

## **CONTAMINACION DEL AIRE EN SANTIAGO: ESTADO ACTUAL Y SOLUCIONES\***

**Raúl O’Ryan  
Luis Larraguibel**

### **RESUMEN**

En el presente trabajo se discute el problema de la contaminación atmosférica en Santiago y de los esfuerzos en marcha para su solución, representados formalmente por el Plan de Prevención y Descontaminación de la Región Metropolitana (PPDA). A modo de introducción se definen términos y conceptos utilizados en el PPDA, los cuales son de uso frecuente en el área de contaminación urbana. Posteriormente, se analizan el estado actual, la evolución y tendencias de los indicadores representativos de la calidad del aire de Santiago, así como el estado del conocimiento actual de los efectos observados de los contaminantes atmosféricos primarios y secundarios involucrados. Siguiendo el esquema tradicional centrado en la emisión y agentes emisores de contaminantes primarios se analiza el inventario de emisiones y las correspondientes metas de emisión planteadas en el PPDA con el objetivo de lograr una calidad de aire aceptable en un plazo de 14 años. Se discuten luego en un mayor nivel de detalle las bases conceptuales, responsabilidades y efectividad de las medidas específicas contenidas en el plan. Adicionalmente, se analiza el proyecto de reformulación del plan, contemplado como compromiso formal en el PPDA, mediante el cual CONAMA incorpora experiencias y antecedentes recogidos durante su operación.

El presente estudio entrega conclusiones y recomendaciones asociadas a los puntos más débiles del plan: su focalización insuficiente en el contexto de la capacidad institucional existente y la escasa prioridad otorgada a las causas estructurales de la contaminación por fuentes móviles.

Clasificación JEL: Q25

Palabras Claves: Contaminación del Aire, Plan de descontaminación, contaminación urbana.

---

\* Este documento será publicado próximamente en la Revista *Perspectivas en Política, Economía y Gestión*, Vol. 4, Nº 1.

## CONTAMINACION DEL AIRE EN SANTIAGO: ESTADO ACTUAL Y SOLUCIONES

Raúl O’Ryan  
Luis Larra guibel

*“la reina seguía gritando ‘Más rápido! Más rápido! `...Lo más curioso era que los árboles y demás cosas en rededor de ellos no cambiaban de lugar. Sin importar lo rápido que fueran, parecía que nunca adelantaban a algo...”.*

Lewis Carrol

### 1. Introducción: La Contaminación del Aire en Perspectiva

El aire de Santiago es uno de los más contaminados del mundo. Desde comienzos de la década de los sesenta, los habitantes de la ciudad se han visto expuestos en forma creciente a la acción de diversos agentes nocivos, la que es percibida como impactos mayormente en sus vías respiratorias y también en los ojos. Adicionalmente se percibe por sus efectos sobre los materiales –deterioro de estatuas, polvo en los automóviles y hogares- y la visibilidad. La presencia de estos agentes se denomina contaminación atmosférica, concepto que actualmente se considera inevitablemente ligado al hábitat urbano. En efecto, el mayor o menor grado de contaminación de una ciudad forma parte integral de su descripción con similar relevancia a la de su clima o la existencia de museos, monumentos, espectáculos, figurando incluso en los brochure de turismo de la ciudad.

La contaminación se cuantifica a partir de la concentración atmosférica de los diversos contaminantes<sup>1</sup>. Si bien los contaminantes urbanos son múltiples, los más comunes, para los que se han establecido límites aceptables de concentración sobre la base de los efectos observados sobre la salud, se denominan “contaminantes criterio”. Incluyen el material particulado total en suspensión (PTS) el que viene en variedades de tamaño, ozono (O<sub>3</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y plomo (Pb). El cuadro 1 entrega un resumen de la calidad del aire en 21 ciudades grandes del mundo, en que ésta se compara con las concentraciones máximas recomendadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Claramente Santiago sufre de un problema serio por múltiples contaminantes. Cabe señalar sin embargo que en otras ciudades –como Ciudad de México- los niveles de contaminación a los que se llega son bastante superiores

---

<sup>1</sup> En ppm (partes por millón) o µg/m<sup>3</sup> (micro-gramos o millonésimas de gramo por metro cúbico)

a los de Santiago para algunos contaminantes. Además, como se discute más adelante, hay indicios de que la contaminación en Santiago está comenzando a mejorar. Por otra parte, estos antecedentes permiten observar que este problema se mantiene aún en ciudades de países desarrollados, que llevan muchos años buscando una solución, como Los Angeles. Esto se debe a que su reducción implica costos significativos, que deben tomarse con visión de largo plazo, y medidas que afectan sistemas complejos, en particular el de transporte.

Adicional a la contaminación que se mide en las estaciones de monitoreo, al exterior de los hogares, los habitantes urbanos están sometidos a una significativa contaminación generada dentro de sus hogares: la contaminación intramuros o intradomiciliaria. Esta se origina en diversos procesos de combustión, especialmente la calefacción, además de cocina y calentamiento de agua, y humo de tabaco. Este tema se reconoce como importante<sup>2</sup> para Santiago, pero existe poca información científica al respecto. El frío del invierno que lleva a un uso creciente de la calefacción aumenta esta contaminación interna, la que se combina con la contaminación extra-muros para generar los conocidos aumentos en casos con problemas respiratorios cada invierno. Los estudios disponibles [Pino et al. 1998a y b; Oyarzún et al. 1997; Gil et al, 1995; Frenz et al., 1993] indican que la contaminación intradomiciliaria es importante, pero no tienen una sustentación estadística amplia. Por ello, la CONAMA RM se encuentra realizando en la actualidad un estudio, en conjunto con investigadores de la Universidad de Harvard, para caracterizar estas emisiones y cuantificar la exposición a estos contaminantes de niños dentro de los hogares.

Finalmente, los Santiaguinos están expuestos a una variedad de contaminantes atmosféricos tóxicos, llamados así porque aún en minúsculas concentraciones tienen efectos mutagénicos o cancerígenos, a menudo en forma acumulativa en el tiempo, lo que los hace observables sólo en el largo plazo. Adicionalmente, su acción puede presentar características de sinergia en que el daño por exposición a un tóxico se refuerza por la exposición conjunta a otro(s). En estas condiciones, elaborar recomendaciones y normas para estos contaminantes es un proceso difícil, que requiere investigación adicional, y cuya regulación está en pañales, incluso en gran parte del mundo.

A pesar de la importancia de la contaminación intradomiciliaria y el potencial de daño de las sustancias tóxicas, en Santiago el gran esfuerzo de descontaminación ha estado orientado, como se discute en este trabajo, al control de los contaminantes criterio.

Antes de avanzar cabe hacer algunas precisiones importantes que permiten entender el origen de la contaminación de la ciudad, y las dificultades asociadas a establecer sus verdaderas causas (y por tanto las soluciones).

---

<sup>2</sup> Tanto así que en la reformulación actual del Plan de Descontaminación se le da especial importancia.

Cuadro 1.- Calidad del Aire en 21 ciudades importantes

Ciudad	SO <sub>2</sub>	PTS	Plomo	CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>
Bangkok	*	***	**	*	*	*
Beijing	***	***	*	---	*	**
Bombay	*	***	*	*	*	---
Buenos Aires	---	**	*	---	---	---
Cairo	---	***	***	**	---	---
Calcutta	*	***	*	---	*	---
Delhi	*	***	*	*	*	---
Jakarta	*	***	**	**	*	**
Karachi	*	***	***	---	---	---
Londres	*	*	*	**	*	*
Los Angeles	*	**	*	**	**	***
Manila	*	***	**	---	---	---
Ciudad de México	***	***	**	***	**	***
Moscú	---	**	*	**	**	---
New York	*	*	*	**	*	**
Rio de Janeiro	**	**	*	*	---	---
Santiago	*	***	*	**	**	***
São Paulo	*	**	*	**	**	***
Seoul	***	***	*	*	*	*
Shanghai	**	***	---	---	---	---
Tokyo	*	*	---	*	*	***

Fuente: ARIC (1996)

Significado de la notación:

- \*\*\* Problema serio, estándares de OMS excedidos en más del doble
- \*\* Serio a moderado, exceso inferior a dos veces. Estándares de corto plazo excedidos regularmente
- \* Baja contaminación. Estándares de OMS se exceden ocasionalmente
- No hay información suficiente para evaluación

Por una parte, una proporción importante de los contaminantes a los que está expuesta la población, no se originan directamente de las emisiones de cada fuente. En efecto, existen los contaminantes denominados *primarios*, producidos directamente por actividad humana, tales como partículas y gases generados por combustión o polvo en suspensión proveniente del tránsito de vehículos que levanta el polvo de las calles. Otros, los *secundarios*, provienen de reacciones químicas o de condensación de vapores en la atmósfera, de productos llamados precursores, proceso que puede tomar horas o días. Por ejemplo, el contaminante criterio ozono troposférico<sup>3</sup> no se emite directamente por alguna fuente. Pertenece a una familia de productos altamente reactivos llamados oxidantes fotoquímicos que se forman a partir de compuestos orgánicos volátiles (COV) tales como benceno, aguarrás, tolueno, acetona, etc. y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) en una reacción que requiere radiación solar. Por

<sup>3</sup> Dañino a nivel de suelo; imprescindible en la estratósfera para proteger de radiaciones.

ello, sus niveles más altos se observan en primavera y verano. Para controlar los niveles de ozono, es necesario regular las emisiones de sus precursores: COV, y NO<sub>x</sub>. Desafortunadamente, la relación entre emisión y concentración no es directa. De hecho, puede darse el caso que se *disminuye* las emisiones de un precursor, y la concentración de ozono *aumenta*!

Por otra parte, el material particulado (PTS), el contaminante más dañino en Santiago, no es estrictamente hablando “un” contaminante, si no que es una especie de caldo con contenidos que difieren en el daño que generan. Genéricamente corresponde a sólidos en suspensión, pero sus efectos dependen del tamaño de las partículas suspendidas, y del contenido de estas partículas (por ejemplo, el daño que generan es diferente cuando contienen arsénico y cuando no). Respecto del tamaño, cabe distinguir entre el PM<sub>10</sub>, partículas pequeñas que pasan por un “tamiz” cuadrado de lado 10 millonésimas de metro (µm), y el PM 2.5 que es mucho más fino, pasando por un filtro cuadrado de 2.5 µm.

El particulado de tamaño mayor que PM<sub>10</sub> se deposita rápidamente y forma la mayor parte del polvo que se retira diariamente de los muebles y el piso. Esta molestia se transforma en riesgo al disminuir el tamaño a menos de 10µm. Mientras menor sea el tamaño de partícula, aumentan las probabilidades de alcanzar los alvéolos pulmonares o aún directamente el sistema circulatorio. Adicionalmente, un grano de particulado fino tiene mucho mayor capacidad de transportar otros productos nocivos en su superficie, recolectados durante su trayecto atmosférico. Además, su alta relación área/volumen le confiere un largo tiempo de residencia en la atmósfera, y por estos motivos, recientemente varios países han iniciado el control estricto de PM<sub>2.5</sub>, pues se estima que su peligrosidad es órdenes de magnitud mayor que la del PM<sub>10</sub>.

Para complicar aún más el cuadro, el material particulado en el aire está compuesto por partículas primarias emitidas directamente por las fuentes, y por partículas secundarias, formadas a partir de gases en la atmósfera. Estos gases “precursores” son el SO<sub>2</sub> (principalmente generado por la industria), NO<sub>x</sub> (principalmente generado por buses y otros vehículos) y amoníaco (cuyas fuentes son, por ejemplo, desechos orgánicos y la agricultura). La importancia de este particulado secundario se ha reconocido solo recientemente para Santiago. Por lo tanto, para controlar el crítico problema del particulado en Santiago, es importante también controlar gases como el SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y amoníaco, además de las emisiones directas.

El cuadro 2 resume la información respecto de los principales contaminantes criterio, sus efectos en salud y las principales fuentes que lo originan.

En el capítulo 2 se presenta la situación de la calidad del aire de Santiago, para los principales contaminantes criterio. Además se discute como ha evolucionado en los últimos 10 años. El tercer capítulo presenta los antecedentes relativos a los daños que genera la contaminación en la ciudad. El capítulo cuatro identifica las principales fuentes para los principales contaminantes. El capítulo cinco presenta en detalle, los esfuerzos de descontaminación realizados en Santiago, en particular el actual Plan de Descontaminación, con sus metas y efectividad esperada, así como los esfuerzos de reformulación en marcha. Finalmente el capítulo seis presenta las principales conclusiones y recomendaciones.

Cuadro 2: Contaminantes Crítico: Fuentes y Efectos

Contaminante	Fuentes	Daños en salud y otros	Características
SO <sub>x</sub> , óxidos de azufre	combustión de azufre contenido en combustibles fósiles; refinamiento de petróleo, fundición de metal, fabricación de papel .	Agudiza problemas de enfermos bronquiales al ser inhalado con material particulado	gas incoloro, pesado, soluble en agua con olor fuerte e irritante
PTS, PM10, PM2.5 (primarios)	muchas fuentes: polvo de calles levantado por tráfico, procesos de combustión, motores diesel, procesos industriales, incendios forestales, quema de biomasa construcción.	Irritación membranas mucosas, Aumento dificultades respiratorias, propiedades carcinógenas	partículas sólidas o pequeñas gotas incluyendo humo, polvo y aerosoles
PM10, PM2.5 (secundario)	reacción química de precursores como SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> y NH <sub>3</sub> , condensación de productos de combustión.	Similares al anterior; más agudos debido a mayor poder de penetración y acidez.	partículas sólidas muy finas
NO <sub>x</sub> , óxidos de nitrógeno	Combinación de nitrógeno y oxígeno atmosférico a altas temperaturas de combustión (motores y fuentes industriales); subproducto de la fabricación de fertilizantes, degradación de materia orgánica .	Irritación Pulmonar, Aumento susceptibilidad a virus	gas café rojizo, relativamente soluble en agua
COV, compuestos orgánicos volátiles	vehículos motorizados - evaporación de tanques de combustibles, carburadores; lavasecos, fugas de gas, procesos industriales, domésticos y de construcción que involucran solventes.	Irritación ocular y nasal, intoxicación, daño hepático y propiedades carcinógenas	muchos y variados compuestos de hidrógeno y carbón
CO	combustión incompleta del carbono en combustibles (carbón, leña, petróleo, gas, gasolina) en fuentes industriales, residenciales y móviles.	Bloquea la hemoglobina, especialmente dañino para personas anémicas o con problemas pulmonares o cardiovasculares	gas tóxico incoloro e inodoro, ligeramente soluble en agua
O <sub>3</sub>	producido por complejas reacciones fotoquímicas en la atmósfera, involucrando hidrocarburos, dióxido nitroso y luz solar	Irritación ocular y nasal y agravamiento de problemas respiratorios	gas azul pálido, apenas soluble en agua, inestable, de olor dulzón
Pb	combustión de gasolina con plomo, soldadura, pintura con plomo, operaciones de fundición de plomo	Tóxico para niños y personas mayores, afecta sistemas circulatorio, reproductivo y nervioso	metal existente en una variedad de compuestos

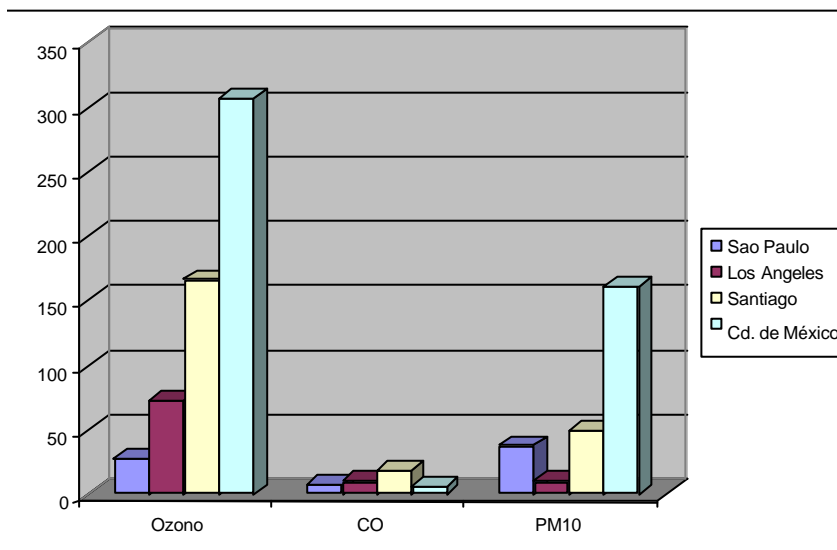
## 2. El Estado de la Calidad del Aire en Santiago: lo Malo y...lo Bueno

Ya se ha dicho que la calidad del aire en Santiago es mala, y a continuación se presentan los antecedentes al respecto. Sin embargo, para tener una visión completa del estado del aire, en la segunda sección se presenta la evolución de la misma en la última década, lo que permite concluir que algo se ha avanzado en la compleja tarea de descontaminar el aire de esta ciudad.

### 2.1. Estado Actual de la calidad del Aire

La contaminación atmosférica de Santiago supera en forma rutinaria las normas primarias de calidad del aire establecida para los diferentes contaminantes<sup>4</sup>. La figura 1 muestra la frecuencia con que se superó en los años pasados la norma en Santiago, y para referencia, en otras ciudades contaminadas del mundo<sup>5</sup>. En Santiago, las normas de ozono y particulado se superan constantemente, mientras que la de CO, solo en forma esporádica. Debido a lo anterior y los efectos en salud que esta contaminación implica, en la actualidad el material particulado, seguido del ozono, son los objetivos centrales de las políticas de descontaminación seguidas, que se detallan en la sección 5.

Figura 1: Días de Superación de Norma



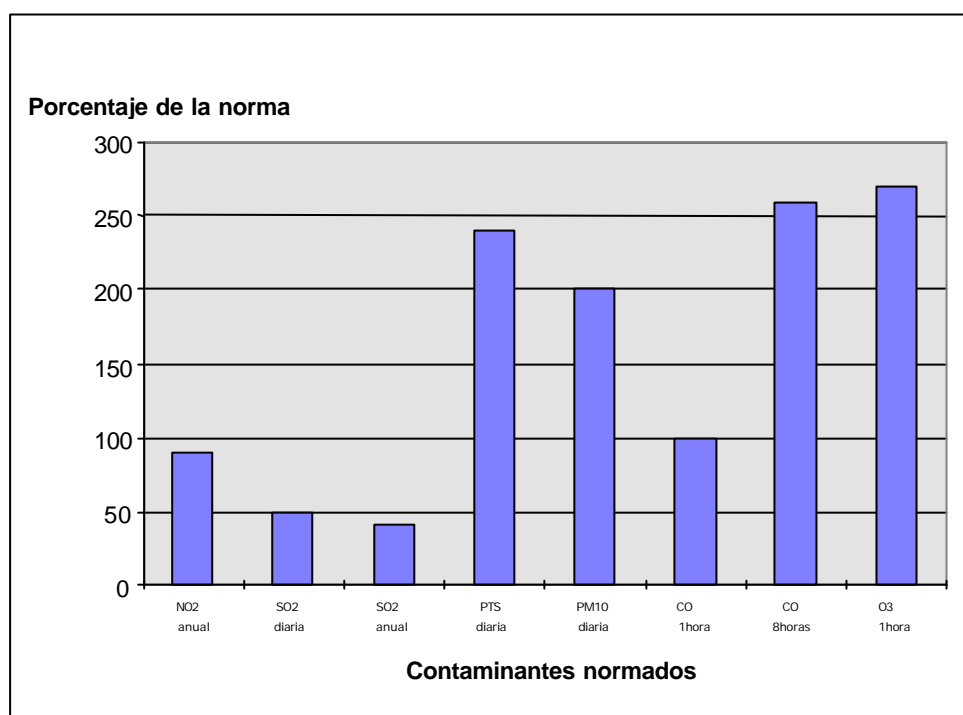
Fuente: Informe de Auditoría, 2000.

<sup>4</sup> Las normas existentes son para partículas totales suspendidas, SO<sub>2</sub>, ozono, NO<sub>2</sub> y CO. Cabe señalar que por lo general estas normas son iguales o muy parecidas a las sugeridas por la OMS, y aplicadas en diversos países del mundo.

<sup>5</sup> Información más detallada se encuentra en el capítulo 2 del informe de Auditoría.

La figura 2 presenta los valores máximos medidos en Santiago durante el año 1995, como porcentaje de la norma que representan. Con ello se determina el factor en que cada contaminante supera la norma. Se observa por ejemplo, que el PM-10, el CO (8 horas) y el ozono excede su norma por un factor 2, 2,6 y 2,7 respectivamente. Por otra parte, el promedio anual de NO<sub>2</sub> está levemente por debajo de su norma. En consecuencia, la ciudad de Santiago ha sido declarada zona saturada<sup>6</sup> por material particulado (PTS), PM-10, ozono y monóxido de carbono (CO), y latente por NO<sub>x</sub>.

Figura 2: Porcentaje de Norma, Valores Máximos para cada Caso.



Fuente: CONAMA RM. (1996-b)

Esta contaminación se distribuye tanto espacialmente como en el tiempo, lo que ha llevado a algunos a considerarla “democrática” en sus efectos. Los mayores problemas se observan en el centro de la ciudad. En efecto, el SO<sub>x</sub> se concentra en algunas zonas industriales y el centro, y el NO<sub>x</sub> y el CO en el centro de la ciudad y cerca de arterias principales. Las mayores concentraciones de partículas en suspensión, provenientes de polvo de calles y procesos de combustión se concentran también en la zona céntrica, y además en el poniente de la ciudad [CONAMA RM. (1996-b)].

El ozono en cambio se concentra en la zona oriente y nororiente de la ciudad donde se encuentra la población de mayores recursos (Las Condes, Lo Barnechea) [Romero, 1995]. Durante el día, los niveles de ozono en Las Condes son casi el doble de los del centro de la ciudad, debido tanto a la alta concentración de automóviles que emiten COV's y NO<sub>x</sub>, y el régimen de vientos que favorece la acumulación de estos gases en esta zona. Sin perjuicio de

<sup>6</sup> Decreto 131 del 12 de Junio de 1996.



ello, también se observan violaciones de la norma de ozono en el Centro. Los altos niveles de tráfico contribuyen además a altos valores de CO observados en Las Condes [Ibid.].

Finalmente cabe señalar la distribución temporal de los contaminantes determinadas por el clima y la topografía de la ciudad. Los Santiaguinos estamos expuestos a contaminación a lo largo del todo el año. En efecto, el material particulado supera las normas en invierno, fundamentalmente debido al fenómeno de inversión térmica que dificulta la dispersión y difusión de los contaminantes. Esta actúa como una gran “tapa” sobre la ciudad, que en las mañanas frías de invierno impide a los contaminantes subir más allá de unos cientos de metros. Adicionalmente, la dispersión se ve obstaculizada por las cadenas de montañas que rodean la ciudad y la baja velocidad de los vientos en las mañanas y tardes de invierno, coincidiendo con los peak de tráfico [Ibid., p 10-11]. El ozono en cambio, es un problema en los meses de mayor calor, superándose la norma, por ejemplo, casi todos los días en Diciembre en Las Condes.

## **2.2. Evolución de la contaminación en la década pasada: una luz de esperanza**

Santiago creció durante la década del 90, a un ritmo desenfrenado. En efecto, entre 1990 y 1997, su actividad económica aumentó en 8.5% promedio anual [Banco Central, 1999a] y el parque vehicular creció a una tasa anual del 10%, duplicándose en el periodo. Como consecuencia, la actividad industrial de la ciudad y circulación vehicular se han incrementado notablemente, lo que, a priori, permitía presagiar un desastre ambiental para la ciudad. Sin embargo, lejos de empeorar la situación ambiental de la ciudad, ésta mejoró en la década recién pasada.

En efecto, recientemente la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) de Chile encargó una Auditoría independiente internacional del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana (PPDA) iniciado en 1996, cuyo contenido completo está disponible en la página Web de CONAMA (<http://www.conama.cl/>). El informe de Auditoría es muy completo y presenta una visión objetiva y documentada de los cambios observados en la calidad del aire y niveles actuales de contaminación ambiental en Santiago<sup>7</sup>. En resumen, se observa que:

- Producto de las políticas de control implementadas, la evolución de la calidad del aire en la ciudad de Santiago muestra una importante mejoría en la última década para la totalidad de los contaminantes normados en Chile, con la sola excepción de ozono. De ellos, el monóxido de carbono muestra la principal disminución, con una reducción desde 60 días sobre norma en 1995 a 22 días durante 1998.

---

<sup>7</sup> La auditoría es más amplia aún cubriendo los aspectos relacionados con qué se ha hecho, qué se podría haber hecho y qué falta por hacer para solucionar el urgente problema de la mala calidad del aire de Santiago. Específicamente, sus objetivos se orientan a verificar y evaluar los siguientes puntos:

- Los sistemas de información usados en el PPDA, incluyendo los orígenes, calidad y métodos de procesamiento de los datos.
- El avance de las medidas establecidas en el PPDA y su efecto en la reducción de la contaminación atmosférica.
- La idoneidad o capacidad del PPDA para lograr una descontaminación real.
- Los aspectos clave que sería útil definir para reformular el PPDA.

- Los niveles actuales de PM10 han mejorado (*ver Gráfico 1*) en alrededor de un 24% entre 1989 y 1999<sup>8</sup>. En aquellas estaciones en que es factible hacer comparaciones de largo plazo<sup>9</sup>, los días sobre norma han disminuido de 57 a 35 entre 1995 y 1999. Por su parte, los días sobre el nivel 300 (ICAP) que define situaciones de preemergencia ambiental, han disminuido de 9 a 0 en las mismas estaciones e igual periodo.
- La concentración de PM2.5 entre 1989 y 1999 (*ver Gráfico 2*) ha disminuido en un 47%.
- Hoy día, el PM2.5 constituye un 47% del PM10 en promedio. En el período 1989 a 1999 era un 58% en promedio.
- Santiago no infringe la norma diaria de CO, pero si supera en forma significativa la de 8 horas. Los niveles de CO muestran una mejoría significativa en los últimos 3 años., pero se requieren otros 2 años de información para tener certeza al respecto.
- Santiago muestra un alto número de excedencias a la norma chilena de ozono. Los niveles parecen mantenerse constantes en el período 1995-1999. Se requerirán otros 2 años para confirmar esta tendencia.
- Los niveles de óxido de nitrógeno y de azufre cumplen con la norma de calidad del aire vigente en Chile. Sin embargo, el PM10 y el PM2.5 medidos en la ciudad contienen una cantidad importante de partículas de nitratos y sulfatos. En ocasiones, Santiago está cerca de superar la norma de NO<sub>2</sub>, pero se requieren datos de mejor calidad para entender cabalmente el problema.

---

<sup>8</sup> Promedios móviles de 12 meses

<sup>9</sup> Las estaciones Providencia, La Paz, Parque O'Higgins y Las Condes cuentan con información previa a 1997, fecha de ampliación de la red de monitoreo.

Gráfico1.- Tendencia histórica de PM10, años 1989 a 1999. Región Metropolitana.

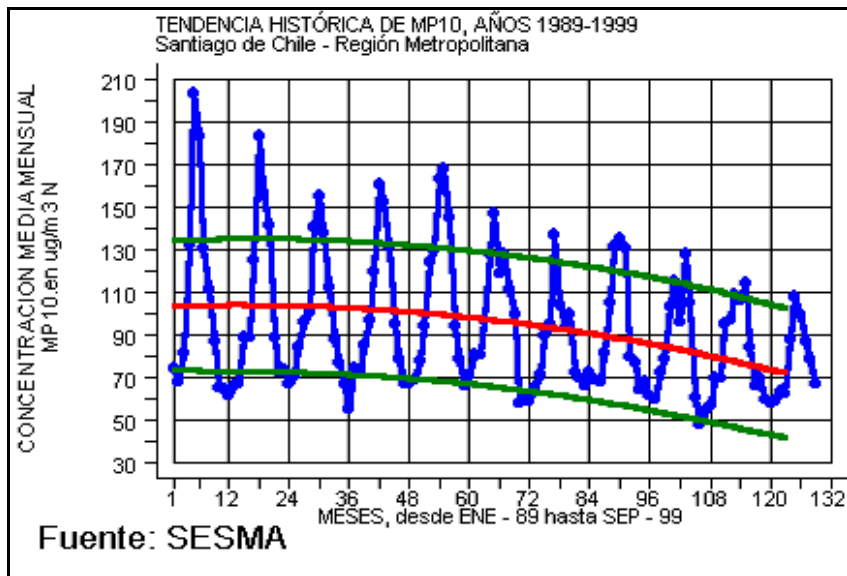
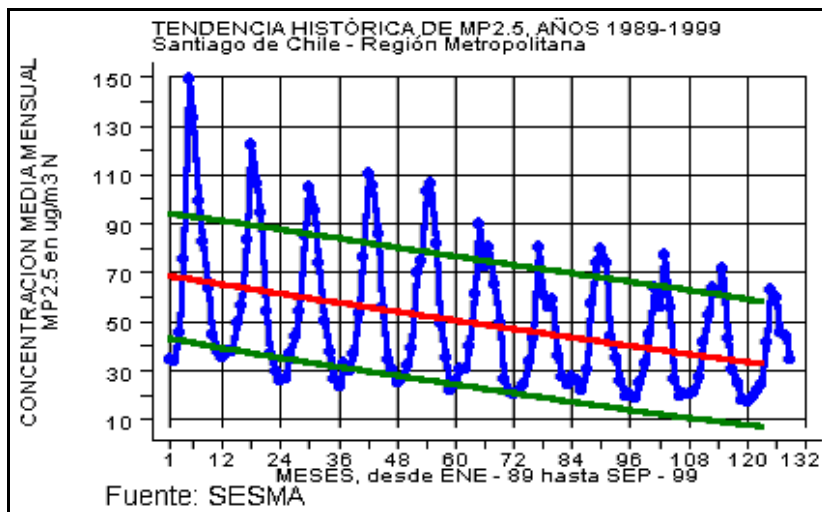


Gráfico 2.- Tendencia histórica de PM2.5, años 1989 a 1999. Región Metropolitana.



El hecho que los indicadores de PM10 y PM2.5 muestren una tendencia continuamente decreciente en el tiempo, y que los demás se hayan estabilizado, durante un período de crecimiento sostenido, aparece como un logro indiscutible de los esfuerzos de descontaminación que permite albergar esperanzas a los sufridos Santiaguinos. Sin embargo, como se discute en la sección 5, lo que falta aún por hacer es significativo, y además complejo de realizar.

### **3. Los Impactos en Salud y Otros Valores de la Contaminación del Aire**

Los efectos más dramáticos de la contaminación son los que produce sobre la salud. El material particulado, especialmente el PM<sub>10</sub> y de tamaño menor es el contaminante más perjudicial en este respecto, seguido por el ozono. Sin embargo, la contaminación genera otros efectos también, los que se presentan brevemente a continuación.

#### **3.1. Efectos sobre la salud por exposición al aire contaminado de Santiago<sup>10</sup>**

Se han realizado una serie de estudios sobre los efectos que la contaminación atmosférica tiene sobre la salud en Santiago [CONAMA, 1998]. Los efectos pueden dividirse en aquellos de corto y de largo plazo.

##### **Efectos de corto plazo**

Los efectos de corto plazo en salud de la contaminación incluyen tanto un aumento de la mortalidad, como de enfermedades o morbilidad. En Santiago se han realizado estudios sobre el efecto de la contaminación del aire en la mortalidad diaria a corto plazo [Salinas, Vega, 1995; Ostro, Sánchez, Aranda, Eskeland, 1996; Sanhueza, Vargas, Jiménez, 1999; Cifuentes, Vega, Lave, 2000]. En todos estos estudios se ha encontrado una mortalidad creciente con la exposición a material particulado. Tanto el PM<sub>10</sub> como el PM<sub>2.5</sub> tienen efectos significativos sobre la salud, pero el PM<sub>2.5</sub> tendría un efecto más claro. Este efecto sería tanto por mortalidad respiratoria y cardiovascular. Cabe destacar que, mediante el control de la temperatura y, en algunos casos, la estación del año, aquellos estudios indican que el efecto observado es, probablemente, un resultado de la contaminación y no un efecto oculto de la contaminación intradomiciliaria.

Además del efecto del particulado fino, los estudios indican un efecto del CO. También se estudiaron otros compuestos, y en un estudio [Cifuentes, Vega, Lave, 2000] se determinó que la exposición al SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> y NO<sub>2</sub> no tenía efectos estadísticamente significativos, mientras que en otro estudio [Sanhueza, Vargas y Jiménez, 1999] se determinó que la exposición al O<sub>3</sub> y SO<sub>2</sub> estaba estrechamente relacionada con la mortalidad, pero la significancia de los resultados era baja. No se han realizado estudios sobre los efectos en la mortalidad a largo plazo.

Respecto de la morbilidad, un estudio sobre los efectos de la contaminación atmosférica en la salud respiratoria de los niños [Ostro, Eskeland, Sánchez, Feysioglu, 1999], determinó que la exposición al PM<sub>10</sub> ambiente está estrechamente correlacionada con las consultas por síntomas de infecciones respiratorias bajas en niños de 3 a 15 años, como también de niños menores de 2 años. La exposición al PM<sub>10</sub> ambiente también está significativamente correlacionada con las consultas médicas por síntomas de infecciones respiratorias altas de niños mayores. La exposición al O<sub>3</sub> estaba estrechamente relacionada con las consultas médicas por síntomas de infecciones respiratorias altas y bajas en niños de 3 a 15 años. En un temprano estudio ecológico realizado en 1988, en el que se comparaba la población de Santiago con la población de un área menos contaminada, Los Andes, se determinó

---

<sup>10</sup> Este resumen se tomó del estudio Auditoría (2000).

(después de controlar aquellos factores que causan confusión, como el fumar, la contaminación intradomiciliaria y la presencia de una hiperactividad de las vías respiratorias) que se presentaban más síntomas de tos (41 versus 16), bronquitis obstructivas (13 versus 1) y amneas nocturnas (9 versus 0.4) en Santiago que en Los Andes. Finalmente, dicho estudio determinó que en Santiago [Belmar, Aranda, Orrego, Vergara, Salinas, Martínez, 1989] se presentaba una cantidad significativamente mayor de afecciones a las vías respiratorias altas, asma y neumonía.

En los últimos años, se han presentado los resultados del estudio piloto con indicadores biomédicos, los cuales indican que existe una gran diferencia entre Santiago y Los Andes en cuanto a las consultas clínicas por bronquitis obstructiva y neumonía. Por otra parte, un estudio de la función pulmonar e hipersensibilidad bronquial en niños [Ruiz, Videla, Vargas, Parra, Trier, Silva, 1988] falló en encontrar un efecto de la contaminación.

Es necesario, sin embargo, poner estos resultados en contexto. Los efectos en salud de la contaminación existen, pero son solo parte de un problema más generalizado. En niños de 4 meses a 1 años de edad, el  $PM_{2.5}$  parecía estar asociado con la presencia de bronquitis obstructiva, mientras que la neumonitis y la bronconeumonía fueron asociadas con la contaminación intradomiciliaria por la calefacción a gas. En opinión de los expertos externos que hicieron la auditoría antes mencionada, el “efecto de la contaminación es pequeño en comparación con otras causas de los problemas respiratorios infantiles en aquellos lugares donde ha sido medida. El ambiente en espacios cerrados que, en el caso de los pobres, puede estar muy influenciado por la quema de combustibles en lugares sin ventilación, especialmente en el invierno, tiene un marcado impacto negativo en las afecciones respiratorias infantiles [Belmar, 1991; Oyarzún, Pino, Ortiz, Olaeta, 1998]. En otro estudio sobre las infecciones respiratorias agudas bajas se determinó que éstas estaban asociadas con factores de riesgo como madres fumadoras, guarderías infantiles, un historial familiar de alergia atópica, condiciones de vivienda bajo los estándares, existencia de uno o más hermanos, nacimiento en una época de frío, falta de lactancia materna y bajo nivel socioeconómico [Pino, Oyarzún, Walter, von Baer, Romieu, 1998].

En resumen, es claro que el material particulado ha tenido un efecto en la salud respiratoria y en la mortalidad infantil. El efecto del ozono en cambio es más débil. Para cuantificar estos impactos, es necesario realizar un seguimiento más sistemático de los efectos en salud, ya que la información disponible es escasa. Adicionalmente es necesario estudiar con mayor detenimiento el rol que le cabría a la contaminación intradomiciliaria en estos efectos. Ello permitirá asignar los recursos a aquellas medidas más efectivas.

### **Efectos de largo plazo**

El análisis anterior describe los efectos a corto plazo o efectos agudos de la contaminación atmosférica sobre la salud. No se sabe mucho respecto de los efectos a largo plazo de la exposición a relativamente bajas concentraciones de contaminantes. Los estudios sobre los efectos crónicos son costosos y requieren de mucho tiempo. La exposición prenatal, neonatal o durante el desarrollo infantil a metales pesados, benzopirenos, hidrocarburos aromáticos policíclicos y otros compuestos orgánicos pueden tener efectos mutagénicos y/o cancerígenos, causar alteraciones biológicas por impresión (*imprinting*) y tener otros

efectos sobre las funciones del cuerpo y los órganos muchos años después de la exposición [López Bravo, Sepúlveda, Valdés 1997].

Algo se ha investigado al respecto en Chile. En una serie de estudios, las propiedades mutagénicas y/o cancerígenas de la contaminación ambiental han sido investigadas [Tchernitchin, 1996; Adonis, Quiñones, Gil, Gibson, 1997; Quiñones, Gil, 1995; Adonis M, Gil L. 1993; Gil, Adonis, 1995; Gil, Adonis, Silva, Vásquez, Quiñones, 1991; Gil, Adonis, 1996; Gil, Irrázabal, Daud, Pena, 1993; Gil, Adonis, Silva, Quiñones, Salazar, 1991]. Existen muchos otros compuestos además de los tradicionales como el O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>. En efecto, el aire de Santiago es altamente mutagénico. Otras características de la carga de contaminación indican que podrían estar produciéndose modificaciones en el hígado que favorecen el aumento en los niveles de enzimas que se convierten de precancerígenas en cancerígenas. Otro estudio indica cambios en el sistema de defensa antioxidante hepático [Irrázabal, Gil, 1993]. Los estudios sobre las concentraciones de estos mutágenos y cancerígenos en ambientes cerrados concluyeron en que la fuente principal de la contaminación presente en ambientes cerrados era la filtración de la contaminación exterior [Fuentes, Lastra, Adonis, Gil, 1996; Gil, Adonis, Cáceres, Moreno, 1995]. Sin embargo, estos estudios se enfocaron a oficinas y restaurantes en calles de alto tráfico. Es muy dudoso que se hubiese llegado a dicha conclusión si se hubiese medido el contenido de mutágenos y/o cancerígenos presentes en los hogares a raíz de la quema de combustible en lugares sin ventilación.

Finalmente, cabe señalar que la gasolina sin plomo fue introducida en Santiago en 1993, y como resultado, las ventas de gasolina con plomo han bajado a un 49%. Las mediciones indican que los niveles de plomo presente en la sangre de los niños ha bajado considerablemente [Pino, Walter, Oyarzún, Lozzof, Romieu, 1998] en el periodo.

### **3.2. Otros Valores Societales Afectados por la Contaminación**

Junto con los beneficios en salud, una mala calidad del aire genera los siguientes impactos negativos:

#### **Impacto sobre materiales**

La contaminación atmosférica impacta negativamente sobre los materiales que se encuentran expuestos a ella, afectando sus propiedades químicas y/o físicas. Así, se estima que la reducción de los niveles de concentración de tanto el material particulado como de los gases óxido de azufre (SO<sub>x</sub>) y óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) traerán importantes ahorros en términos de mantención, especialmente en relación a los daños provenientes de cambios a las propiedades físicas y químicas de las estructuras y superficies de los bienes urbanos. Existen numerosos bienes urbanos que se verían beneficiados la Región Metropolitana: edificios, casas, automóviles, estatuas, bancos públicos, señales de tránsito, bienes al interior de edificios y casas, etc.

#### **Reducción de la productividad agrícola**

Tanto el ozono como los óxidos de azufre inciden negativamente en el crecimiento de la vegetación. De esta forma, las mejores condiciones atmosféricas producto del PPDA

aumentarían la productividad de la actividad agrícola de la Región Metropolitana y sus alrededores. Con ello, se logra un aumento de los ingresos para los productores agrícolas ubicados en dicha expansión geográfica.

### **Episodios críticos**

La mala calidad del aire genera numerosos episodios de alta contaminación, denominados episodios críticos, cada año. Ello obliga a aplicar reiteradamente una serie de medidas costosas para la sociedad, entre las que figuran, por ejemplo al declararse preemergencia: paralización del 30% de calderas de calefacción e industriales, procesos y panaderías; y aumento del total de vehículos prohibidos de circular, llegando a seis dígitos para vehículos no catalíticos.

### **Disminución en la visibilidad**

Uno de los efectos más evidentes de la contaminación atmosférica es la disminución de la visibilidad. La literatura especializada reporta que el PM10, el ozono (O<sub>3</sub>) y el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) contribuyen a reducirla [Derek, 1990]. De esta forma, la disminución de la contaminación del aire producto del PPDA resultará en una mejor visibilidad. Además de los beneficios estéticos asociados a un aumento del valor escénico de los entornos naturales y artificiales de la Región Metropolitana, una mejor visibilidad implica una disminución en el riesgo de contraer accidentes automovilísticos y un estímulo al turismo, entre otros beneficios.

## 4. Las Fuentes Emisoras y su Incidencia en la Calidad del Aire

¿Y quienes son los responsables de la contaminación en la ciudad? Para determinar las responsabilidades de las diversas fuentes contaminantes en las concentraciones medidas se han utilizado dos enfoques. Por una parte, se ha construido un inventario de emisiones que permite visualizar las emisiones totales anuales de cada contaminante por categoría de fuente emisora. La experiencia práctica de los encargados del problema indicaba sin embargo que estos antecedentes no eran suficientemente precisos, al considerar valores anuales. Por ello, se optó adicionalmente por estimar las fuentes responsables de las concentraciones de particulado, a partir del análisis físicoquímico del mismo. Este último es un mejor indicador de responsabilidades específicas de cada fuente. A continuación se detalla el resultado de utilizar cada enfoque, ya que cada uno entrega elementos de análisis importantes.

### 4.1. El Inventario de Emisiones

El inventario de emisiones de Santiago presenta una estimación de las emisiones de las siguientes categorías de fuentes: (i) Fuentes Fijas, que considera básicamente emisiones industriales y de calderas de calefacción; (ii) Fuentes Móviles, que considera emisiones de automóviles, buses, taxis, camiones y motocicletas; (iii) polvo resuspendido, resultante de la circulación vehicular y vientos; y (iv) otras fuentes, entre las que destacan emisiones evaporativas de COV, quemas agrícolas e incendios. El cuadro 3 presenta la contribución porcentual al total de cada contaminante de cada categoría de fuente.

Del cuadro se concluye que para el material particulado, la principal fuente de *emisiones* en el año es el polvo resuspendido, fundamentalmente por circulación vehicular. Este polvo surge de la circulación de vehículos que levanta una y otra vez el polvo de las calles, tanto pavimentadas como no pavimentadas. El transporte es el principal responsable directo de las emisiones anuales de CO y NO<sub>x</sub>. También, el transporte, en particular los automóviles, es responsable de una alta proporción de las emisiones de COV. Sin embargo los solventes domésticos y emisiones biogénicas<sup>11</sup> juegan un rol significativo. Finalmente, las emisiones de SO<sub>2</sub> se distribuyen equitativamente entre industria, comercio y construcción.

Como se ha señalado anteriormente, las concentraciones de particulado se deben a las emisiones directas de cada fuente, y al particulado secundario generado por reacciones de las emisiones gaseosas. Además depende de las condiciones meteorológicas prevalecientes. Estas resultan de las emisiones diarias, y por tanto el inventario –que considera valores anuales– no permite determinar la importancia relativa de cada fuente, más que en términos muy generales. Por ejemplo, si bien los vientos levantan bastante polvo en primavera, éste no impacta las concentraciones ya que en esa época estos mismos vientos y la ausencia del fenómeno de inversión térmica, se llevan este polvo. Algo similar ocurre con el ozono que, al no emitirse en forma directa, no aparece en el inventario. Por cierto están sus precursores, el NO<sub>x</sub> y los COV. Por ello, para entender mejor la importancia de cada fuente en las *concentraciones medidas*, se ha realizado un análisis del contenido químico del particulado, lo que permite determinar el origen de estas concentraciones.

---

<sup>11</sup> Emisiones provenientes de vegetación.



Cuadro 3- Borrador del inventario de 1998 de la Universidad de Chile convertido a porcentaje de emisiones en cada categoría de emisiones

<b>Fuente</b>	<b>PM10</b>	<b>CO</b>	<b>NOx</b>	<b>COV</b>	<b>SOx</b>
<b>Fijas</b>					
Procesos industriales	2.8%	0.8%	4.8%	0.1%	12.1%
Calderas industriales	3.9%	1.0%	8.6%	0.2%	75.0%
Calderas de calefacción	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Panaderías	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Otras fuentes*	0.2%	0.0%	0.2%	0.0%	0.5%
<b>Sub-total</b>	<b>7.0%</b>	<b>1.8%</b>	<b>13.6%</b>	<b>0.3%</b>	<b>87.6%</b>
<b>Otras fuentes</b>					
Combustión doméstica	2.7%	0.9%	2.1%	0.4%	1.1%
Emisiones evap. de COV	0.0%	0.0%	0.0%	1.4%	0.0%
Solventes domésticos	0.0%	0.0%	0.0%	34.8%	0.0%
Distribución de combustible	0.0%	0.0%	0.0%	9.5%	0.0%
Emisiones biogénicas	0.0%	0.0%	0.3%	10.4%	0.0%
Incendios forestales	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Fuentes misceláneas	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Quemas autorizadas e ilegales	3.6%	3.3%	0.2%	1.1%	0.0%
<b>Sub-total</b>	<b>6.3%</b>	<b>4.2%</b>	<b>2.7%</b>	<b>57.6%</b>	<b>1.2%</b>
<b>Fuentes móviles</b>					
Automóviles particulares	0.4%	56.3%	20.9%	20.3%	1.3%
Automóviles comerciales	0.7%	18.9%	8.6%	9.9%	1.4%
Taxis	0.1%	13.2%	6.8%	4.6%	0.5%
Camiones	1.9%	1.1%	12.5%	2.3%	2.3%
Autobuses	3.4%	2.4%	33.4%	3.4%	5.7%
Motocicletas	0.0%	1.5%	0.0%	1.5%	0.0%
Off-Road*	0.1%	0.5%	1.4%	0.0%	0.0%
<b>Sub-total</b>	<b>6.6%</b>	<b>94.0%</b>	<b>83.7%</b>	<b>42.0%</b>	<b>11.3%</b>
<b>Polvo resuspendido</b>					
Caminos pavimentados	66.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Caminos no pavimentados	10.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Actividades agrícolas*	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Construcción y demolición*	3.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
<b>Sub-total</b>	<b>80.2%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>
<b>Total</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>

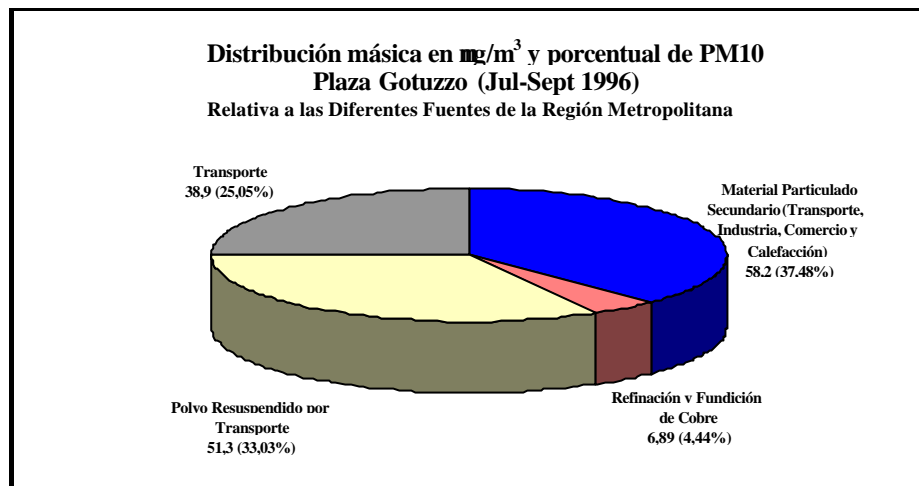
\*Estas son las nuevas categorías de fuentes agregadas al inventario de la Universidad de Chile.

#### 4.2. Responsabilidad de cada actividad en las concentraciones de material particulado respirable.

Para determinar la responsabilidad de las actividades en la composición del material particulado respirable, al cual está expuesta la población, se definieron tres puntos de monitoreo [CONAMA RM 1996], representativos de diversas realidades: uno en el centro (Plaza Gotuzzo), que representa una zona de impacto por tránsito, uno en el sector oriente (Cerro Calán), que representa una zona residencial sin fuentes importantes inmediatas, y uno en el área sur (Buin), que representa una zona agrorural de la región. En cada uno de estos puntos se tomaron muestras diarias a lo largo de tres meses (Julio, Agosto y

Septiembre de 1996), y realizaron análisis físicoquímicos de las muestras. Los resultados se presentan en los siguientes gráficos.

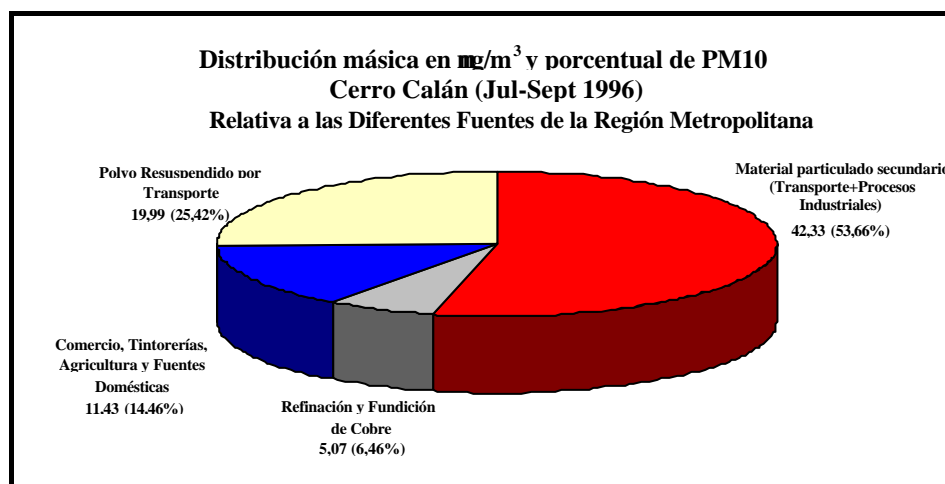
Figura 3



Fuente: CONAMA R.M.

Los resultados en Plaza Gotuzzo (Figura 3) muestran que esta zona presenta la mayor concentración promedio para el período de tres meses ( $149 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), y permiten concluir que las actividades con mayor impacto son las relacionadas con transporte, con una responsabilidad del 25 % del total del material particulado medido. Además, éstas producen la mayor parte del polvo resuspendido (33 %) y en conjunto con otras actividades ligadas a la industria (entre ellas, la calefacción) y el comercio, son responsables de la formación de material particulado secundario (37,5 %). El resto corresponde a contribuciones de fundición de cobre regionales y de refinación y fundición de cobre de regiones vecinas a la Región Metropolitana.

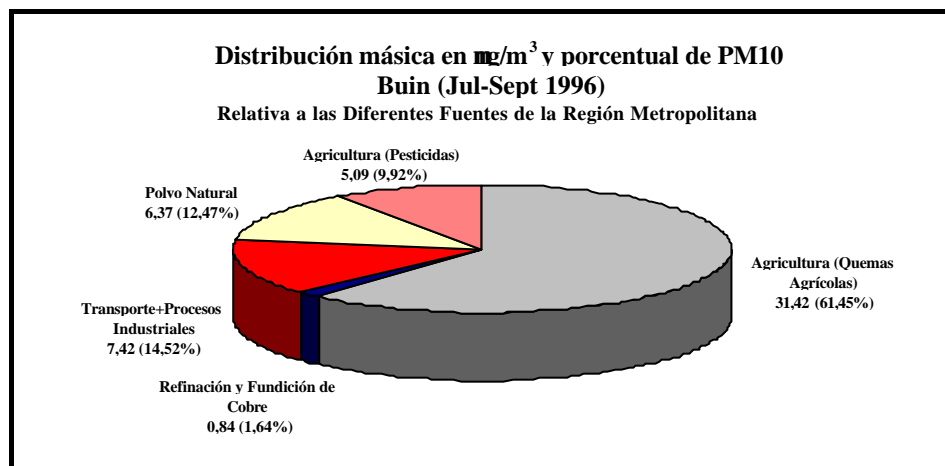
Figura 4



Fuente: CONAMA R.M.

En el caso de Cerro Calán (Figura 4), se midió una concentración promedio de  $77 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , menor que en el punto de monitoreo expuesto al transporte, pero mayor que en el punto de monitoreo de características agrorurales. Estos resultados para una zona urbana no expuesta a emisiones inmediatas, indican la importancia que tienen los procesos de desplazamiento de contaminantes en el aire. En este desplazamiento se produce una cantidad importante de material particulado secundario. Este es de gran importancia en Santiago, sobre todo en la zona nor-oriente. En efecto, el 53,7 % del total del PM10 registrado en este punto de monitoreo es material particulado secundario. En segundo lugar se encuentra el material particulado resuspendido por el transporte, y luego vienen las contribuciones de refinación y fundición de cobre regionales y de otras regiones.

Figura 5



Fuente: CONAMA R.M.

En el caso de la zona agrorural (Figura 5), se midieron concentraciones menores que en los otros ( $52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), y se determinó que la agricultura local tiene el mayor impacto (quemadas y agroquímicos, con un 71,4 %). Se observa además una contribución del conjunto de las actividades de transporte e industria de la ciudad de Santiago (14,5%).

A nivel agregado se puede concluir, a partir del análisis químico lo siguiente<sup>12</sup>:

(1) En términos generales, los agentes contribuyentes son:

- Al PM10: - cerca del 50%: Partículas de “tierra”, representadas por partículas levantadas en caminos principalmente.
- cerca del 25%: Partículas de combustión generadas por vehículos.
- cerca del 10%: Partículas generadas por la industria.
- cerca del 15%: Partículas posiblemente generadas por las fundiciones de cobre emplazadas fuera de Santiago u otras fuentes de “background”.
- Al PM2.5: - cerca del 50%: Partículas de combustión generadas por vehículos.
- cerca del 20%: partículas generadas por la industria.
- cerca del 25%: partículas de tierra generadas por resuspensión en caminos.
- cerca del 5%: partículas posiblemente generadas por fundiciones de cobre u otras fuentes de “background”.

- (2) En consecuencia, el tráfico vehicular es responsable de la mayor contribución, ya sea de polvo en resuspensión (la principal fuente de PM10) o de partículas de combustión (las principales contribuyentes al PM2.5).
- (3) En cuanto a las partículas de combustión, los mayores responsables son los vehículos con motores diesel, principalmente buses, así como también camiones.
- (4) Las partículas secundarias conforman cerca del 50% del PM2.5 y 25% del PM10. Los gases “precursores” son el SO<sub>2</sub> (principalmente generado por la industria), NO<sub>x</sub> (principalmente generado por buses y otros vehículos) y amoníaco (cuyas fuentes son, por ejemplo, desechos orgánicos y la agricultura). Por lo tanto, para controlar el problema del PM en Santiago, es importante también controlar estos gases.

#### **4.3. Conclusiones respecto de la responsabilidad en la contaminación del aire en Santiago**

El tratamiento adecuado de la relación entre emisiones y los niveles de concentraciones de contaminantes (en sus distribuciones espaciales y temporales) en la ciudad, no es simple. Ello ha llevado a continuas discrepancias entre lo que se estima y lo que se mide. A pesar de esto, y aún a riesgo de una sobre-simplificación, se pueden sacar

---

<sup>12</sup> Auditoría, 2000, p. I-3.

algunas conclusiones fundamentales que pueden usarse como guía para los esfuerzos de descontaminación:

- El inventario de emisiones de Santiago, en cuanto a la distribución de emisiones entre fuentes estacionarias y móviles, es concordante con otras ciudades contaminadas del hemisferio occidental. Aproximadamente la mitad de las emisiones totales corresponden a cada una.
- Existe una discrepancia en cuanto al origen del PM10: Mientras los inventarios de emisiones indican que un 80% se origina en la resuspensión de partículas producida por el tráfico, los estudios de composición química del material particulado indican que dicha contribución es más cercana al 50%. Existen indicios, por lo tanto, de que la resuspensión está sobreestimada como fuente en los inventarios de PM10, y por tanto que no es un buen indicador para definir acciones correctivas focalizadas.
- Se requiere una mejor comprensión del comportamiento del material particulado en la Región Metropolitana para el mejoramiento de la calidad del aire en el largo plazo. Sin embargo, la situación es la suficientemente clara como para afirmar que:
  - Los buses constituyen la principal fuente directa de partículas finas (las de mayores efectos) en la salud en la Región Metropolitana.
  - Las partículas finas de nitrato y sulfato de amonio son también importantes. En su formación participan  $\text{NO}_2$  y  $\text{SO}_2$ , provenientes principalmente del tráfico (en particular motores diesel de buses y camiones) y la industria respectivamente, así como amoníaco proveniente de la agricultura y manejo de alcantarillas, y eventualmente, de la industria.
  - La re-suspensión es la principal fuente de PM10 en su fracción gruesa. El tráfico vehicular –especialmente automóviles- tiene un rol importante en la generación de este contaminante. Desafortunadamente, la resuspensión de PM10 en las calles es muy difícil de controlar. La limpieza de calles con máquinas de tecnología avanzada (aspiradoras, húmedas o secas) no reducirá la resuspensión de PM10, porque aquéllas no son capaces de eliminar las partículas finas del PM10 de las superficies viales.
- En cuanto al ozono, intervienen principalmente  $\text{NO}_x$  y COV. De éstos, la opinión experta mejor informada opina que el principal responsable es el COV, es decir que para asegurar una reducción del ozono debe hacerse un esfuerzo de control significativo de este contaminante. Del inventario de emisiones se desprende que el COV es emitido por una diversidad de fuentes que deben ser el foco de atención: el transporte, en particular los automóviles, la distribución de combustibles y el uso de solventes domésticos.
- Las principales fuentes de  $\text{NO}_x$  son los buses y otros vehículos. La contribución de la industria es limitada.

En resumen, es claro que el tráfico vehicular es la fuente principal de los problemas actuales de particulado y ozono de la ciudad. La contribución de la industria se ha reducido significativamente a partir de la aplicación de medidas de control iniciadas a comienzos de la década pasada.

## 5. El Plan de Descontaminación: Medidas Propuestas y Evaluación Inicial

Considerando los antecedentes presentados, en particular el daño de la contaminación, y el creciente rechazo de la misma de parte de la población, cabe preguntarse ¿Qué se ha hecho? Los esfuerzos por descontaminar Santiago tienen una historia relativamente larga. En 1964, se inicia el monitoreo de la calidad del aire de la ciudad. A fines de la década de los setenta se realiza el primer inventario de emisiones y en 1978 el MINSAL decreta normas de calidad para la mayoría de los contaminantes criterio<sup>13</sup>. Durante la década de los ochenta se mejora sustancialmente la red de monitoreo y realizan una serie de estudios<sup>14</sup>, que permiten identificar cual es el estado de la contaminación, y establecer las principales fuentes responsables. Estos antecedentes fueron la base para el desarrollo del Plan de Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana (PDARM), elaborado en 1990. Este Plan – que es un acopio de la mayoría de las sugerencias y recomendaciones de los mejores especialistas de la época- fue el primer plan de descontaminación de la ciudad, y fue desarrollado por la recién creada Comisión Especial de Descontaminación de la Región Metropolitana (CEDRM)<sup>15</sup>. Bajo este Plan se desarrollan las medidas que han permitido la exitosa reducción de emisiones planteada en el capítulo 2, y que son la base para el actual Plan desarrollado en 1997. Las medidas propuestas fueron diversas, pero las que en opinión de los autores contribuyeron centralmente a los resultados obtenidos fueron:

- Regulación de emisiones industriales, en particular la dictación de normas que limitan las emisiones gaseosas y de material particulado. Esto permitió eliminar a las fuentes más contaminantes<sup>16</sup>.
- Desarrollo de una capacidad de fiscalización de las normas para fuentes fijas, incluyendo la creación del Programa de Control de Emisiones de Fuentes Fijas (PROCEFF), actualmente dependiente de SESMA.
- Retiro de buses altamente contaminantes. Se establecieron normas de emisión más estrictas para buses y retiraron de circulación –por medio de una recompra- el 20% de los buses más contaminantes (unos 3000 buses).
- Control de la circulación y emisiones de buses. Se impulsó el esquema de licitación de recorridos para introducir la competencia en el sistema de transporte. La licitación se basó en criterios de menor tarifa y mayor nivel de servicio, con incentivos implícitos a

---

<sup>13</sup> La resolución 1215 del MINSAL establece concentraciones máximas para las partículas totales en suspensión, NO<sub>2</sub>, CO, ozono y SO<sub>2</sub>.

<sup>14</sup> IASA 1980-1981, estudio de impuestos a emisiones, inventario de fuentes emisoras.

- Universidad de Chile 1983-1985, caracterización físico-química de material particulado.
- Intendencia RM y BID, 1986, proyectos de implementación de políticas, normas y regulación de fuentes.
- COASIN 1987, diseño y montaje de red de monitoreo MACAM.
- ENSR, INTEC, Universidad de Chile 1990 modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos.
- CADE-IDEPE 1988-1990 inventario de emisiones.
- INTEC, Universidad de Chile Estudio sistema de derechos de emisión.

<sup>15</sup> La creación de esta Comisión, que dependía directamente del presidente, refleja la importancia política alcanzada por este problema.

<sup>16</sup> Decreto<sup>4</sup> del Ministerio de Salud, con normas máximas de emisión de particulado para fuentes estacionarias grupales y puntuales.

la renovación de equipo con alta tecnología<sup>17</sup> de baja contaminación. Como resultado se ha regulado la frecuencia de circulación y modernizado la flota de buses.

- Introducción de automóviles catalíticos. A partir de mediados de 1992 se imponen normas de emisión a los vehículos nuevos que obliga, en la práctica, al uso de convertidores.
- Mejoramiento de la calidad de los combustibles, en particular reducción del contenido de azufre del diesel.
- Desarrollo de una capacidad de fiscalización de fuentes móviles. Específicamente la aplicación de revisiones técnicas periódicas, mejoras en la certificación, y fiscalización en las vías.
- Pavimentación de cientos de kilómetros de calles.
- Regulación de emisiones residenciales, en particular se reguló el uso de calefacción a leña, obligando al uso de estufas de mejor tecnología.
- Desarrollo en 1990 de un Programa de Emergencia con medidas claramente especificadas y focalizadas, que se activa con indicadores objetivos. Esto permitió eliminar paulatinamente la superación de niveles de contaminación intolerablemente altos.

Estas medidas quebraron de manera fundamental las tendencias en cuanto a la contaminación de la ciudad, poniendo el tema bajo un mínimo de control. Se eliminaron las fuentes más contaminantes, y sentaron las bases para un creciente nivel de actividad industrial y de transporte, pero a tasas de emisión unitarias sustancialmente inferiores. En efecto, cada peso generado por la actividad industrial, o km-pasajero transportado, comenzó a realizarse con menores emisiones.

Sin embargo, lo realizado rápidamente se hizo insuficiente. Las reducciones en emisiones unitarias no fueron capaces de compensar los crecientes niveles de actividad y mayor movilidad de la población. No se logró reducir sustancialmente las concentraciones medidas, ni acercarse a las metas de calidad buscadas. La pre-emergencias se han mantenido, generando molestias en la población respecto de los “pocos avances” en descontaminación. Por ello, en 1996 se comenzó a elaborar el Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana (PPDA), cuya aplicación comenzó en 1998. Sus características principales se detallan a continuación.

### **5.1. El Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana. (PPDA)**

El Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana, en adelante PPDA, oficializado mediante un decreto supremo en Junio de 1998, fue el resultado de un proceso iniciado en 1996 en el que participaron instituciones públicas y privadas y ciudadanos interesados (disponible en <http://www.conama.cl/>). El PPDA define un marco operacional en el que se asignan responsabilidades, metas de

---

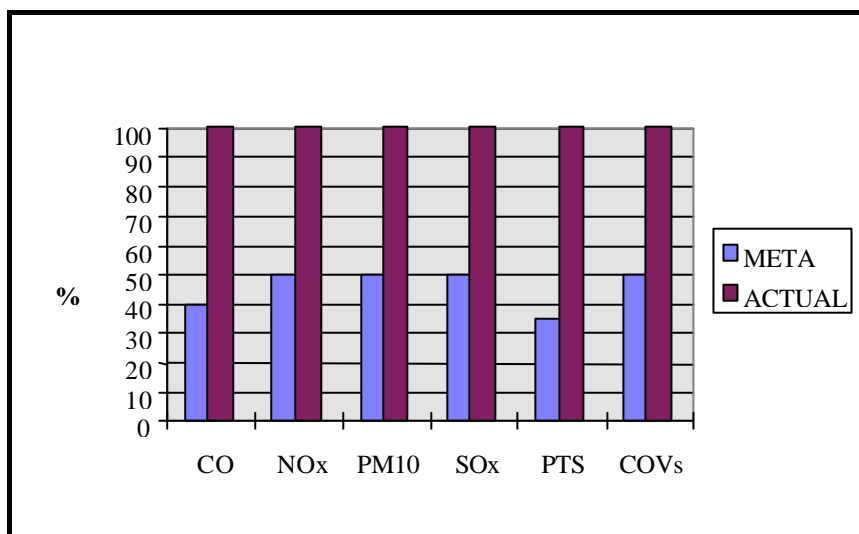
<sup>17</sup> Un aumento automático de los períodos de contrato para las firmas que cumplan metas de renovación de su flota. La medida ha resultado suficientemente poderosa como para generar la sustitución casi total de las máquinas antiguas en sólo tres años.

reducción y plazos en forma suficiente para controlar el problema de contaminación, dentro de las limitaciones impuestas por el conocimiento de las relaciones causales y deficiencias institucionales en ese momento.

### Las Metas del Plan

El PPDA comienza estableciendo metas globales de emisiones con el fin de recuperar la calidad del aire, para PTS, PM10, CO, y O<sub>3</sub>, y evitar la superación de la norma primaria para NO<sub>2</sub>. Las reducciones estimadas de contaminantes para lograr estas metas se pueden apreciar en el Cuadro 4, el cual las compara porcentualmente con el inventario. Se puede apreciar que la reducción de ozono se basa en la reducción de sus precursores (COV y NO<sub>x</sub>) como asimismo que el alcanzar niveles aceptables de material particulado respirable (PM10) exige, no sólo su reducción directa, sino también la de sus precursores (NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub>). El eventual cumplimiento de estas metas se estima que conducirá a la RM a una situación aceptable de cumplimiento de las normas de calidad de aire. Se observa que se requiere reducir las emisiones globales a cerca de la mitad de los niveles actuales para cumplir las normas<sup>18</sup>.

Cuadro 4. Emisiones Meta como Porcentaje de las Emisiones Actuales



Fuente: CONAMA R.M.

El Plan también propone un marco temporal de 14 años para el logro de las metas de reducción. Este plazo es bastante exigente si se considera en el contexto de la magnitud y complejidad de los objetivos específicos involucrados. A modo de referencia, la normativa de EE.UU. establece plazos para alcanzar el cumplimiento de los estándares de calidad del

<sup>18</sup> Para un análisis a fondo de las insuficiencias de estas metas, se remite al lector al cap VI-6, del informe de Auditoría.



aire en ozono, para aquellas zonas de condiciones de contaminación similares a las de Santiago, que fluctúan entre los 15 y los 17 años. Inicialmente en ese país se fue bastante optimista. Se propuso en 1970 que se debían cumplir las normas dentro de los siguientes cinco años. Sin embargo, en 1987 la mayoría de las ciudades seguían superando la norma de ozono, y se han planteado plazos menos exigentes para lograr cumplir. El Cuadro 5 entrega el cronograma de metas parciales para las emisiones globales, propuestas para Santiago.

Cuadro 5: Cronograma global de reducción de emisiones.

<b>Situación</b>	<b>PM10 Ton/año</b>	<b>CO Ton/año</b>	<b>NOx Ton/año</b>	<b>COVs Ton/año</b>	<b>SO<sub>2</sub> Ton/año</b>
Emisiones 1997	41782	244921	43828	62221	21169
Emisión meta 2000	38648	226552	40541	57554	19581
Emisión meta 2005	29137	183691	32871	46666	15877
Emisión meta 2011	20891	97968	21914	31110	10585

### Líneas de acción y medidas del Plan

La definición operacional de PPDA sobre la base de 11 estrategias (ESTR) y 17 líneas de acción (LAC) específicas para el transporte, industria, comercio y construcción, agricultura, polvo resuspendido, y fuentes domésticas figura en el cuadro 6.

Cuadro 6.- Estrategias y líneas de acción, por sector, definidas para cumplir metas del PPDA.

	<b>Medidas o actividades</b>	<b>Responsables</b>
<b>TRANSPORTE</b>		
Estr. 1. Reducir emisiones p. Vehículo		
LAC 1: Mayores exigencias p. Vehículos nuevos	10	MINTRATEL, CONAMA, CNE
LAC 2: Mejora del control de los vehículos en uso	13	MINTRATEL, SEC
LAC 3: Mejora de los combustibles	4	CONAMA, SEC
Subtotal		5
Estr. 2.Reducción emis. en transporte carg. y pasaj.		
LAC 1: Reduc. emisiones sist. Licit. Buses	4	MINTRATEL, MINSEGPRES
LAC 2: Reduc. emisiones taxis bás. y colect.	3	MINTRATEL, MINSEGPRES
LAC 3: Incentivar uso racional automóvil	8	MINTRATEL, SEREMI TRANSP. Y TELECOM., MINISTERIO DE HACIENDA, SECTRA, UOCT
LAC 4: Reduc. emisiones transp. Carga	2	MINTRATEL, MINSEGPRES
Subtotal		6

	<b>Medidas o actividades</b>	<b>Responsables</b>
Estr. 3. Incorporar variable amb. en planif. Transporte	4	MIDEPLAN, MINVU, MINTRATEL, CONAMA, IRM
Subtotal	4	5
Estr. 4. Evitar nuevos viajes motorizados		SECTRA, MINTRATEL, MINSEGPRES, MINSAL, MIDEPLAN, MINEDUC, IRM
Subtotal	6	7
<b>TOTAL TRANSPORTE</b>	<b>54</b>	<b>15</b>
<b>industria, comercio y construcción</b>		
Estr. 1. Reduc. emisiones fuentes actuales		
LAC 1: Def. exig. Tecnológicas en reducc. emis.	5	MINSAL
LAC 2: Mecanismos para facil. cumpl. Exigencias	3	MINSAL, CONAMA, MINECON
LAC 3: Reduc. emis. fugit. y mej. comb. ind.	4	SEC
Subtotal	12	4
Estr. 2. Mecanismos de sustent. Crecim. Industrial	4	MINSAL
Estr. 3. Optimizar sistema fiscalización fuentes	9	MINSAL, SEC
Estr. 4. Control emisiones construcción	1	MINSAL
<b>TOTAL INDUSTRIA, COMERCIO Y CONSTRUCCION</b>	<b>26</b>	<b>4</b>
<b>AGRICULTURA</b>		
Estr. 1. Controlar las emisiones de la agricultura	2	CONAF, MINVU
<b>TOTAL AGRICULTURA</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
<b>POLVO RESUSPENDIDO</b>		
Estr. 1. Planific. del territorio en zona latente y saturada		
LAC 1: Marco teórico inst. para instr. Plan. Terr.	4	IRM, MUNICIPIOS, MINVU
LAC 2: Incorporación dimensión ambiental	1	MINVU
LAC 3: Extensión de la ciudad	6	MOP, MINVU, CONAMA R.M.
LAC 4: Distribución orgánica en el territorio	2	MINVU, MINEDUC
Subtotal	13	6
Estr. 2. Manejo y reparación recurso suelo		
LAC 1: Promoción y protección forestación	2	CONAF, MINAGRI
LAC 2: Desarrollo de parques y áreas verdes	2	CONAF, MINAGRI
LAC 3: Programa de pavimentación	2	MINVU, GORE, IRM
Subtotal	6	5
<b>TOTAL POLVO RESUSPENDIDO</b>	<b>19</b>	<b>10</b>
<b><u>FUENTES DOMESTICAS</u></b>	<b>3</b>	<b>CONAMA, MINVU, CNE</b>
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>104</b>	<b>29</b>

Fuente: Auditoría (2000).

Estas líneas de acción se abren a su vez en 104 medidas<sup>19</sup>. La mayor parte de estas medidas (52%) corresponden al sector transporte, seguido por el sector industrial, comercio y construcción (25%). El PPDA define adicionalmente la institución que debe hacerse responsable de cada medida. En total son 29 instituciones, incluidos múltiples Ministerios y Servicios Públicos.

Específicamente cabe destacar que:

- Las 54 medidas que corresponden al sector Transporte son de responsabilidad de 15 organismos diferentes.
- En cambio de las 26 medidas relacionadas con el Sector Industria, Comercio y Construcción, son de responsabilidad de solo cuatro organismos.
- Reducir el polvo resuspendido incluye 16 medidas, bajo responsabilidad de 10 organismos.

Claramente, es un Plan ambicioso. Sin embargo precisamente por abarcar tanto, el Plan adolece de deficiencias importantes, tanto en su definición como en su gestión. Por ejemplo, muchas de las medidas no quedaron bien definidas. De las 104 medidas consideradas, solo 32 pudieron especificarse lo suficiente como para estimar su efectividad. En efecto, se definieron los siguientes cinco grupos de medidas, las que se presentan en el cuadro siguiente, en orden decreciente de precisión.

Grupo 1: medidas para las cuales se pudo realizar una evaluación de costos y de efectividad, y por ende de la costo-efectividad;
Grupo 2: medidas para las que sólo se pudo realizar evaluaciones de efectividad;
Grupo 3: medidas para las que sólo se pudo realizar evaluaciones de costos;
Grupo 4: medidas que no cuentan con evaluaciones ni de costos ni de efectividad
Grupo 5: medidas futuras a identificar en las actualizaciones del PPDA.

Solo se estableció la efectividad de las medidas para los dos primeros grupos. Para las otras, no fue posible especificar el impacto sobre las emisiones.

Adicionalmente, la implementación del Plan exige un esfuerzo de coordinación hacia las diversas instituciones involucradas, que simplemente supera la capacidad operativa actual de la CONAMA RM, que posee escasos recursos humanos para estos efectos. Más aún, muchas de las instituciones involucradas, no tienen un interés particular en el tema ambiental, por lo que, obligadas a hacer recortes de presupuesto, comienzan estos recortes con las medidas del Plan. Estos problemas de coordinación son, sin duda, el mayor escollo a superar para avanzar en la mejora de la calidad del aire en la ciudad.

### **Efectividad Prevista del Plan**

Como se ha señalado, el objetivo del Plan es, en términos generales, reducir las emisiones de varios contaminantes a la mitad. Sin embargo, al analizar detenidamente el PPDA, se

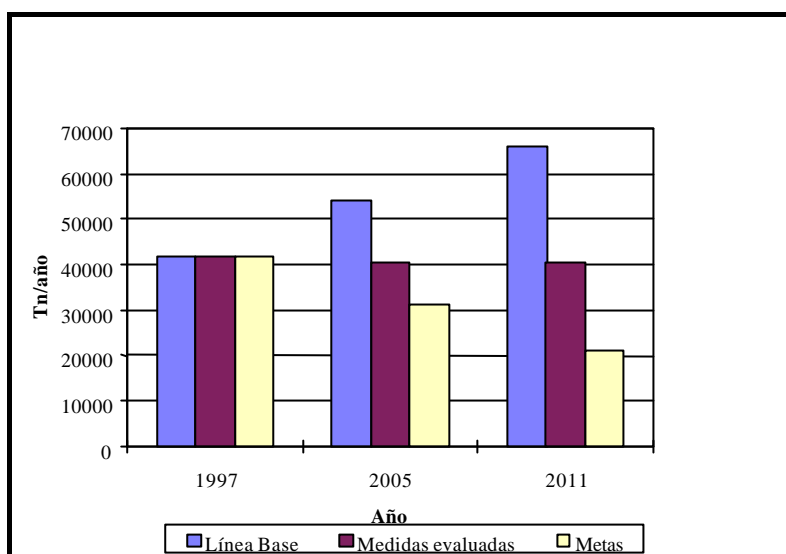
---

<sup>19</sup> El lector interesado encontrará estas medidas y su cronograma de aplicación en el PPDA (1997), pp.12-3 a 12-19

concluye que las medidas correspondientes a los dos primeros grupos (es decir con efectividad establecida), solo permiten avanzar parcialmente en la dirección deseada. En efecto, los siguientes gráficos (figuras 8, 9 y 10) resumen las efectividades esperadas para PM10, COV y NO<sub>x</sub>.

La primera columna de la figura 6 presenta la evolución esperada de la línea base, es decir lo que sucedería en ausencia del Plan. Por ejemplo para PM-10, en el 2005 las emisiones aumentan a 54 mil ton/año, llegando el 2011 a 66 mil ton/año, de un total inicial de 41 mil ton/año. Gracias a las medidas evaluadas del Plan, presentado en la segunda columna, las emisiones se mantienen en el entorno de 40 mil ton/año. Es decir, a pesar del esfuerzo, se estará logrando apenas compensar los aumentos de emisión esperados; no se avanzará en su reducción.

Figura 6. Efectividad en la reducción de emisiones de PM10, considerando polvo resuspendido



Con respecto a la estimación de la efectividad en la reducción de PM10, es necesario destacar que esta es conservadora, debido a que una serie de medidas que juegan un rol importante en el control del polvo natural y resuspendido no han podido ser evaluadas. Estas son las relacionadas con desincentivo al uso del automóvil, las de ordenamiento territorial, y las de promoción y protección de la forestación y las áreas verdes. El problema es que estas medidas no se han definido con precisión, y por tanto no es posible evaluar su impacto.

En cuanto a los COV (ver figura 7) no se estaría cumpliendo el objetivo de mediano plazo de revertir la tendencia de crecimiento de sus emisiones, hecho que compromete la reducción de ozono. La razón principal es que las responsabilidades están un conjunto importante de fuentes de tamaño mediano y pequeño, por lo que su control es comparativamente más complejo que para otros contaminantes. La experiencia en otras ciudades del mundo muestra que en general el control de contaminantes secundarios presenta este tipo de dificultad asociado a la variedad de tipos y tamaños de fuentes de emisión de los diferentes precursores.

La reducción estimada para NO<sub>x</sub> (ver figura 8) está cerca de cumplir la meta parcial del año 2005, pero el aumento del uso del transporte privado impone la necesidad de que en la reformulación del año 2000 del PPDA se incluyan medidas complementarias que permitan asegurar el cumplimiento de la meta del año 2011.

Figura 7. Efectividad en la reducción de emisiones de COV

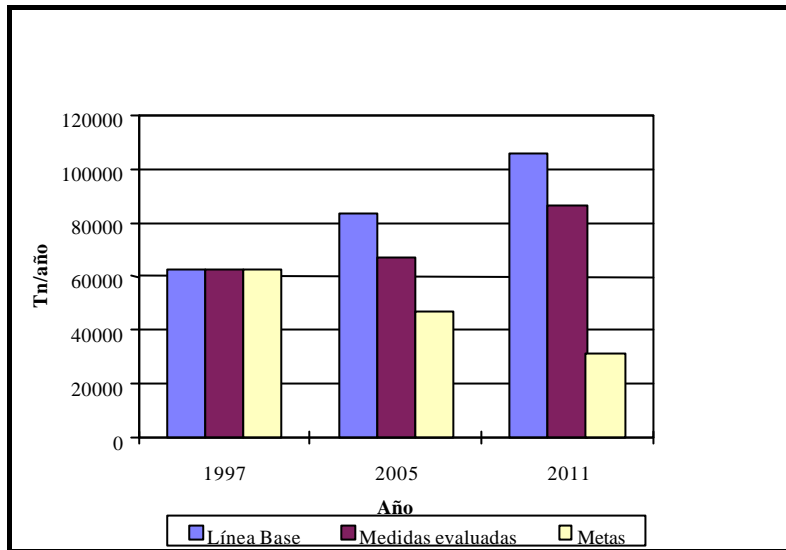
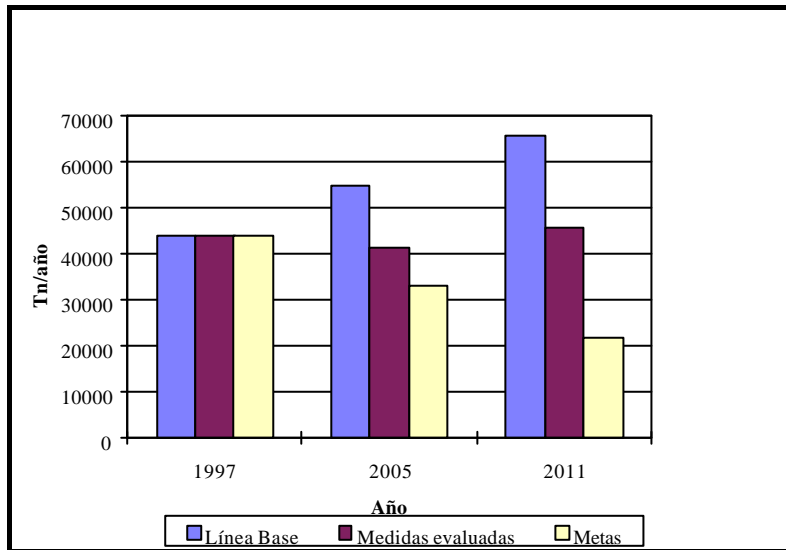


Figura 8. Efectividad en la reducción de emisiones de NOx



En conclusión las medidas evaluables del Plan permiten mantener la calidad del aire en su nivel actual, pero no permiten lograr las metas requeridas para mejorar ésta en la ciudad. El mismo Plan reconoce esta situación, y propone que en las futuras versiones del mismo, se definan las medidas que permitirán cumplir las metas.

## Estimación Monetaria de los costos y beneficios del PPDA

El PPDA hace un esfuerzo “heroico” por estimar costos y beneficios de las medidas propuestas, en términos monetarios. Utilizando antecedentes de la literatura internacional y nacional sobre el impacto o daño asociado a diferentes niveles de concentración se determinan los valores presentados en los siguientes cuadros (cuadros 7 y 8). Si bien estos valores deben tomarse como un primer intento de evaluar las implicancias del plan, y no como los valores “verdaderos”, permiten sacar algunas conclusiones interesantes. Primero, que el Plan le costaría al país US\$911 millones, en sus 14 años de aplicación, y generaría beneficios que superan los US\$1 mil millones. Independientemente de si uno está de acuerdo o no con las metodologías de evaluación utilizadas, éstas cifras señalan que mejorar la calidad del aire implicará necesariamente un esfuerzo significativo para la ciudad, y que el daño que la contaminación genera es actualmente muy alto para la sociedad.

Cuadro 7. Costos de las medidas y actualizaciones del PPDA.

<b>Grupo de medidas</b>	<b>Costo (US\$)</b>
Grupo 1: medidas evaluadas en términos de costos y efectividad	526.553.876
Grupo 2: medidas evaluadas sólo en términos de efectividad	87.806.906
Grupo 3: medidas evaluadas sólo en términos de costo	83.953.200
grupos 4 y 5: medidas no evaluadas y actualizaciones	185.552.683
Educación ambiental y seguimiento del PPDA	27.364.045
<b>Total</b>	<b>911.230.711</b>

Cuadro 8. Beneficios cuantificados asignables al PPDA.

	<b>Población</b>	<b>Emisores</b>	<b>Estado</b>	<b>Total</b>
Salud humana	392.172.150	0	74.767.355	466.939.505
Materiales	445.053.991	0	0	445.053.991
Agricultura	0	143.740.000	0	143.740.000
Episodios críticos	0	37.597.029	2.285.255	39.882.284
<b>Total</b>	<b>837.226.141</b>	<b>181.337.029</b>	<b>77.052.610</b>	<b>1.095.615.780</b>

Respecto de las cifras, cabe hacer algunas precisiones importantes. Primero, en la estimación de costos, solo son relativamente confiables los valores de los grupos 1 y 3, y las de educación y seguimiento, es decir cerca de US\$ 630 millones. Los demás costos son extrapolaciones con poca base empírica. Estos autores estiman que las medidas propuestas serán más caras que lo estimado debido a que las medidas que consideran son menos efectivas y de mayor costo que las que se pudieron evaluar.

Segundo, las estimaciones de beneficios adolecen de insuficiencias. Estos autores respaldan recientes conclusiones presentadas al respecto por la auditoría al Plan, específicamente que el PPDA adopta el enfoque de capital humano, que se usa poco en los análisis internacionales. Este procedimiento lleva, eventualmente, a obtener menos beneficios que

los obtenidos en otros países. Con ello, las estimaciones de beneficios entregadas por el PPDA estarían subestimadas o, al menos, serían innecesariamente conservadoras. Sorprende por ejemplo, que los beneficios por mejoras en salud sean inferiores a las mejoras en materiales.

Finalmente, cabe señalar que el gasto público directo real anual per cápita para descontaminar el aire de la ciudad, alcanza US\$2 (Auditoría, 2000).- Estos gastos constituyen un séptimo de los gastos internacionales en ciudades de niveles similares de contaminación, en países industriales. Ajustado por la relación de poderes adquisitivos, se estima que en Santiago se destina al sector público la mitad de lo que destinan otras ciudades con problemas de contaminación. Para alcanzar las metas de calidad buscadas, será necesario aumentar entre 3 y 4 veces el gasto público en esta materia, llegando al orden de los US\$30 millones anuales.

## **5.2. Evaluaciones del Plan y Propuesta de Mejoramiento**

A pesar de haberse publicado recién en 1998 el Plan, ya existen –a instancias de la propia CONAMA- dos procesos participativos de seguimiento del mismo, una auditoría y un documento sobre las bases para la reformulación realizado por la propia CONAMA. En esta sección se resumen brevemente las principales conclusiones respecto de cómo avanzar.

### **Auditoría del Plan**

El informe de Auditoría antes mencionado señala que, respecto de la formulación de la estrategia, el PPDA presenta una sólida base técnica y científica en concordancia con el estado del arte en la elaboración de planes urbanos de descontaminación. Además, su formulación recoge un significativo aporte de diferentes instituciones estatales, universidades, asociaciones profesionales e industriales, ONG, etc., y es necesario destacar el importante esfuerzo de organización y coordinación del proceso por parte de CONAMA que ello ha implicado.

Sin embargo, desde el punto de vista de gestión el PPDA el plan adolece de inadecuada focalización y priorización a nivel de medidas. En efecto, sólo 16 medidas (de un total de 104) concentran más del 70% del total de la efectividad estimada de las estrategias del PPDA<sup>20</sup> en cuanto a material particulado, más del 60% relativo a NO<sub>x</sub> y CO, más del 50% de COV y 100% de SO<sub>x</sub>. Como se aprecia en el cuadro 9, de estas medidas substanciales, 7 pertenecen a Transporte, 7 a Industria, Comercio y Construcción y 2 a Polvo Resuspendido.

---

<sup>20</sup> No se debe olvidar que, como se señala en la sección 5.1, estas medidas sólo consideran las del grupo 1 y 2, y que no alcanzan a cumplir las metas del Plan, si no que mantienen la calidad del aire actual.



Cuadro 9.- Medidas del PPDA con efectividad substancial

Transporte (7 medidas)	%Efectividad				
Medidas	PM10	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	CO	COV
M1TTE15	8,19	12,28	4,40	9,93	5,5
M3FMV3	0,81	12,34	-	-	-
M3FMV7	-	-2,89	-	18,19	6,92
M2CMB4	0,62	-	17,82	-	-
M2CMB5	0,56	-	0,16	-	5,06
M2CMB6	-	1,45	-	10,84	1,26
M3TTE1	0,82	3,52	0,25	9,83	4,59
Total Transporte	11,00	26,70	22,63	48,79	23,35
Industria, Comercio y Construcción	% Efectividad				
Medidas	PM10	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	CO	COV
M3FFJ2	1,57	7,88	49,62	0,91	0,12
M3FFJ4	5,11	-	-	-	-
M3FFJ6	-	14,70	19,73	-	-
M2CMB1	-	-	-	-	11,09
M2CMB2	-	-	-	-	6,10
M2CMB7	-	-	5,60	-	-
Total Industria, Comercio y Construcción	6,88	22,58	74,95	0,91	17,31
Polvo Resuspendido	% Efectividad				
Medidas	PM10	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	CO	COV
M4EDI2	18,88	-	-	-	-
MEPC2	18,80	-	-	-	-
Total Polvo Resuspendido	37,68	-	-	-	-
TOTAL GENERAL (%)	55,36	49,28	97,58	49,70	40,66
Aporte de las medidas sobre el total detectado (%)	70,00	62,50	100,00	63,00	51,50

En consecuencia, de acuerdo al principio de Pareto<sup>21</sup>, el plan podría focalizarse activamente sobre un núcleo del orden de 20 medidas de alta efectividad. El resto debería abordarse de acuerdo a la disponibilidad de capacidad de gestión y de recursos.

Respecto del avance de las 16 medidas más significativas (ver cuadro 10), cabe señalar que, en total, 50% de las medidas están terminadas o al día, y que 50% tienen atraso o

<sup>21</sup> Principio 80-20: El 80% de los problemas responde al 20% de las causas.

problemas de diseño. Adicionalmente, la Tabla 4 desgrega el estado de avance entre los 7 organismos responsables. Es necesario que organismos de alto nivel asuman con fuerza el tema para que éstas puedan llevarse a cabo. Sin embargo, durante los últimos dos años lo que se ha observado es una falta de voluntad política y de recursos para avanzar en ellas.

Cuadro 10.- Estado de avance de las 16 medidas más significativas del PPDA

Avance (*)	Global		ORGANISMO RESPONSABLE													
			MIN TRATEL		CONAMA		SEC		MINSAL		GORE		IRM		MINVU	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
T	2	13	2	50												
D	6	38			3	75	3	50	2	67	1	100	1	100		
A	7	43	1	25	1	25	3	50	1	33					1	100
P	1	6	1	25												
Total	16	100	4	100	4	100	6	100	3	100	1	100	1	100	1	100

(\*) T: Terminada  
 D: Al día  
 A: Con Atraso  
 P: Con problemas estructurales

### Propuesta de Reformulación del Plan

El propio PPDA hace explícita la necesidad de incorporar correcciones para asegurar las metas fijadas para el año 2011 mediante el compromiso formal de llevar a cabo dos procesos de reformulación, uno para el año 2000 y otro para el 2005. Dentro de este contexto, en septiembre de 1999 un proceso participativo organizado por CONAMA permitió elaborar un conjunto de modificaciones y nuevas propuestas para perfeccionar el PPDA, incorporando experiencia recogida durante su marcha y nuevos conocimientos alcanzados en el período. El resultado de este proceso figura en el documento “Bases para la Reformulación del PPDA” de marzo del 2000 (también disponible en <http://www.conama.cl/>).

Lo más relevante de esta reformulación tiene relación con la evaluación crítica del objetivo primario del plan original: **alcanzar las normas de calidad ambiental de un área que se encuentra saturada en ciertos contaminantes**. En efecto, a la luz de nuevos antecedentes recogidos durante la marcha del PPDA se concluye que dicho objetivo debe ser reorientado para enfocar el problema de fondo: el bienestar de los habitantes de la RM. En suma, el nuevo objetivo es: *contribuir a proteger la salud de las personas expuestas a la contaminación del aire en la Región Metropolitana en forma integral y participativa*.

En consecuencia el PPDA debe tomar un cariz más antropocéntrico, priorizando su acción sobre la base de los efectos sobre la población de la RM por sobre la disminución de inventarios. Las estrategias que habrá que poner en marcha para lograr este objetivo son:

1. *Reducir el nivel de exposición de la población a la contaminación del aire, intra y extra muros, en la Región Metropolitana.*
2. *Reducir el nivel de emisiones de contaminantes atmosféricos que impacten ala Región Metropolitana.*
3. *Reducir el nivel de agresividad de los contaminantes atmosféricos de la Región Metropolitana.*
4. *Crear condiciones para Asegurar la sustentabilidad del cumplimiento de las normas de calidad del aire en la Región Metropolitana.*
5. *Involucrar a la comunidad en el mejoramiento de la calidad del aire de la región.*

Esta definición de estrategias es significativa en el planteamiento de las tareas y compromisos para la reducción de emisiones. El punto 1 refleja la importancia, otorgada a los contaminantes intra-muro, ítem cuya eventual reducción tendría un aporte marginal a la mejora de los indicadores de calidad del aire, pero probablemente significativa en la reducción del daño a la salud.

El punto 2 establece un compromiso para controlar aportes de contaminantes no producidos directamente en la ciudad y cuya contribución a la contaminación se estima significativa aún cuando su cuantificación requiera investigación adicional. Es así como actividades de quema de biomasa, criaderos de animales, faenas agrícolas, uso de pesticidas y fertilizantes, fundiciones, etc. generan agentes que ingresan a la cuenca de la RM. Algunos de estos agentes como el amoníaco, no forman parte del conjunto de productos que debían controlarse de acuerdo al PPDA original pero en la actualidad se sabe que participan activamente en la generación de contaminantes secundarios agresivos.

El punto 3 establece la necesidad de enfocar esfuerzos de reducción guiados por la agresividad de los contaminantes. A este respecto, la reducción de precursores y agentes tóxicos cobra importancia en función de su capacidad de generar impactos sobre la salud aún cuando su impacto a nivel global en las concentraciones de contaminantes criterio sea poco significativo.

El punto 4 se evidencia en propuestas de mejora dirigidas a la institucionalidad, aspecto que mostró ineficiencias y poca flexibilidad y coordinación durante la marcha del plan. Recoge la urgente necesidad de establecer un mecanismo de gestión efectivo del Plan. En esencia se propone:

“...Con el fin de fortalecer en el corto plazo la gestión de la descontaminación atmosférica de la Región Metropolitana, se propone crear un Comité específico de ministros directamente involucrados en la descontaminación, conformado por los ministros de Vivienda, Obras Públicas, Transportes, Salud, SEGPRES y Economía. Por ser un problema que existe en la región, el responsable operativo debiera ser el Intendente regional, quién debe ser parte de este Comité de Ministros, y la Dirección Regional de CONAMA debiera jugar el rol de secretaría ejecutiva. Este Comité puede ser creado por un Decreto Supremo del Presidente, y debe contar con la delegación de facultades por parte del Comité de Ministros de CONAMA, todo lo cual es fácilmente articulable si existe voluntad para implementarlo.”

El punto 5 incorpora con fuerza un tema nuevo para la tradicional forma de hacer gestión pública en Chile. Propone la necesidad de comunicar bien, para difundir información, crear conciencia ciudadana y despertar espíritu de colaboración. Al respecto, el documento plantea:

“La participación ciudadana implica un amplísimo espectro de capacidades de iniciativa, propuesta y control de diversos actores distintos en forma activa y no sólo reactiva. Es un proceso de los ciudadanos y no sólo para los ciudadanos, que permite potenciar la gestión pública en términos políticos y que está contribuyendo a abrir un camino que se incorporará gradualmente a las prácticas, la legislación y la cultura del país.

En resumen, mediante la participación en los procesos de gestión pública y privada, éstos adquieren mayor transparencia y se generan ámbitos de confianza que promueven la creatividad, la motivación y el compromiso con “la causa” en los actores, derivando en una menor resistencia hacia los cambios de conductas y fortaleciendo la responsabilidad en el cuidado del medio ambiente.”

En general, los puntos 4 y 5 exigen el perfeccionamiento del diseño estratégico del PPDA, su capacidad de lograr y estabilizar cambios permanentes de conducta que garanticen su éxito y sustentabilidad. Esto también lo enfatiza la Auditoría reciente al señalar que hay 20 instituciones responsables que cuentan con el mandato necesario para ejecutar las medidas (las 35 comunas de la Región Metropolitana se consideran como una sola entidad). Esta cantidad es sumamente elevada y constituye un serio obstáculo para la gestión y el control eficiente del PPDA. Particularmente, en el área de transportes hay un total de 15 entidades responsables. Esta es sin duda una debilidad fundamental del PPDA.

Finalmente cabe destacar que en la reformulación se han definido nuevas medidas orientadas al problema más crítico de la ciudad: poner bajo control las emisiones del sistema de transporte. En efecto, sobre la base de tres objetivos: 1) Prevenir el aumento de emisiones producto del crecimiento del parque vehicular, 2) Prevenir el aumento de las emisiones por aumento de los kilómetros recorridos y 3) Reducir las emisiones del parque de vehículos existentes, se proponen 7 líneas de acción, todas de carácter técnico orientadas en general a disminuir las emisiones por kilómetro:

- Inducir la renovación tecnológica hacia vehículos más limpios
- Introducir la compensación de las emisiones vehiculares asociadas a nuevas actividades
- Internalizar los costos sociales por la contaminación vehicular (cargo de emisión en reemplazo de la tristemente célebre restricción)
- Acelerar el retiro de vehículos altamente contaminantes
- Optimizar las tecnologías disponibles a través del uso de combustibles más limpios
- Asegurar el cumplimiento de las normas de emisiones y de la calidad de los combustibles vehiculares
- Disminuir el impacto en la calidad del aire provocado por el tránsito de camiones

Sin embargo, con respecto a lo que a nuestro juicio es el fondo del problema – **la cantidad de pasajero-kilómetros, en particular en automóviles** – las propuestas se hallan a nivel de políticas de transporte y ordenamiento territorial para la Región Metropolitana y una definición gruesa de Líneas de Acción dentro del ámbito de urbanismo moderno orientado al medioambiente. Es necesario notar que la brecha entre estas líneas de acción y la definición de los instrumentos y medidas concretas es formidable, toda vez que involucran cambios de hábitos de prácticamente todos y cada uno de los habitantes de Santiago. En suma, no es realista esperar un avance substancial en este sentido antes de la reformulación programada en el año 2011.

## 6. Conclusiones y recomendaciones

Santiago se encuentra lejos de alcanzar una calidad de aire compatible con la tranquilidad de sus habitantes. La ciudad muestra características de clima, emplazamiento y desarrollo que hacen difícil poner la contaminación bajo control. Sin embargo, a modo de consuelo, se sabe que la situación actual podría haber sido mucho peor de no mediar los esfuerzos iniciados en los años 80. Los avances han sido significativos; se ha ganado experiencia y conocimiento al punto de permitir plantear el desarrollo de un plan que define una estrategia coherente en distintos ámbitos de acción que ha logrado indiscutiblemente introducir un punto de inflexión, un quiebre en la tendencia al empeoramiento progresivo – y acelerado – de la calidad del aire.

La experiencia mundial, recogida en otras urbes que comenzaron sus esfuerzos de descontaminación décadas antes que Santiago, muestra claramente que no existen soluciones mágicas, simples o instantáneas en esta materia. Sus políticas, estrategias, planes y medidas de descontaminación han debido evolucionar sobre la marcha, encontrando en su recorrido tropiezos e imprevistos. En este sentido, el PPDA no presenta características excepcionales; se han seguido lineamientos y bases de diseño ya establecidos y eventualmente debe encontrar las mismas situaciones. Es así como la tipificación tradicional de fuentes emisoras en estacionarias, móviles y de área, subyacente a la estructura del PPDA, apunta al uso del factor crítico para el desarrollo de todos los planes de descontaminación: la capacidad institucional. En efecto, a simple vista se observa que las medidas de control para estos tres tipos de fuentes siguen un orden ascendente de dificultad – a la vez que descendente en eficiencia – en que su desempeño se ve cada vez más comprometido por exigencias de fiscalización, coordinación y administración que exceden la actual capacidad institucional.

En retrospectiva, se pueden destacar logros importantes. Las fuentes fijas han alcanzado reducciones que exceden actualmente las metas fijadas para el 2005. Adicionalmente, este logro se augura estable, mayormente debido a la influencia de la disponibilidad de gas natural. En los años venideros se prevé que las fuentes fijas tendrán un papel cada vez menor en el deterioro de la calidad del aire, si bien habrá que mantener bajo control los  $\text{SO}_x$  y  $\text{NO}_x$  como precursores de particulado.

Las fuentes móviles han mejorado su desempeño sobre la base de tres medidas fundamentales: la licitación de recorridos, el retiro de los buses más contaminantes y la introducción de convertidores catalíticos. Desafortunadamente esta reducción se ve amenazada por el aumento de parque vehicular y número de viajes al punto que eventuales mejoras en las emisiones por pasajero-kilómetro se verán disipadas por su crecimiento. La solución definitiva de este problema involucra aspectos estructurales de la urbe y cambios permanentes de hábitos de sus habitantes, aspectos cuya gestión implica dificultades órdenes de magnitud superiores a lo ya realizado.

Por su parte, el control de las fuentes de área, incluyendo las fuentes de polvo resuspendido y COV, suman a estas dificultades la complejidad asociada a su variedad y número de agentes emisores. En suma, fuentes móviles y de área deberán concentrar el grueso de los esfuerzos a emprender en las siguientes etapas del PPDA.

CONAMA ha asumido decididamente su liderazgo en el diseño y ejecución del PPDA. Su gestión, continuamente sujeta a críticas, se ha desenvuelto meritoriamente en un contexto de inexperiencia y falta de recursos y atribuciones, concebiblemente producto de su “juventud” como organismo público. En forma inédita dentro del contexto en que tradicionalmente se desenvuelven los demás organismos públicos, CONAMA ha respondido a las críticas mediante un claro espíritu de aumentar la transparencia de su gestión y crear espacios de comunicación con la ciudadanía. Cabe esperar que esta política se mantenga.

En resumen, se ha avanzado bien en lo que eran las medidas mas “obvias”, incluso más allá de lo esperable considerando los escasos recursos relativos invertidos en el tema. Sin embargo el Plan y las bases para su reformulación adolecen en opinión de estos autores de algunas insuficiencias que deben superarse en forma urgente. Primero, es necesario definir metas claras, alcanzables y medibles en los plazos propuestos. No es obvio que exista el conocimiento suficiente para asegurar cumplir las metas de calidad ambiental. El PPDA en su forma actual propone metas, pero no las medidas que permitan su logro. Es preferible, por ejemplo, proponer que en los próximos 10 años se avanzará en eliminar las pre-emergencias, reducir las concentraciones a un cierto porcentaje de la meta de calidad buscada y precisar las medidas que permitirán el logro de las metas de calidad, antes que ofrecer su logro y no proponer las medidas que lo harán factible.

Segundo, es necesario priorizar y focalizar las medidas del Plan, es decir dejarlo manejable con la capacidad institucional que se tendrá en el periodo. Ya hay demasiadas instituciones involucradas en las 104 medidas propuestas. Ampliar el Plan, buscando además reducir la contaminación intra-domiciliaria, incorporar nuevas fuentes, atacar los contaminantes más agresivos, aumentar la participación –si bien loable- simplemente no parece factible. ¿Quién va a gestionar esto? Parece más aconsejable proponer un conjunto de medidas más modestas pero logrables y efectivas, que permitan ir teniendo éxitos que generen apoyo a CONAMA y credibilidad en su capacidad de gestión. Por otra parte, el costo por kg reducido es sustancialmente diferente para cada tipo de fuente. Es urgente comenzar a definir medidas basadas en la costo-efectividad (es decir priorizadas de más baratas a más caras), apuntando a lograr el máximo de reducción al mínimo costo.

Tercero, es necesario desde ya generar las medidas que permitirán poner bajo control las emisiones de fuentes móviles. Las propuestas realizadas y las discutidas en la reformulación del PPDA no se hacen cargo de este requerimiento. En opinión de los autores, esta es una de las mayores debilidades de la gestión del aire actual. En efecto, se sabe que las fuentes móviles son las principales fuentes tanto de particulado como ozono, y lo serán aún más a futuro. Sin embargo, no se ha generado una visión de consenso de cómo asegurar que en el futuro, los viajes en automóvil no crezcan a tasas que aumenten las emisiones, de cómo ofrecer un transporte público de la calidad requerida para asegurar –al menos- la mantención de los actuales particiones modales, y de cómo incorporar combustibles más limpios en buses.

Hay que ponerle el cascabel al gato llamado transporte. Es claro que el problema de gestión es monumental, debiendo coordinarse diversas instituciones, con intereses diversos, e incluso visiones y prioridades diferentes y aún contrapuestas. Pero si se va a hacer un esfuerzo por reformular el Plan, este debe ser su eje central.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Adonis M, Cáceres D, Moreno G, Gil L** (1995) Contaminación del aire en espacios interiores. Ambiente y Desarrollo - Marzo 1995.
2. **Adonis M, Gil L**. (1993) Mutagenocidad de los extractos orgánicos del material particulado transportado por el aire de Santiago (Chile). Mutat Res.;292(1):51-61.
3. **Adonis M, Quiñones L, Gil L, Gibson G**. (1997) Hepatic enzyme induction and mutagenicity of airborne particulate matter from Santiago, Chile in the nourished and malnourished rat. Xenobiotica. 27(5):527-36.
4. **ARIC (Atmospheric Research & Information Centre)** (1996), *Urban Air Pollution in World Cities Series: World Megacities*, en Air Quality Information Programme Factsheets Series, WHO/UNDP (<http://www.doc.mmu.ac.uk/aric/megacit.html>).
5. **Belmar R, Aranda C, Orrego M, Vergara ME, Salinas M, Martínez D** (1989) Estudio epidemiológico sobre los efectos de la Contaminación atmosférica. Intendencia Regional Metropolitana, Serplac. ARA-SEEBLA-CONSECOL. Informe Final Diciembre, 1989.
6. **Cifuentes L, Vega J, Lave LB** (2000) Mortalidad diaria por causa y nivel socioeconómico en Santiago, Chile. Entregado para su publicación.
7. **CONAMA** (1997) Plan de Prevención y Descontaminación de la Región Metropolitana. <http://www.conama.cl/>
8. **CONAMA** (2000) Auditoría del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana. <http://www.conama.cl/>
9. **CONAMA** (2000) Bases para la Reformulación del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana. <http://www.conama.cl/>
10. **CONAMA R.M.** (1996), Informe final, Proyecto de cooperación Chile-Suecia, Junio, 1996.
11. **CONAMA RM** (1996) Estudio "Caracterización y cuantificación de las contribuciones de material particulado respirable" - Conama RM - U de Sao Paulo - USACH / 1996
12. **Derek Elsom**, (1990) La contaminación atmosférica, Cátedra, Madrid, 1990.
13. **Gil L, Adonis M** (1995) Contaminación atmosférica; efectos en la salud humana. Cuad. Med. Soc 36(4):9-15.
14. **Gil L, Adonis M** (1996) Niveles de hidrocarburo aromático policíclico y efectos mutagénicos de los extractos orgánicos de las partículas transportadas por el aire en Santiago de Chile. Indoor Built Environ 5:155-164.



15. **Gil L, Adonis M, Cáceres D, Moreno G.** (1995) Impacto de la contaminación exterior en la calidad del aire de los espacios interiores. El caso del centro de Santiago. Rev Med Chil. 123(4):411-25. Spanish.
16. **Gil L, Adonis M, Silva M, Quiñones L, Salazar I** (1991) Agentes cancerígenos en el Smog de Santiago. Ambiente y Desarrollo Agosto, 1991.
17. **Gil L, Adonis M, Silva M, Vásquez J, Quiñones L** (1991) Genotoxicidad de extractos orgánicos obtenidos del material particulado del aire de Santiago de Chile. Rev. Chil. Enf. Respir. 7:216-222.
18. **Gil L, Irrarrázabal C, Daud P, Pena MP** (1993) Santiago de Chile, Ciudad de México y ciudades de Estados Unidos: Comparación de niveles de los principales contaminantes atmosféricos regulados. Ambiente y Desarrollo Diciembre, 1993.
19. **Irrarrázabal C, Gil L** (1993) Efecto de hidrocarburos aromáticos policíclicos y de extractos del material particulado del aire de Santiago en la síntesis de DNA y en el sistema monoxigenasa nuclear del hígado de rata. Rev. Chil. Cancerología 3:72-79
20. **López Bravo IM, Sepúlveda H, Valdés I.** (1997) Afecciones respiratorias agudas durante los primeros 18 meses de vida. Rev Panam Salud Pública 1(1):9-17.
21. **Ostro B, Eskeland GS, Sánchez JM, Feysioglu T** (1999) Air pollution and Health Effects: A Study of Medical Visits among children in Santiago, Chile. Env Health Perspec 107(1):69-73.
22. **Ostro B, Sánchez JM, Aranda C, Eskeland GS** (1996) Contaminación atmosférica y mortalidad; resultados de un estudio sobre Santiago, Chile.
23. **Oyarzún M, Pino P, Ortiz J, Olaeta I** (1998) Effect of atmospheric pollution on the respiratory system. Bio Res 31:361-366.
24. **Pino P, Walter T, Oyarzún M, Lozzof B, Romieu I.** (1998) Rapid decline of lead levels in infants following the introduction of unleaded gasoline in Santiago (CHILE). Fondecyt 195-0772.
25. **Pino Paulina, Oyarzún Manuel, Walter Tomás, von Baer Dietrich, Romieu Isabelle** (1998), Contaminación aérea intradomiciliaria en el área Sur-Oriente de Santiago. Revista Médica de Chile 1998; 126 : 367-374
26. **Quiñones L, Gil L.** (1995) Induction of rat hepatic P4501A1 by organic extracts from airborne particulate matter in Santiago, Chile. Xenobiotica. 25(1):81-9.
27. **Romero Hugo,** Julio 31-Agosto 5, (1995), Land Use Changes, Local Wind Systems and Air pollution in Santiago, Chile. Paper preparado para la International Geographical Union, Conferencia regional de los países del Caribe y Latino America, Havana, Cuba, p. 4, 10-11.

28. **Ruiz F, Videla LA, Vargas N, Parra MA, Trier A, Silva C** (1988) Air pollution impact on phagocytic capacity of peripheral blood macrophages and antioxidant activity of plasma among school children. Arch Environ Health 43(4):286-91.
29. **Salinas M, Vega J.** (1995) El efecto de la contaminación atmosférica externa en la mortalidad: un estudio ecológico sobre Santiago, Chile. World Health Stat Q 48(2):118-25.
30. **Sanhueza P, Vargas C, Jiménez J** (1999) Mortalidad diaria en Santiago y su relación con la contaminación atmosférica. Rev Med Chil 127(2):235-42.
31. **Tchernitchin A. N** (1996) Efectos diferidos de la exposición prenatal, neonatal o durante el desarrollo infantil a contaminantes ambientales.