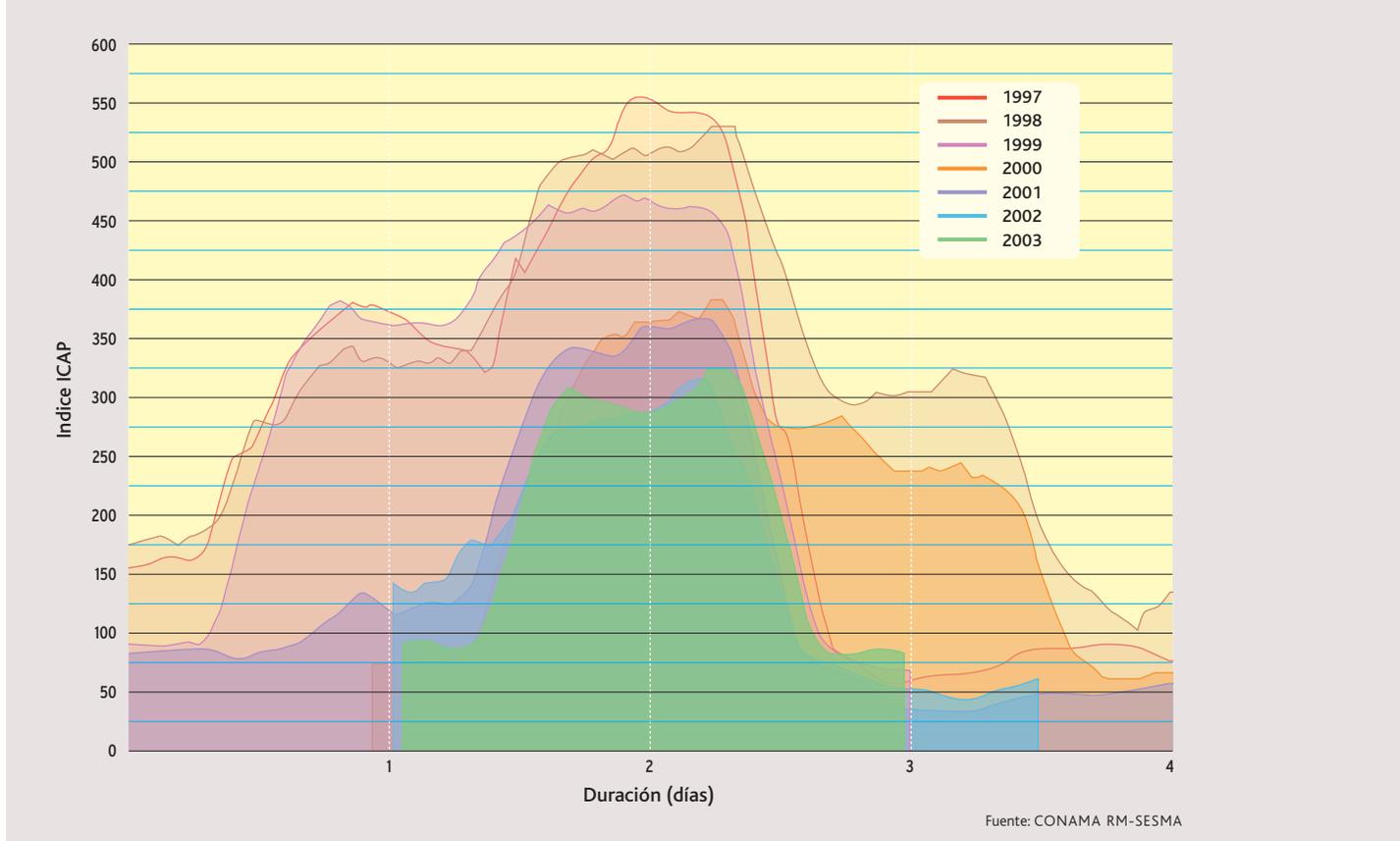
El mejor indicador resulta ser una combinación de ambos, representado por el área achurada, pues da una idea del total de contaminación a la que estuvo expuesta la población (concentración por período de tiempo).

Figura 7: Indicadores de exposición



La figura 8, muestra los peores episodios para cada año entre 1997 y 2003, todos registrados en la estación Pudahuel. Con los datos disponibles, es posible afirmar que cada año los episodios han sido menos intensos (menos agresivos), tanto por su menor duración como por sus índices máximos cada vez menores. Esto resulta evidente al comparar los episodios de esta forma, pues se superpone el peor evento de cada año conservando la escala.

Figura 8: Peores episodios críticos en Pudahuel, 1997-2003



La tabla 6, resume el análisis de todos los episodios que superaron el nivel ICAP 300 el año 1997, en comparación con los años 2002 y 2003. Se han incluido tres indicadores: horas de duración, intensidad y exposición, calculada como el área bajo la curva. El análisis está construido con los datos horarios desde el momento en que se superó el nivel 300 de ICAP, hasta que las concentraciones bajaron ese nivel.

Si consideramos el número de horas continuas sobre el nivel 300 como un indicador (duración del episodio), el peor episodio registra 135 horas el año 1997, en relación a los años 2002 y 2003, ambos años de mala ventilación, que registran 41 y 35 horas respectivamente. El máximo alcanzado el año 1997, resulta del orden de 100 microgramos mayor que en los años 2002 y 2003. Finalmente, si comparamos el área bajo la curva, el peor episodio del año 1997 resulta ser 4,4 veces más agresivo que el peor del año 2003.

Tabla 6: Indicadores de exposición a MP10. Episodios sobre índice ICAP 300

Fecha episodio*		Exposición		
		Horas**	Máxima 24 hrs. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)***	Area ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)****
1997	11 abril	21	278	5.467
	28, 29 abril	25	312	6.949
	3 mayo	15	282	3.980
	4 mayo	15	249	3.650
	6, 7 mayo	40	369	12.838
	10, 11 mayo	26	281	6.555
	23, 25 mayo	69	323	19.552
	28 mayo	21	312	5.905
	7 junio	23	299	6.415
	8 junio	19	252	4.691
	29 junio, 1 julio	48	375	14.839
	4, 5 julio	25	300	7.082
	9 julio	10	250	2.466
	11 julio	11	253	2.721
	14 julio	3	243	724
	15 julio	6	247	1.461
	17, 20 julio	94	322	27.397
	22, 27 julio	135	334	39.985
5, 6 agosto	24	325	7.026	
7, 9 agosto	54	275	14.013	
15, 16 agosto	22	291	6.035	
2002	11 mayo	17	261	4.240
	12 junio	3	244	725
	16 junio	21	278	5.591
	19 junio	17	260	4.305
	22 junio	8	243	1.936
	13, 14 julio	41	267	10.620
2003	3 mayo	13	260	3.234
	10 mayo	5	244	1.212
	19, 20 mayo	35	276	9.020

*

Fecha de inicio y término del episodio (desde que superó hasta que bajó del ICAP 300).

**

Duración del episodio (en horas).

Máxima concentración de MP10 (promedio de 24 horas).

Exposición Total: representa el área bajo la curva de concentraciones (concentraciones acumuladas desde que superó hasta que bajó del ICAP 300).

Fuente: CONAMA-RM

El nivel máximo alcanzado el año 97 es $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mayor que los años 2002 y 2003.

Al comparar el nivel total de exposición, el peor evento del año 1997, resulta 4 veces mayor que los años 2002 y 2003.

El peor episodio del año 1997 duró 135 hrs. consecutivas. Sin embargo, el año 2002, alcanzó 41 hrs. y el 2003 sólo 35 hrs.

Meteorología asociada a episodios críticos

Red Meteorológica

La actual red meteorológica operada por el Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA), cuenta con 12 estaciones de superficie, 10 de ellas se encuentran dispersas en la Región Metropolitana, una en la IV Región y otra en la VII Región, en las localidades de Pichidangui y Putú, respectivamente. Esta red está orientada a prestar apoyo al sistema de pronóstico de episodios de contaminación y está en operación desde el año 1997.

Esta red cuenta con dos tipos de estaciones, aquellas que se encuentran ubicadas en los valles, y aquellas que están en altura, ubicadas en los cerros que rodean la cuenca de Santiago. Las estaciones de las Regiones IV y VII, tienen carácter de estaciones sinópticas mostrando principalmente las condiciones meteorológicas de escala regional.

Cada estación está configurada para la medición de variables meteorológicas que aporten datos relevantes al sistema de pronóstico de contaminación atmosférica. Las estaciones

más simples, sólo miden temperatura, velocidad y dirección del viento. Las más complejas, agregan a estas mediciones radiación solar, humedad relativa, precipitación y presión atmosférica.

El año 2003, se gestionó conjuntamente con la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), la instalación del sistema de medición de perfiles verticales de viento y temperatura, LAP-RASS, en el recinto del Aeropuerto Arturo Merino Benítez (SCL). Este equipo está programado para obtener mediciones en escalas verticales y temporales según se planifique y de acuerdo a los requerimientos de información. La altura máxima en medición de viento es de 4.300 metros aproximadamente, mientras que para la temperatura ésta sólo llega a 1.700 metros.

Meteorología Asociada a la Dispersión de Contaminantes

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.

Figura 9: Red de estaciones meteorológicas



Instrumento meteorológico, Lap-Rass, instalado al interior del aeropuerto Arturo Merino Benítez. Permite generar perfiles en altura para viento y temperatura.



El peor evento del año 1997 duró 135 horas consecutivas con índices sobre el nivel peligroso.

El peor del año 2003, duró 35 horas.

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 período 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

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.

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, comuna de Pudahuel.

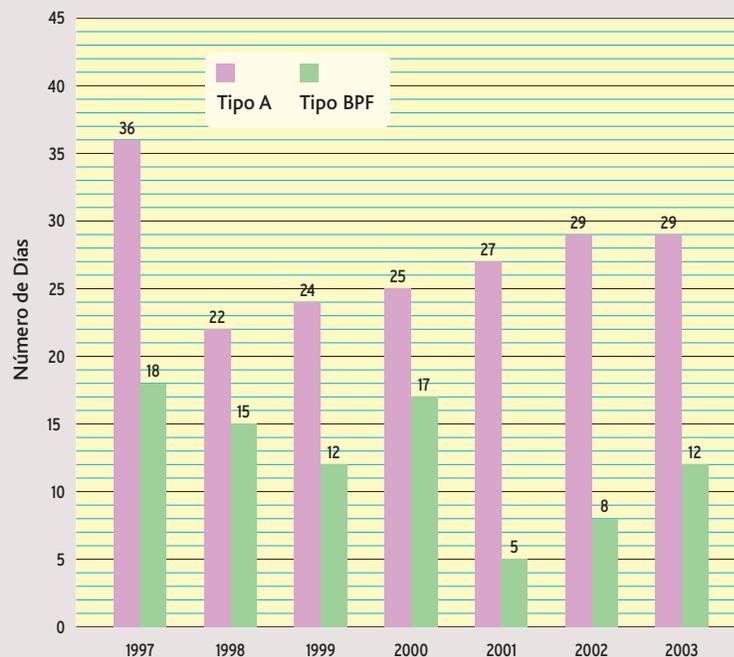
Configuración tipo BPF

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)

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 Cerrillos.

La figura 10, muestra la distribución de este tipo de eventos en los años en que se tienen registros. Los últimos dos años resultan muy parecidos en términos del número de episodios de cada tipo, ambos sólo son superados por el año 1997 en cuanto a las malas condiciones de ventilación.

Figura 10: Distribución de configuraciones Tipo A y BPF



Fuente: CENMA

Potencial Meteorológico de Contaminación Atmosférica (PMCA)

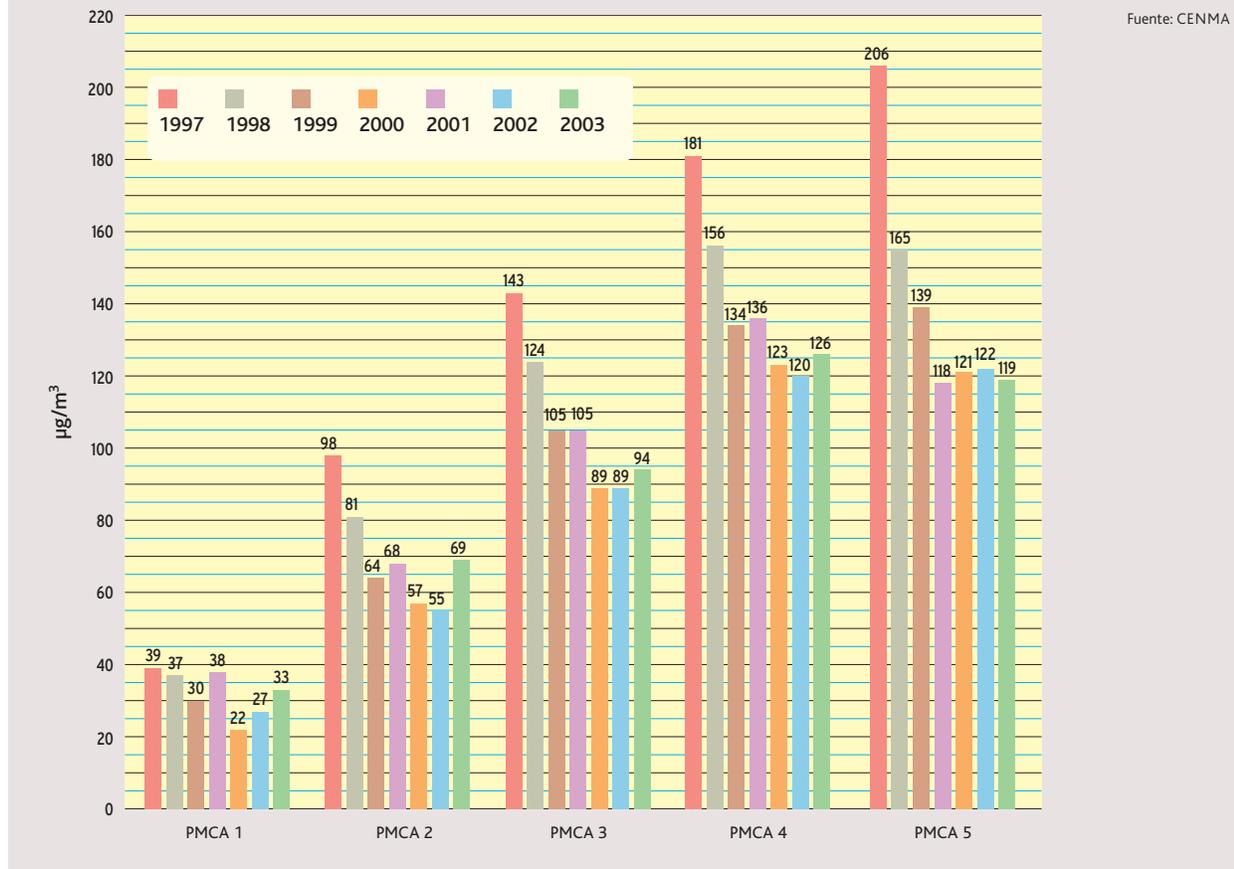
El PMCA es una medida netamente meteorológica, y su valor es inversamente proporcional al factor de ventilación después del mediodía (Rutllant y Salinas, 1983), entendiéndose por factor de ventilación el producto del espesor de la capa de mezcla superficial por el viento medio dentro de la capa. Se definieron cinco categorías de potencial meteorológico de contaminación atmosférica (PMCA). Ver tabla 7.

Tabla 7: Potencial Meteorológico de Contaminación Atmosférica (PMCA)

Categoría del PMCA (Nº y Denominación)	Condiciones de ventilación / Dispersión de contaminantes	Características
1 – Bajo	Muy Buenas	<ul style="list-style-type: none"> • Ausencia de inversión térmica de subsidencia • Sistemas frontales activos • Marcada inestabilidad. • Precipitaciones continuas o chubascos.
2 – Regular/Bajo	Buenas	<ul style="list-style-type: none"> • Inversión térmica de subsidencia débil y/o elevada. • Sistemas frontales de regular actividad, o inestabilidad ligera. • Advecciones generalizadas de aire húmedo y nubosidad baja. • Bajas segregadas en altura o núcleos fríos.
3 – Regular	Regulares	<ul style="list-style-type: none"> • Predominio de altas presiones • Ausencia de precipitaciones. • Advecciones débiles de aire húmedo y/o nubosidad baja. • Condiciones prefrontales y paso de sistemas frontales débiles o en altura.
4 – Regular/Alto	Malas a Críticas	<ul style="list-style-type: none"> • Presencia de configuraciones tipo A o BPF • Índice de Circulación Zonal medio o alto.
5 – Alto	Críticas	<ul style="list-style-type: none"> • Presencia de configuraciones tipo A o BPF • Bajo índice de Circulación Zonal

A continuación, la figura 11, muestra las concentraciones de MP10 registradas según el índice PMCA, para el período 1997-2003. Este gráfico resulta útil para despejar la variable meteorológica y analizar de mejor forma la evolución de la calidad del aire. Se observa que para iguales categorías observadas del PMCA, los valores promedio de MP10 son mayoritariamente decrecientes entre los años 1997 y 2002, en tanto que el año 2003, se aprecia un leve aumento en las concentraciones para los PMCA 1 al 4 y una reducción en el PMCA 5.

Figura 11: Categorías de PMCA y promedios de MP10 (otoño-invierno)



Evolución de la calidad del aire por contaminante

Material Particulado Respirable MP10

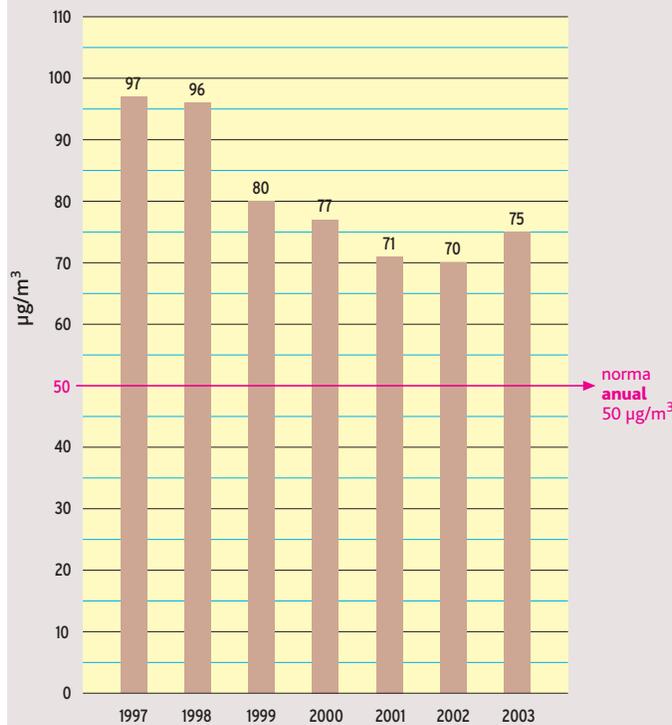
El material particulado es el principal contaminante que afecta a la ciudad de Santiago. Por esta razón, su evolución en el período de estudio será analizada en detalle a través de los promedios anuales y los máximos diarios, agregados para toda la red de monitoreo. Para entregar al lector una idea del 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 12, en la cual se observa que existe una evolución positiva de los niveles de concentración hasta el año 2002 y un aumento el año 2003. Una interpretación de este aumento 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 el valor en un 50%.

En relación a las concentraciones diarias, expresadas como máximos diarios, se observa en la figura 13 una disminución sostenida de las concentraciones hasta el año 2000 y posteriormente una tendencia a la estabilización de las mismas. Este hecho puede deberse a que

Figura 12: Evolución de promedios anuales de MP10



Fuente: SESMA-CONAMA RM

Figura 13: Evolución de máximos diarios de MP10



Fuente: SESMA-CONAMA RM

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 1,8 veces el 2003. Además, esta concentración se encuentra a 36 µg/m³ del límite para no superar el nivel de preemergencia ambiental (240 µg/m³), meta comprometida para el año 2005.

En relación a la distribución geográfica del contaminante, la figura 14 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 la estación de El Bosque, la cual está por sobre de la estación Pudahuel, estación que hasta el año 2002 siempre registró el máximo de la red. Otro hecho destacable es la constatación de que tres de las siete estaciones no registraron preemergencias durante el año 2003.

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 El Bosque, hasta un 34% en Las Condes (ver figura 15).

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, sin duda no se deben a un problema local de Pudahuel.

Figura 14: Promedios anuales y máximos diarios de MP10 por estación (año 2003)

Nota: 1997, el período invernal considerado es 04 abril al 17 de septiembre.

Fuente: SESMA-CONAMA RM

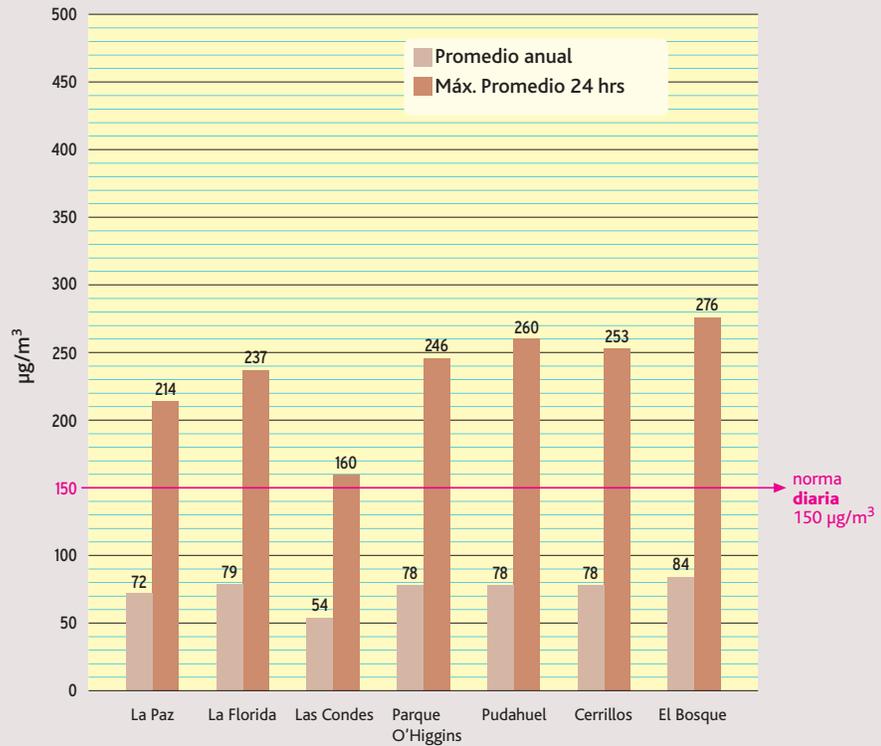
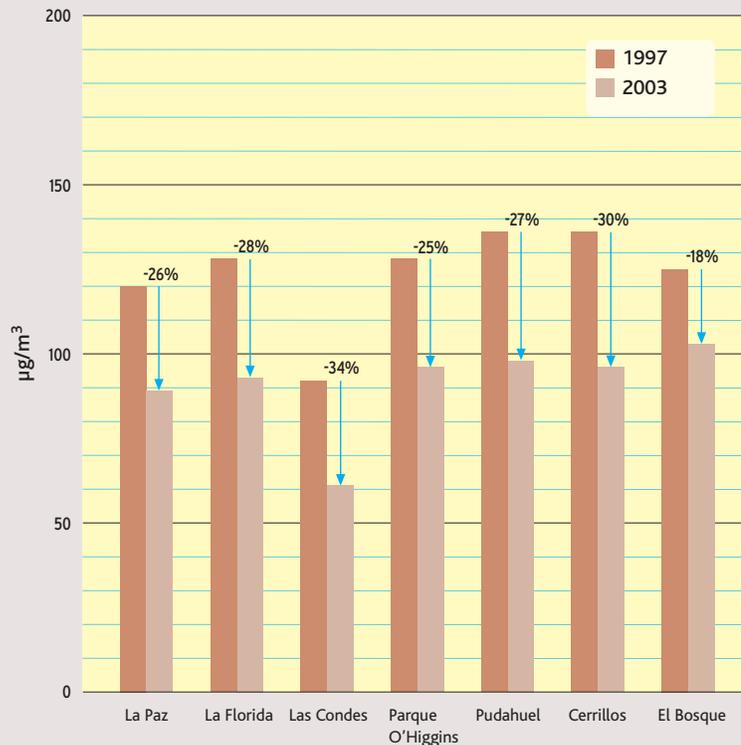


Figura 15: Comparación de los promedios invernales de MP10

Fuente: SESMA-CONAMA RM



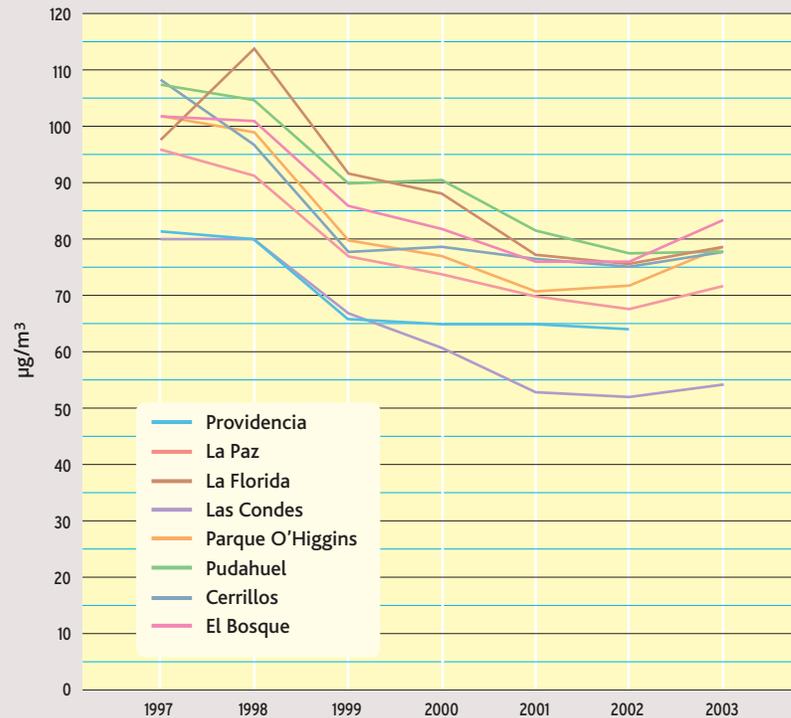
Con la implementación del Transantiago el año 2005, el transporte público reducirá sus emisiones de Material Particulado en un 75%.

Ese mismo año, METRO duplicará la extensión actual de su red.

Finalmente, el análisis de los promedios anuales por estación para todo el período, nos muestra cómo se han comportado las tendencias en forma individual. Hay tres estaciones que muestran un incremento importante a nivel de promedios anuales el último año, estas son El Bosque, Parque O'Higgins y La Paz, todas ellas sometidas a impactos por cambios en su entorno. Las dos primeras están afectadas por el redireccionamiento del tráfico asociado

Figura 16:
Promedios anuales de
MP10 por estación

Fuente: SESMA-CONAMA RM



a mejoras de la infraestructura vial de la Región Metropolitana, sin embargo, en ambos casos el impacto es transitorio. La estación La Paz, en tanto, ha sufrido un cambio permanente desde que la avenida donde se localiza se transformó en vía troncal de transporte público, lo que amerita un análisis exhaustivo de la representatividad de esta estación.

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.

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 (NO_x), dióxido de azufre (SO_2), amoníaco (NH_3) 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 y propiedades tóxicas en otros. El "carbono elemental", es también relevante ya que es el portador en el que se adsorben gases como SO_x y NO_x que, junto con la humedad atmosférica, generan la acidez del material particulado.

La figura 17, da cuenta de la reducción sostenida de esta fracción en la Red MACAM-1, reducción que alcanza el 50% 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 últimos dos años, que presentaron mala ventilación.

Figura 17:
Evolución de las
concentraciones
de $\text{PM}_{2,5}$

Principio de medición:
Equipo dicotómico

Fuente: SESMA-CONAMA
RM



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 PM_{10} , Avenida 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 la zona norte del centro de Santiago (ver figura 18).

Las estaciones que cuentan con monitores $\text{TEOM}_{2,5}$, 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. En cuanto a las ten-

dencias, sólo dos de ellas muestran valores decrecientes en el período, La Florida y Las Condes, las otras registran una tendencia constante (ver figura 19).

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

Figura 18:
Evolución de las concentraciones de MP2,5 por estación

Principio de medición:
Equipo Dicotómico

Fuente: SESMA-CONAMA RM

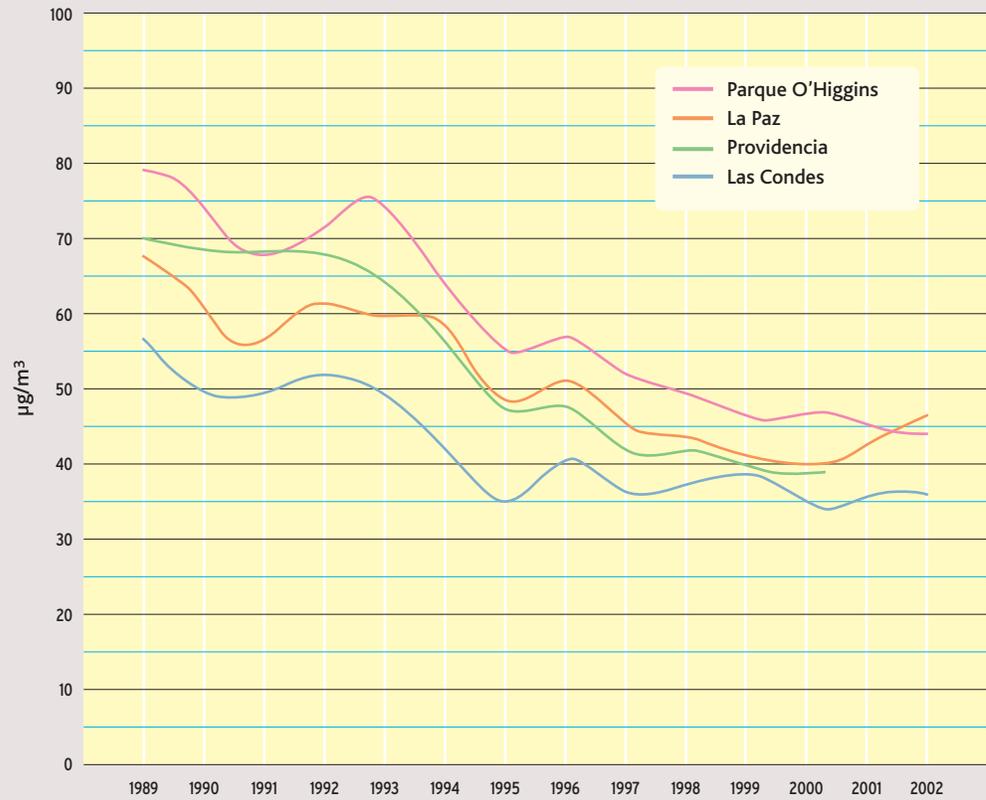
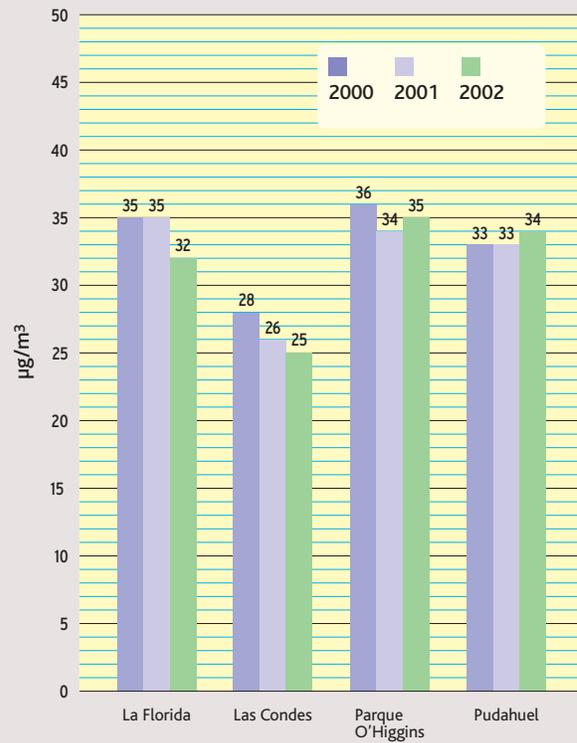


Figura 19:
Evolución de los promedios anuales de MP2,5

Fuente: SESMA-CONAMA RM



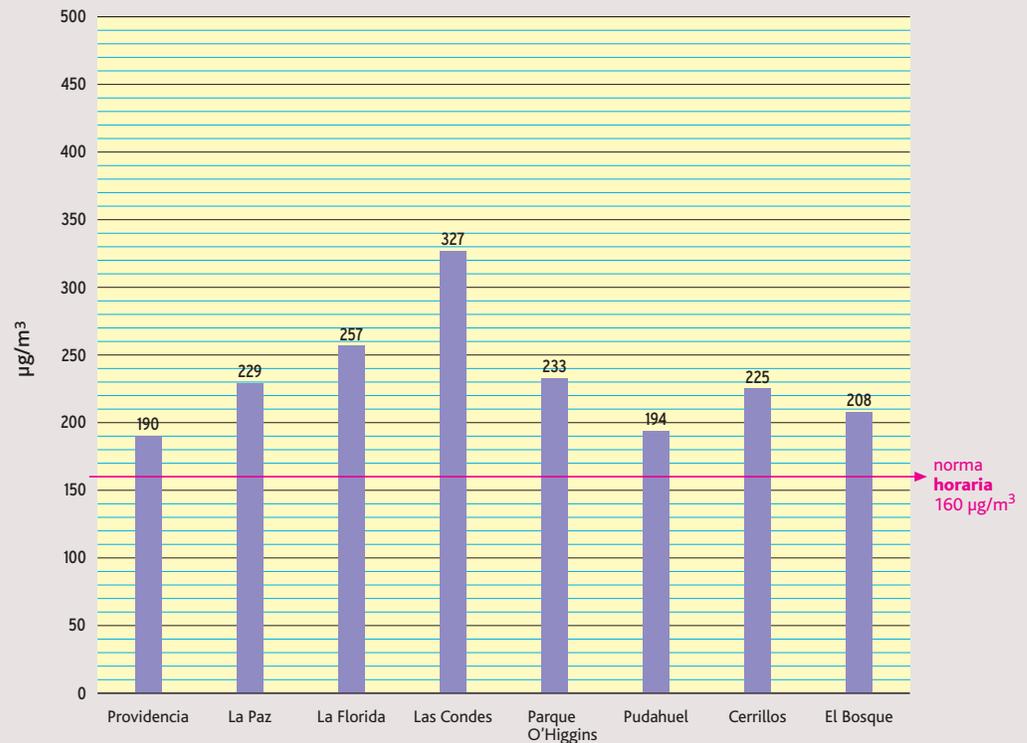
Ozono (O₃)

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 20, 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ se superó el año 2001 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 20:
Máximos horarios de ozono por estación

Fuente: CONAMA RM-SESMA



Respecto de la evolución anual que ha tenido el ozono en el tiempo, en la figura 21 se muestra la variación de los niveles de concentración máximos horarios de Ozono en el periodo 1997 y 2002. 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.

El gráfico 22, 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 la estación Las Condes, seguida por la estación La Florida. Las demás estaciones superan la norma horaria muy pocas veces al año.

Figura 21: Evolución de máximos horarios de ozono

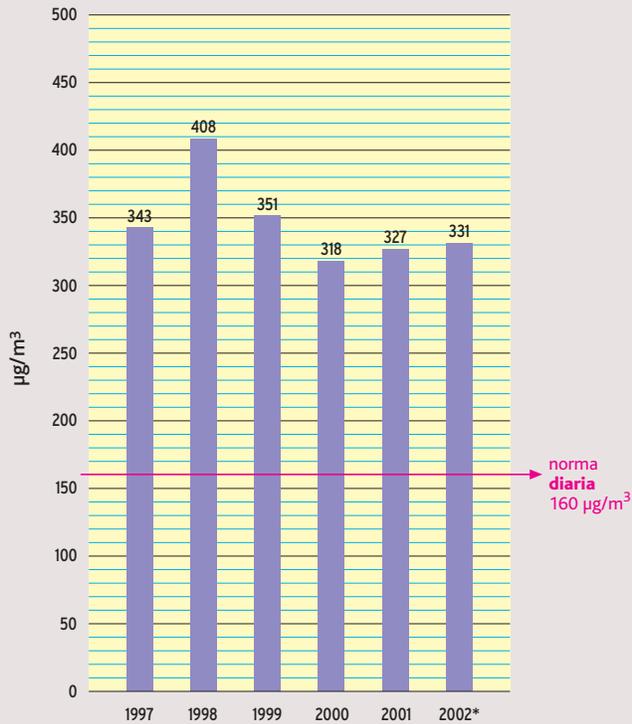
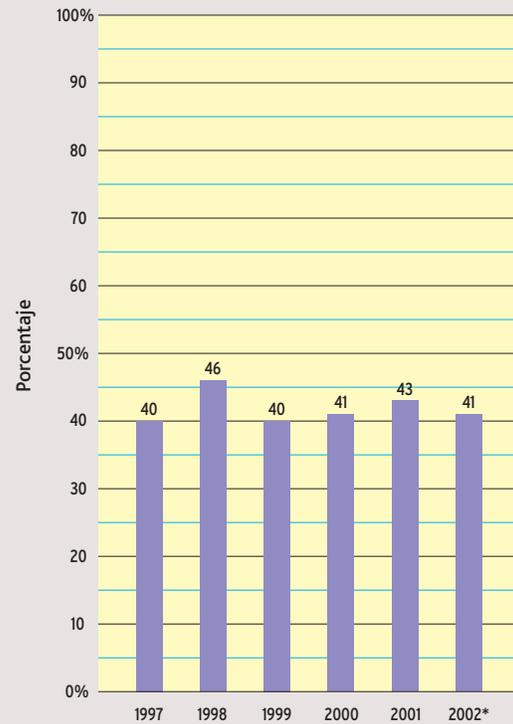


Figura 22: Días de superación de norma horaria de ozono



(*) Figuras 21 y 22: datos 2002 sólo incluyen período septiembre-diciembre. 1997 considera período abril 4 a diciembre 31

Fuente: SESMA-CONAMA RM

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.

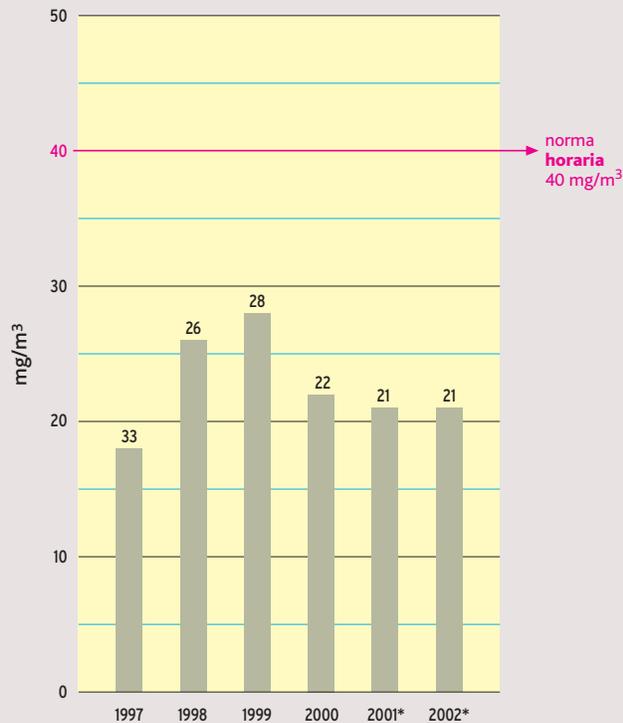
Actualmente, Chile tiene dos normas para el CO, una horaria de 40 mg/m³ (que cambia a 30 mg/m³ a partir del año 2006) y otra de ocho horas equivalente a 10 mg/m³. Desde que se registra este contaminante en la red de monitoreo, nunca se ha superado la norma horaria vigente, las concentraciones de los últimos años permiten asegurar incluso, el cumplimiento de la nueva norma (ver figura 23).

A nivel mundial,
muchas organizaciones
promueven el fin de las
gasolinas con plomo.
En Chile, éstas ya no
existen.

En julio de 2004,
Santiago tendrá
el diesel más limpio
de Latinoamérica.

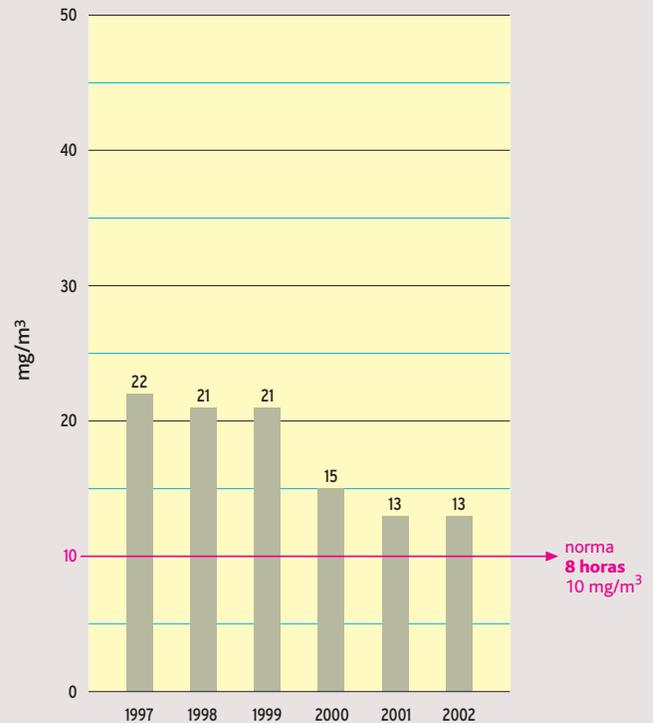
Sin embargo, la situación respecto de la norma de 8 horas es muy diferente, las concentraciones (figura 24) superan la norma en todo el período, aunque muestran una evolución positiva que permite proyectar una pronta salida del estado de saturación, esto si se mantienen las actuales tendencias. Los avances 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 23: Máximos horarios de monóxido de carbono (CO)



(*) Datos 2001-2002 no validados

Figura 24: Máximos promedios móviles de 8 horas, de monóxido de carbono (CO)



Fuente: SESMA-CONAMA RM

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.

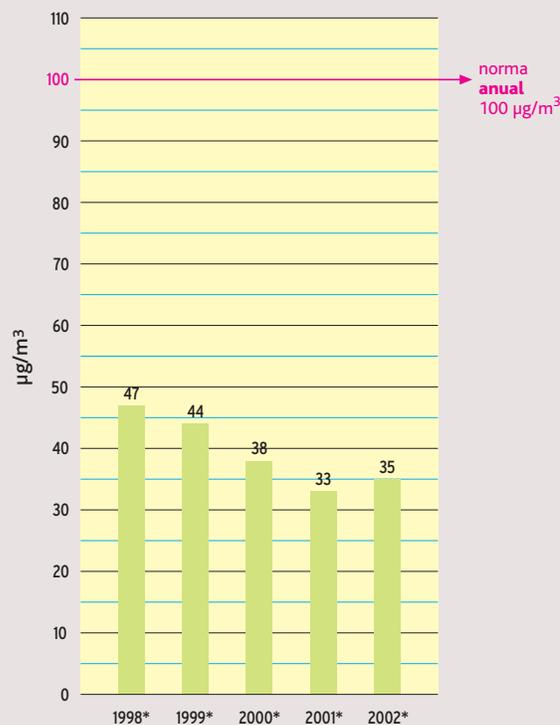
El dióxido de nitrógeno, en estado de latencia al momento de la declaración de Zona Saturada, justifica su control por su aporte al material particulado secundario, especialmente a la fracción más fina y por su participación como precursor, en conjunto con los Compuestos Orgánicos Volátiles, en la formación de ozono troposférico. Actualmente, Chile tiene una norma anual vigente de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pero a partir del año 2006 entra en vigencia también, una norma horaria de $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La figura 25, muestra la evolución anual de las concentraciones promedios de Dióxido de Nitrógeno para el periodo 1998-2002. 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% del valor de la norma. Desafortunadamente, no se cuenta con información validada por el SESMA 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, no obstante, resulta urgente poder tener información validada para hacer un adecuado seguimiento de la evaluación de este contaminante.

Figura 25:
Concentraciones
promedio anual de NO_2

(*) Datos 1998 al 2002
no validados.

Fuente: SESMA-CONAMA RM



Dióxido de Azufre (SO_2)

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 físico-química del material particulado, es un agente importante en la formación de material particulado secundario, junto con otros precursores como el dióxido de nitrógeno y el amoníaco.

El dióxido de azufre tiene norma diaria y anual, de $365 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. A partir del año 2006, entra en vigencia una norma diaria de $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La figura 26, 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.

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 21% del valor de la norma correspondiente (ver figura 27).

Figura 26: Concentraciones anuales de SO_2

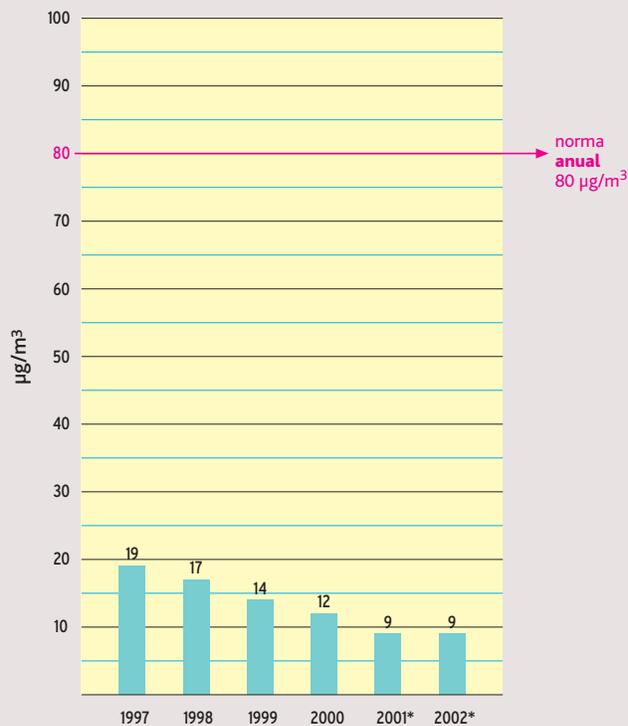


Figura 27: Concentraciones máximas diarias de SO_2



(*) Figuras 26 y 27: datos 2001-2002 no validados.

Fuente: SESMA-CONAMA RM

En la década de los 90, el sector industrial redujo sus emisiones de Material Particulado en un 88%.



4

Soluciones Estructurales
para Santiago

Principales medidas
del PPDA actualizado

Enfoque de la Actualización 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 y materiales. 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, es el instrumento de gestión ambiental de 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 se sustenta 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 de distintos sectores y más de veinte consultorías y asesorías nacionales e internacionales. 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.

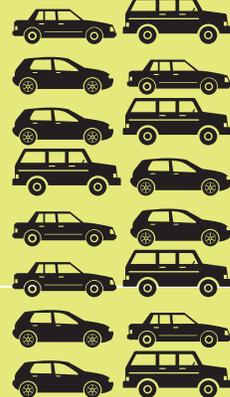
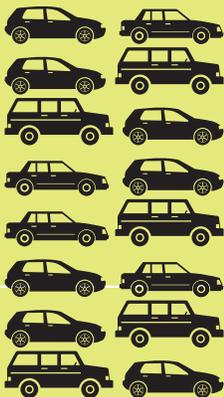
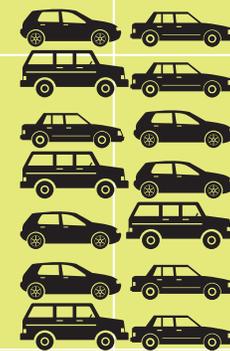
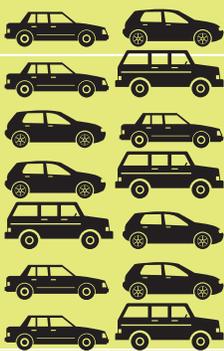
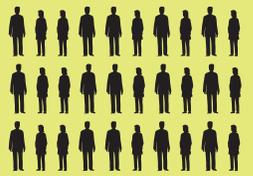
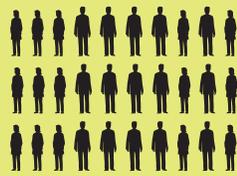
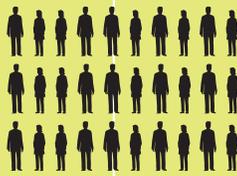
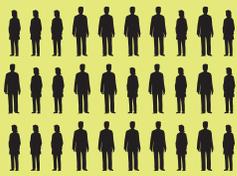
Las principales recomendaciones de la Auditoría Internacional fueron: centrar el PPDA en el control de los procesos de combustión; reducir el número de medidas y priorizarlas; mejorar los procesos participativos; comprometer el financiamiento de las medidas y mejorar los indicadores de efectividad.

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.

Usted descontamina cada vez que prefiere el transporte público.



En un bus articulado, caben más de 150 pasajeros

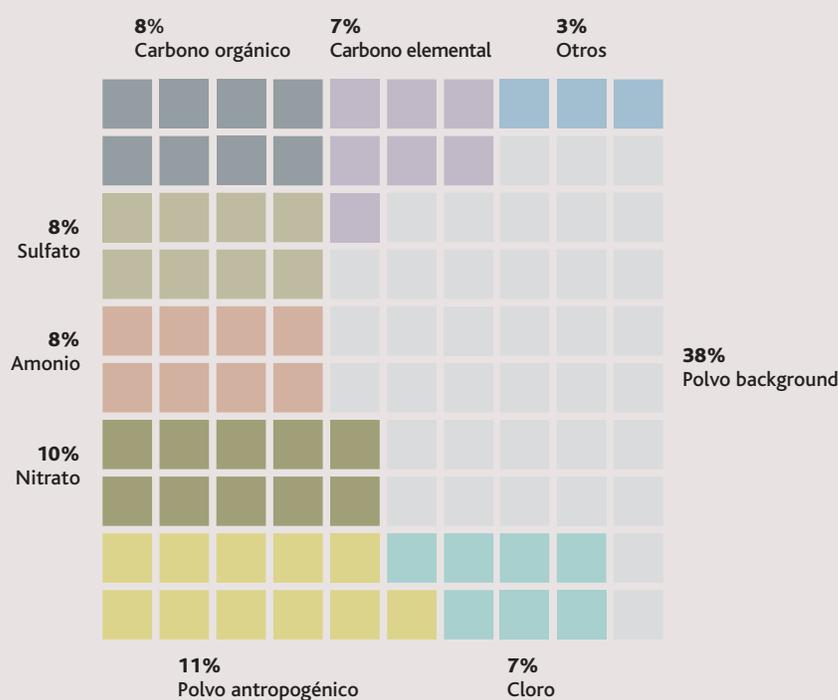
Responsabilidades

Considerando que no existe una relación lineal entre las emisiones de contaminantes a la atmósfera y los niveles de concentración de éstos en el aire, una forma para 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 estudio 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, lo que se muestra en la figura 28.

Figura 28:
Composición química
del Material Particulado
MP10

Fuente: Elaboración propia a partir de Artaxo (USP) 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 RM 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 del material particulado total.

En la fracción fina, el aporte del material particulado secundario supera el 50%. Ya que ésta es 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, era como indica la tabla 8.

Tabla 8: Inventario de emisiones año 2000

Categoría de Fuente	MP10 ton/año	CO ton/año	NO _x ton/año	COV ton/año	SO ₂ ton/año	NH ₃ ton/año
Buses	1.208	6.020	20.428	2.478	793	5
Camiones	810	3.333	9.209	2.388	471	5
Vehículos livianos	408	16.4843	16.543	19.590	927	924
Fuentes móviles fuera de ruta	42	1.529	865	272	5	0
Total Móviles	2.468	175.725	47.045	24.728	2.196	934
Fijas Combustión	304	990	2.515	87	2.536	97
Fijas Procesos	739	5.514	2.748	4.041	4.065	104
Residenciales	328	888	1.392	30.309	239	2.002
Total Fuentes Fijas	1.371	7.392	6.655	34.437	6.840	2.203
Total Fuentes Areales (*)	534	4.322	310	20.926	16	26.213
Total	4.373	18.7439	54.010	80.091	9.052	29.350

Mejorado en 2001 con información generada durante 2000 y 2001.

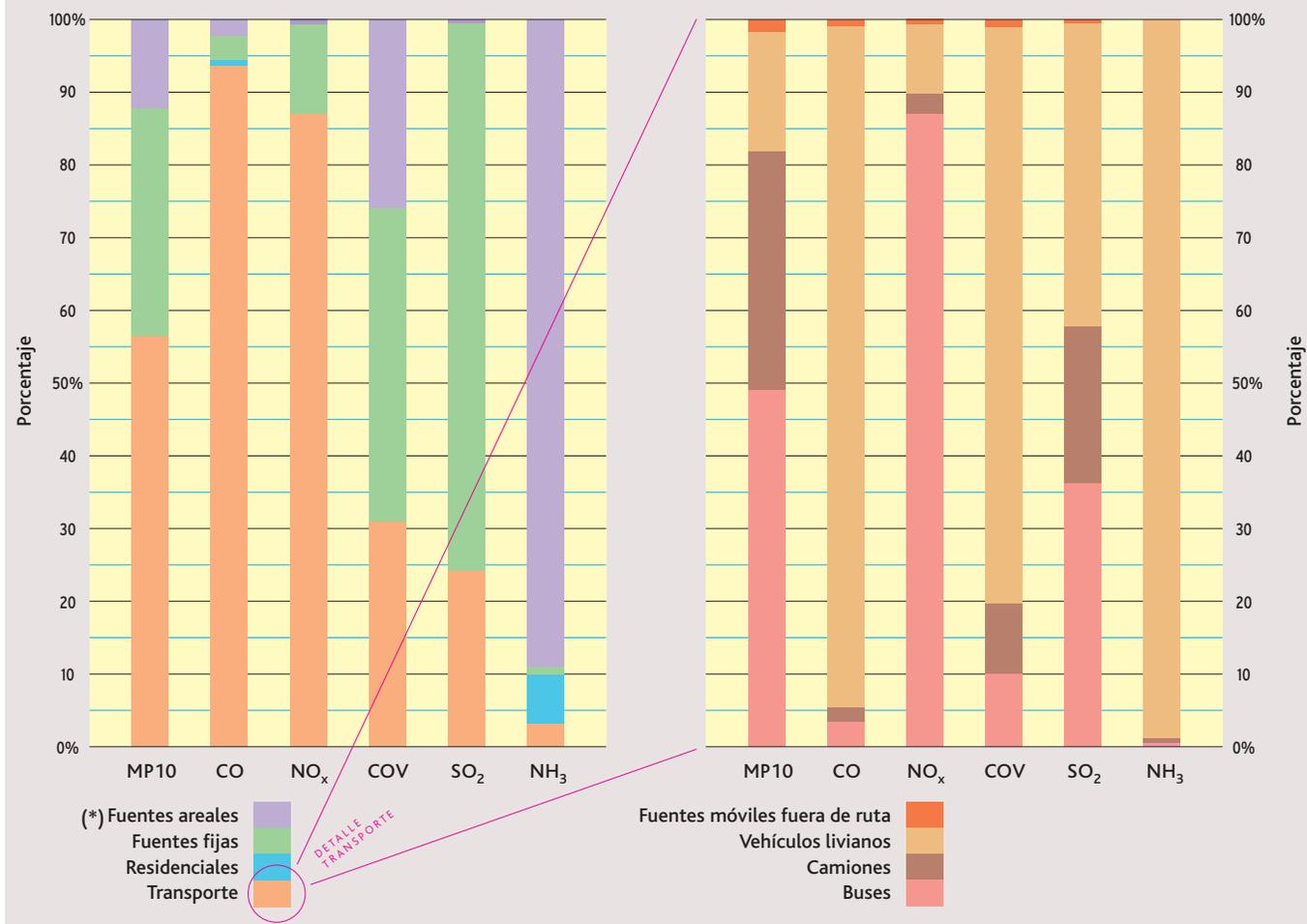
(*): Las principales fuentes areales incluidas en esta categoría, son lavasecos, talleres de pintura, quemas agrícolas, crianza de animales y emisiones biogénicas.

Fuente: CONAMA RM-CENMA (2000).

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, NO_x, SO₂

Figura 29: Emisiones por categoría de fuentes año 2000



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

Fuente: CONAMA RM-CENMA (2000).

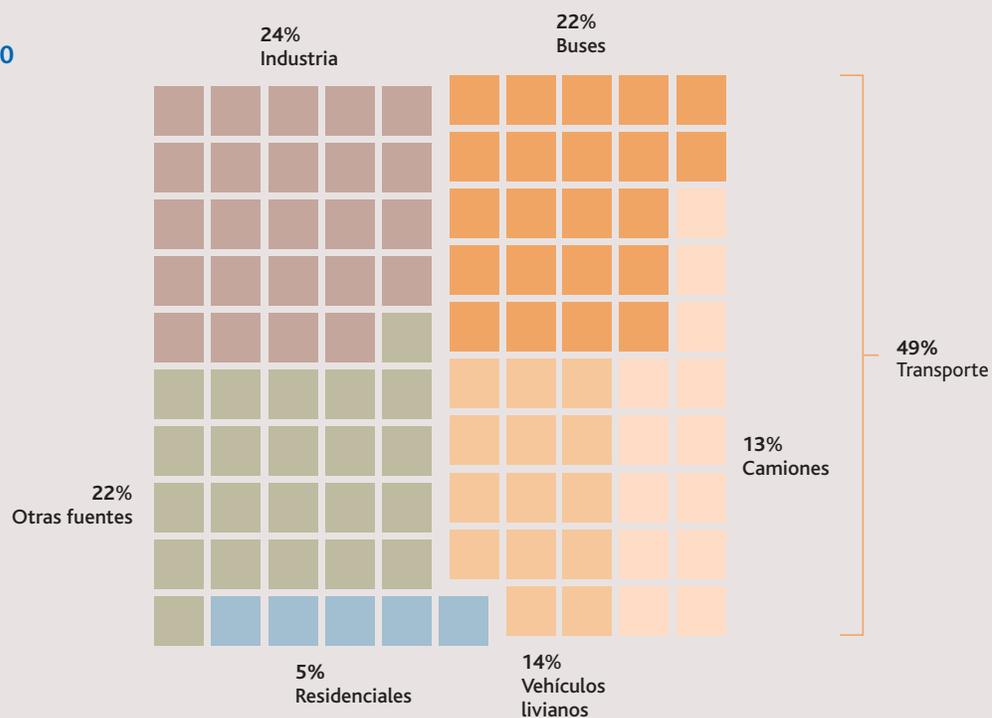
y NH₃, bajo el supuesto de que estos compuestos se encuentran en el aire en proporciones iguales a las emitidas, y considerando solamente el material particulado de origen antropogénico, se llegó a determinar la responsabilidad en las concentraciones de MP10.

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 indica la figura 30.

Figura 30:
Responsabilidad en
concentraciones de MP10

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

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



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 figura anterior, pues ello representa de mejor forma la exposición a la que se ve sometida la población.

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 amoníaco. 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 énfasis en el control de las emisiones del sector transporte, dejando claro que sólo se pueden 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 deberá haber completado el retiro de alrededor de 2.700 buses de tecnología antigua, y por ende, más contaminante. Esta medida redundará en una baja significativa de las emisiones de MP10 y NO_x de este sector.

Transantiago, 2005

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 que ascienden, al menos, al 75% de MP10 y al 40% de NO_x, todo esto medido con respecto a las emisiones que el sector registraba al año 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, más exigentes que la actualmente vigente Euro III.

Renovación de camiones, Norma Euro III y EPA 98

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 para 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 reformulación 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 a septiembre de 2005 el 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 de 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 expenda en la Región Metropolitana bajará el contenido de azufre de 300 ppm a sólo 50 ppm. Por efecto directo de esta medida, se reducirán las emisiones de SO_x en forma proporcional a la rebaja, y en forma indirecta, se posibilitará 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 rebajará 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 olefinas, 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, 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 NO_x 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 NO_x para calderas y procesos industriales correspondiente a un 33% y posteriormente a un 50% de las emisiones base 1997. El plazo de cumplimiento es el 1 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 Bonos de Descontaminación 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 es el 1° de mayo del año 2007.

Con esto, se profundiza el actual sistema de compensaciones de emisiones, y al igual que en el caso anterior, se sientan las bases para desarrollar en el futuro un Sistema de Bonos de Descontaminación como un instrumento más del PPDA.

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 a partir de un año 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 en 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 áreas 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 problema más crítico en términos de contaminación.

Control del levantamiento de polvo y generación de áreas 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 ambiental complementarios

Así como las medidas anteriores apuntan a poner fin a las preemergencias el año 2005, los instrumentos de gestión ambiental complementarios se han identificado como elementos clave para recuperar y mantener la calidad del aire de la Región Metropolitana. De ellos, la pronta aprobación de la Ley de Bonos de Descontaminación resulta determinante para regular el sistema de compensación de emisiones, que actualmente funciona en el marco del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

1– Sistemas de compensación de emisiones y otros instrumentos económicos

Generar un sistema de compensación de emisiones para MP y NO_x 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.

Tramitar en el Parlamento la Ley de Bonos de Descontaminación. La primera aplicación práctica será su uso orientado a la descontaminación atmosférica de la Región Metropolitana.

2– Instrumentos de planificación territorial y de transporte

El Ministerio de Transportes deberá someter a una Evaluación Ambiental Estratégica el Plan de Transporte Urbano de Santiago (PTUS).

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

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.

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.

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 RM 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, PM2,5

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 ultrafino

Es la fracción del material particulado respirable menor que 1 micrómetro.

Material particulado secundario

Aquel material particulado que se forma a partir de distintas reacciones químicas entre precursores como NO_x, SO₂ y NH₃.

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.

Precusores

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 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.

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.

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.

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.

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.

Referencias**Sitios web**

CONAMA: www.conama.cl
 CONAMA Región Metropolitana de Santiago: www.conamarm.cl
 Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente (SESMA): www.sesma.cl
 Iniciativa del Aire Limpio en Ciudades de Latinoamérica: www.cleanairnet.org/lac

Publicaciones

CONAMA RM. *Santiago Limpia el Aire de Santiago*. Santiago de Chile, 1997.
 CONAMA RM. *Auditoría del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana*. Santiago de Chile, 1999.
 CONAMA RM. *Diagnóstico de la Calidad del Aire y sus Impactos en Salud. Antecedentes para la Actualización del PPDA*. Santiago de Chile, 2000.
 CONAMA RM. *Campaña de Monitoreo de Compuestos Orgánicos Volátiles y Compuestos Biogénicos en Muestras Atmosféricas de la Ciudad de Santiago*, Universidad Técnica Federico Santa María, 2002.
 CONAMA RM. *Niveles y Composición Química del Rocío en la Región Metropolitana*, USACH, 2002.
 CONAMA RM. *Caracterización de Aerosoles Secundarios Inorgánicos en la Estación Pudahuel de la Red MACAM 2 y Tareas Asociadas de Aseguramiento de Calidad*, Universidad de Concepción, 2002.
 CONAMA RM. *Caracterización Química de Aerosoles Orgánicos en la Región Metropolitana*, Universidad Técnica Federico Santa María, 2003.
 CONAMA RM. *Caracterización Físicoquímica del Material Particulado Inorgánico Fino en la Región Metropolitana*, Universidad de Concepción, 2003.
 CONAMA RM. *Medición de Material Particulado Ultra Fino Asociado al Impacto en Salud en la Región Metropolitana*, USACH, 2003.
 CONAMA RM. *Composición Química del Rocío y su Relación con el Smog Fotoquímico en la Región Metropolitana*, USACH, 2003.
 CONAMA RM. *Estudio de la Nube de Contaminación Atmosférica en la Zona Poniente de la Región Metropolitana*, USACH, 2003.
 CONAMA RM. *Análisis General del Impacto Económico y Social del PPDA de la Región Metropolitana*. Santiago de Chile, 1997.
 Calfucura y Claro. (2000). *Análisis costo-beneficio de los programas de descontaminación del aire: El caso de la Región Metropolitana*.
 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*.
 CENMA. *Informe Final, Análisis al Sistema de gestión de Episodios en la Región Metropolitana año, 2002*.
 CONAMA RM. *Apoyo al Sistema de Gestión de Episodios en la Región Metropolitana*, USACH, 2002.
 CONAMA RM. *Documento Planificación para Enfrentar Episodios Críticos*, 2003.
 CONAMA RM. *Modelo de Dispersión de Contaminantes para la Región Metropolitana*, DICTUC, 2003.

Documento preparado por

Área Descontaminación Atmosférica
Conama Región Metropolitana
de Santiago.

Marcelo Fernández G., Jefe de Área
Roberto Martínez G.
Claudia Blanco V.
Joyce Vera B.
Rodrigo Lucero Ch.
Claudio Bonacic F.
Nancy Manríquez D.
Cecilia Barrios L.

Marcelo Corral F., Meteorólogo, Asesor
Adriana Koch, Médico, Asesor
Pedro Oyola T., Asesor Internacional

Diciembre de 2003

Agradecimientos

Harvard University, Harvard School
of Public Health, Department of
Environmental Health, Boston-U.S.A.

University of California, Riverside-
U.S.A.

Meorological Synthesizing Centre
West, Moscú-Rusia.

South Coast Air Quality Management
District, California – U.S.A.

Universidade de São Paulo, Instituto
de Física, Departamento de Física
Aplicada, São Paulo-Brasil.

Universidad de Concepción, Facultad
de Farmacia, Departamento de
Análisis Instrumental.

Universidad de Santiago de Chile,
Facultad de Química y Biología,
Departamento Ciencias del Ambiente.

Universidad de Santiago de Chile,
Facultad de Ciencias, Departamento
de Física.

Universidad Técnica Federico Santa
María, Departamento de Química,
Laboratorio de Química Ambiental,
Valparaíso.

Universidad de Chile, Facultad
de Ciencias y Matemáticas,
Departamento de Geofísica.

Pontificia Universidad Católica
de Chile, DICTUC.

Cooperación Técnico Alemana, GTZ.

Proyecto de Cooperación
Chile-Suecia.

Edición general

Newtonberg
Tecnología para la
comunicación Humana
www.newtenberg.com

**Dirección creativa, diseño
y producción**

TesisDG
www.tesisdg.cl

Impresión

Andros Impresores
Santiago, Chile