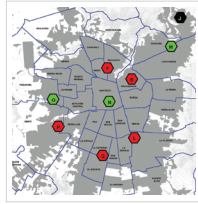


*Tercera parte*  
Políticas sectoriales



## *Capítulo 12*

Contaminación del aire en Santiago:  
estamos mejor que lo que creemos  
pero a mitad de camino

RICARDO KATZ

*En estos momentos, Santiago enfrenta una crisis urbana gigantesca: la contaminación ambiental ha llegado a límites sin precedentes [...].*

*Destacado profesional en un foro sobre Santiago, en 2001*

## I. INTRODUCCIÓN: ESTAMOS MEJOR QUE LO QUE CREEMOS

Santiago tiene fama de ser una de las ciudades más contaminadas del mundo. Pero esta creencia, si bien correcta, debe ponerse en el contexto apropiado. Sí, Santiago está contaminada; pero lejos de haber aumentado, la contaminación del aire ha disminuido persistentemente. Entre 1990 y 2000 el material particulado respirable (conocido como PM10) disminuyó en más de 30 por ciento, y su fracción más fina y dañina (conocida como PM2,5), en 40 por ciento, a pesar de que el número de vehículos creció de 550.000 a 1.300.000 y el consumo de energía se duplicó. Parte de la mejoría se la debemos a la renovación tecnológica y al gas natural, pero las políticas ambientales han sido determinantes. Este capítulo argumentará que el pronóstico para el futuro próximo es optimista, porque es perfectamente posible seguir mejorando la calidad del aire. Sin embargo, las medidas deberán ser cada vez más específicas y encontrarán oposición creciente de los afectados por ser más caras. Por eso, se necesitan diagnósticos bastante más precisos que los actuales y políticas costo-eficientes de incentivos directos a los emisores que sustituyan las medidas de *command and control* que predominan hoy en día.

¿Por qué tendemos a creer que la contaminación del aire va de mal en peor? Una explicación es que se trata de simple ignorancia, tal vez porque las autoridades no han sabido explicar lo que han hecho. Pero también es posible que ellas hayan sido víctimas de su propio éxito, porque las políticas de diagnóstico y control de la contaminación atmosférica se han adelantado a nuestro desarrollo económico.

En efecto, la experiencia muestra que los contaminantes son de primera, segunda y tercera generación. Los de primera generación son las partículas totales suspendidas en el aire (PTS), el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), y son típicos de países pobres que ocupan procesos de producción tecnológicamente anticuados (en el Recuadro 1 se describen los principales contaminantes). Estudios del Banco Mundial muestran que los países tienden a controlar este tipo de contaminación cuando su ingreso per cápita alcanza los 4.000 ó 5.000 dólares. Una vez superado este nivel de ingreso, la atención se desplaza a los contaminantes de segunda generación, el material particulado respirable (PM10), los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y el ozono (O<sub>3</sub>). El control de los contaminantes de tercera generación –el material particulado fino (PM2,5) y los tóxicos atmosféricos– es propio de países desarrollados.

**Recuadro 1** Los principales contaminantes y cómo afectan a la salud de las personas

*Las partículas.* Las partículas totales en suspensión (PTS) incluyen a todas las partículas en suspensión. Se componen de la fracción respirable o PM10, partículas de diámetro aerodinámico de hasta 10 micrones ( $\mu\text{m}$ ); y de aquellas partículas de diámetro entre 10 y 75  $\mu\text{m}$ . Por ser suficientemente pequeñas, las partículas del material particulado respirable (PM10) pueden ingresar al sistema respiratorio de las personas.

La fracción gruesa del material particulado respirable, es decir aquella parte del PM10 de diámetro entre 2,5  $\mu\text{m}$  y 10  $\mu\text{m}$ , está compuesta principalmente por polvo resuspendido, el cual es una mezcla de partículas de origen natural con partículas recirculadas de origen antropogénico<sup>1</sup>. Está compuesta en su mayoría por partículas de pH básico producto de combustión no controlada y de procesos de desintegración mecánica.

La fracción fina (PM2,5) incluye partículas de diámetro menor que 2,5  $\mu\text{m}$  y su origen es antropogénico. La mayor parte proviene directamente de procesos de combustión de vehículos diésel, calderas y otros procesos industriales; o bien de las reacciones de otros contaminantes gaseosos emitidos mayormente por vehículos de gasolina y por las fuentes ya mencionadas. Las partículas de diámetro menor que 2,5  $\mu\text{m}$  son, generalmente, ácidas e incluyen hollín y otros derivados de las emisiones vehiculares e industriales<sup>2</sup>. Otras sustancias que pueden estar presentes en las partículas son el plomo, el arsénico, el berilio, el cadmio, el mercurio, los sulfatos y los nitratos e hidrocarburos policíclicos aromáticos.

El daño a la salud producido por las partículas depende de su diámetro: a menor diámetro, mayor el potencial de daño a la salud humana. La fracción más gruesa de las PTS afecta a la salud menos que otros contaminantes. La mayoría de las partículas de diámetro mayor que 5  $\mu\text{m}$  se depositan en las vías aéreas superiores, la tráquea y los bronquios. Aquellas de diámetro menor tienen mayor probabilidad de depositarse en los bronquiolos y alvéolos. Una vez que las partículas han penetrado en el sistema respiratorio, su acción irritante se debe a su composición química y su toxicidad y, por otra parte, a la facilidad de absorber y adsorber otras sustancias en su superficie, produciéndose un efecto sinérgico que incrementa su agresividad.

El PM2,5 llega hasta los alvéolos pulmonares e ingresa directamente al torrente sanguíneo. Este contaminante aumenta la frecuencia de cáncer pulmonar, las muertes prematuras (de acuerdo a investigaciones recientes en Canadá asociadas a efectos cardíacos) y los síntomas respiratorios severos. También irrita los ojos y la nariz.

*El monóxido de carbono (CO):* El monóxido de carbono es el producto de la combustión incompleta de compuestos carbonados y de algunos procesos industriales y biológicos. En la práctica, gran parte proviene de emisiones de vehículos y de artefactos del hogar, tales como estufas, cocinas, humo de cigarrillo y calefones.

Dentro del cuerpo humano el monóxido de carbono desplaza al oxígeno y reacciona con la hemoglobina formando carboxihemoglobina. Así interfiere en el transporte de oxígeno al corazón, a otros músculos y al cerebro. Por esto, individuos con enfermedades coronarias se exponen a riesgos mayores cuando lo aspiran. Otros efectos de este contaminante es el aumento de la

<sup>1</sup> Los contaminantes de origen antropogénico son aquellos que resultan de las actividades humanas, y los contaminantes de origen natural se producen independientemente de ellas.

<sup>2</sup> La mayor parte de las emisiones de las fuentes industriales, domésticas y de transporte tienen tamaño de particulado menor que 2,5  $\mu\text{m}$ .

angina en pacientes susceptibles, la disminución de las funciones neuroconductuales y efectos perinatales, como menor peso del feto y retardo del desarrollo postnatal. Puede causar daños fisiológicos o incluso la muerte. Sin embargo, estos efectos extremos se presentan cuando las concentraciones son mucho mayores que las registradas en las atmósferas urbanas.

*Dióxido de azufre ( $SO_2$ ):* Este contaminante es el resultado de la oxidación del azufre que hay en los combustibles fósiles, tales como los petróleos, la gasolina, el petróleo diésel o el carbón. También lo emiten las fundiciones de minerales y otros procesos industriales que usan azufre. Durante su proceso de oxidación en la atmósfera, este contaminante forma sulfatos y se transforma en material particulado y aparece en las mediciones del material particulado respirable (PM10). Al mismo tiempo, en ambientes húmedos forma ácidos. La exposición a este contaminante es muy riesgosa y grave porque los sulfatos y ácidos derivados del  $SO_2$  ingresan directamente al sistema circulatorio a través de las vías respiratorias. Suele causar irritación de las vías respiratorias, provocando broncoconstricción y bronquitis obstructiva, y aumenta la incidencia de enfermedades pulmonares, especialmente en ancianos. También puede causar la muerte, pero cuando las concentraciones son muy superiores a las registradas en las atmósferas urbanas.

*El ozono ( $O_3$ ):* El ozono es un contaminante secundario de origen fotoquímico que se forma por la reacción entre óxidos de nitrógeno e hidrocarburos en presencia de la radiación solar. Los procesos fotoquímicos que crean el ozono son muy complejos y dependen de la concentración relativa de óxidos de nitrógeno e hidrocarburos, y de los distintos tipos de hidrocarburos presentes en las reacciones. Los síntomas que han sido reportados son: tos, dolor de cabeza, irritación de los ojos, la nariz y la garganta; dolor del tórax, incremento de mucosidad, estertores, obstrucción de las vías respiratorias, languidez, malestar y náuseas, y aumento de los ataques asmáticos.

*El dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ):* La mayoría de los óxidos de nitrógeno generados por el hombre se producen por la oxidación del nitrógeno atmosférico presente en los procesos de combustión a altas temperaturas. El contaminante generado en forma primaria es el monóxido de nitrógeno (NO), parte del cual se oxida rápidamente y se transforma en  $NO_2$  (casi el 90% del  $NO_2$  es inicialmente NO). Sus principales fuentes son las calderas, los procesos industriales y los vehículos motorizados. Irrita la garganta, causa tos, debilita las defensas pulmonares contra infecciones bacterianas, provoca daño al sistema mucociliar y participa en la producción de ozono. La suma del NO y el  $NO_2$  se denomina  $NO_x$  (óxidos de nitrógeno).

*Los compuestos orgánicos volátiles (COV):* Se componen de una gran variedad de sustancias químicas derivadas del carbono y muchas son dañinas. En conjunto son precursores de los contaminantes fotoquímicos y del material particulado secundario. Están presentes naturalmente en la atmósfera. Sin embargo, se los ha estudiado y analizado por su toxicidad, porque los más reactivos son importantes en la formación de oxidantes fotoquímicos, y por su importancia como precursores de partículas finas en áreas urbanas. A diferencia de otros contaminantes, cuyas emisiones se deben a fuentes bien específicas, los COV son emitidos prácticamente por todas las actividades, entre las cuales se pueden destacar las fuentes móviles, el almacenamiento y distribución de productos petrolíferos, la evaporación de solventes orgánicos, los residuos, la agricultura e industria alimentaria y los materiales de construcción, tales como pegamentos y paneles aislantes. Los principales problemas de salud causados por estos compuestos son cardiovasculares, cancerígenos y síntomas irritantes.

*El amoníaco ( $\text{NH}_3$ ):* El amoníaco es un gas más ligero que el aire, altamente irritante, incoloro y muy soluble. Su sabor es cáustico y su olor, penetrante; irrita los ojos y las vías respiratorias. Es absorbido por la parte superior de las vías respiratorias a través de las membranas mucosas. Se produce naturalmente en el suelo por bacterias, plantas y animales en descomposición y por los desechos de animales, de humanos y de emisiones vehiculares e industriales. También se produce en plantas químicas para la fabricación de abonos, textiles, plásticos, explosivos, en la producción de pulpa y papel, alimentos y bebidas, productos de limpieza domésticos, sales aromáticas, refrigerantes y otros. Las concentraciones altas de amoníaco queman la piel, los ojos, la garganta y los pulmones. En casos extremos pueden causar ceguera, dañar los pulmones e incluso provocar la muerte. Concentraciones más bajas causan tos e irritan la nariz y la garganta. Es un contaminante importante porque su participación en la formación de material particulado secundario alcanza a 17%.

*Los hidrocarburos (HC):* Los hidrocarburos son compuestos orgánicos que contienen carbono e hidrógeno en estado gaseoso. En presencia de la luz solar se combinan con óxidos de nitrógeno y participan en la formación del smog fotoquímico. Proviene principalmente de la combustión incompleta de combustibles y otras sustancias que contienen carbono; del procesamiento, distribución y uso de compuestos derivados del petróleo, tales como la gasolina y los solventes orgánicos; de los incendios, de las reacciones químicas en la atmósfera y de la descomposición bacteriana de la materia orgánica en ausencia del oxígeno. Los principales problemas de salud que causan son trastornos del sistema respiratorio y algunos hidrocarburos incluso pueden provocar cáncer.

*Los contaminantes primarios:* Son aquellos emitidos directamente por las fuentes: monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), hidrocarburos y los compuestos orgánicos volátiles y parte del PM10.

*Los contaminantes secundarios:* Son aquellos que, una vez emitidos, reaccionan en la atmósfera y se transforman en compuestos distintos. Ejemplos característicos son los sulfatos ( $\text{SO}_4$ ) emitidos como dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), o el ozono ( $\text{O}_3$ ), que se forma a partir de las reacciones entre los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), y los hidrocarburos (HC) en presencia de luz ultravioleta. Los contaminantes secundarios relevantes en Santiago son el ozono ( $\text{O}_3$ ) y los derivados de gases ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$ ) que se transforman en PM2,5 (sulfatos, nitratos).

Durante los años noventa las políticas ambientales colocaron a Santiago en una situación intermedia entre la segunda y la tercera generación, cuando el ingreso per cápita de Chile apenas superaba los US\$ 5.000. Debido a este adelanto relativo, Santiago es una de las pocas ciudades de países en desarrollo donde la contaminación —especialmente el PM10 y PM2,5— se mide consistentemente y el diagnóstico está bien hecho. Por eso, cuando se concluye que “Santiago es una de las ciudades más contaminadas del mundo”, los patrones de referencia son ciudades como Los Ángeles o Denver, cuyo desarrollo económico es varias veces superior, mientras que ciudades tanto o más contaminadas, como Bangkok, Beijing o Ciudad de México se excluyen porque su diagnóstico no es de calidad similar.

Es afortunado que las políticas ambientales se hayan adelantado al desarrollo económico. Pero implica que, de ahora en adelante, las acciones de control de la contaminación deberán ser más complejas, eficientes y mejor focalizadas, de lo contrario los costos crecerán y la tasa de mejora será menor. La razón, entre otras, es que los contaminantes de tercera generación como el PM2,5 son compuestos que, o bien son de emisión directa, o son producto de transformaciones de gases en partículas. Por lo anterior, las concentraciones ambientales dependen de emisiones directas e indirectas. Dicho de otra forma, para disminuir los contaminantes de primera y segunda generación basta con actuar sobre las emisiones directas —la “etapa fácil”—. La tercera etapa requiere también entender cómo algunas emisiones se transforman en *inmisiones*.

La mayor complejidad de los contaminantes implica que para seguir disminuyéndolos es indispensable mejorar las políticas en a lo menos tres dimensiones. Primero, hay que mejorar los diagnósticos. Los inventarios de emisiones que sustentan las políticas todavía son muy imprecisos. Por ejemplo, las mediciones de algunos contaminantes emitidos por industrias específicas incluidas en el plan de descontaminación actualmente vigente pueden presentar diferencias de órdenes de magnitud. Los diagnósticos imprecisos impiden establecer las prioridades correctas y, al favorecer los errores, encarecen las políticas.

En segundo lugar, desde el punto de vista ambiental Santiago no puede seguir considerándose como una sola ciudad. Hay comunas más contaminadas que otras, pero hasta el momento se trata como un todo indivisible no sólo a la ciudad sino que a toda la Región Metropolitana —tanto así que cuando se declara emergencia se restringe la circulación de vehículos en Alhué—. Esto es inapropiado. Por ejemplo, en 1999 cada una de las preemergencias y emergencias se decretaron porque la estación de Pudahuel superó los niveles permitidos por la norma, mientras que todas las restantes estaciones de medición registraban valores bajo estos niveles. Asimismo, en verano las condiciones climáticas son tales que los contaminantes se diluyen en la atmósfera. Por eso, el mismo nivel de emisiones genera concentraciones ambientales de contaminantes iguales a la mitad o menos en verano. Estas variaciones estacionales podrían aprovecharse para focalizar regulaciones. Por ejemplo, ciertas actividades industriales podrían trabajar a mayor ritmo durante verano y desplazar las mantenciones y vacaciones al invierno.

En tercer lugar, la experiencia nacional e internacional ha mostrado que las políticas de incentivos económicos directos a los emisores son más eficientes que las políticas indirectas que se basan en acciones de *command and control*. Sin embargo, y con la notable excepción del control de material particulado emitido por industrias, casi todas las medidas implementadas han sido de *command and control*.

En el transcurso de este capítulo exploraré la situación de la contaminación del aire en Santiago, discutiré sobre las políticas implementadas y aquellas que se han propuesto y terminaré con proposiciones para insertar las políticas de descontaminación en las políticas urbanas.

## II. CONTAMINACIÓN DEL AIRE: ¿DE QUÉ ESTAMOS HABLANDO?

La legislación chilena define “contaminación del aire” como la presencia en el ambiente público de sustancias, elementos o combinaciones de ellos, en concentraciones y permanencias superiores o inferiores, según corresponda, a las normas de calidad ambiental. De esta definición se pueden inferir varios aspectos que deben considerar las políticas públicas para disminuir la contaminación<sup>3</sup>.

*La contaminación atmosférica debe medirse en el ambiente público.* La contaminación dentro de oficinas o casas, aunque condicionada por la calidad del aire exterior, no compete a las políticas de control de la contaminación<sup>4</sup>. Esta delimitación del ámbito no implica que la contaminación residencial o laboral sea irrelevante —en algunos casos puede ser aún más importante que la contaminación del ambiente público—. Lo que han hecho la ley y sus instrumentos de gestión es definir el ámbito donde existen externalidades, las responsabilidades son imprecisas y los derechos de propiedad no están bien definidos<sup>5</sup>. Por contraste, en las casas y en las oficinas está claro quiénes son los responsables y afectados.

*Lo relevante es la inmisión pero se regulan las emisiones.* El éxito o fracaso relativo de una política de descontaminación se mide por la calidad del aire que respiramos —lo que se conoce por “inmisión”—. Sin embargo, mejorar la calidad del aire exige disminuir las emisiones de contaminantes. Por eso, las normas de calidad ambiental indican qué niveles de contaminación del aire son aceptables, pero las acciones afectan a los distintos emisores de contaminantes. Este punto es muy importante y conviene ahondar un poco más en él.

La contaminación atmosférica es una mezcla de elementos químicos y compuestos que se respiran en forma de gases y material particulado. Las fuentes contaminantes (v. g., chimeneas industriales, buses, automóviles, calefacciones residenciales o la quema de basura) emiten contaminantes, entre otros, el monóxido de carbono (CO), el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), el material particulado respirable (PM10) y parte del material particulado respirable fino (PM2,5). Algunos contaminantes, como por ejemplo el polvo en suspensión levantado por vehículos y el monóxido de carbono de la combustión incompleta, afectan a la calidad del aire directamente y en la misma forma bajo la cual fueron emitidos. Pero

<sup>3</sup> Lo que sigue se basa en Katz y Del Fávero (1993).

<sup>4</sup> La modificación del plan de descontaminación de la Región Metropolitana actualmente en trámite contempla normar la contaminación dentro de oficinas y hogares. Sin perjuicio de que pueda ser relevante hacerlo por razones de salud pública, Conama no tiene atribuciones en ese ámbito.

<sup>5</sup> Cuando, por ejemplo, un bus emite gases o una planta arroja azufre al aire, el emisor le impone costos al resto de la comunidad. Se le llama *externalidad* a la diferencia entre el costo social, que soporta toda la comunidad, y el costo privado, que soporta el contaminador.



otros reaccionan en la atmósfera y se transforman en compuestos o gases distintos. Éste es el caso de la fracción fina del material particulado fino o PM<sub>2,5</sub> (una parte del cual es emitida directamente y la otra, producto de reacciones de contaminantes en la atmósfera), y el conocido ozono (O<sub>3</sub>), los dos contaminantes secundarios más relevantes. Las emisiones de óxidos de azufre, nitrógeno, amoníaco y otros reaccionan en la atmósfera transformándose en material particulado extremadamente fino. Por su parte, el ozono es un gas que aparece cuando la radiación ultravioleta hace reaccionar a los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) e hidrocarburos (HC), fenómeno que ocurre predominantemente en primavera y verano.

Para cumplir con las normas ambientales se requiere alcanzar determinada calidad del aire, es decir, que las concentraciones de gases y partículas no sobrepasen los límites impuestos por la norma. Pero, como se dijo, para lograrlo se debe actuar sobre las emisiones. Esto complica las políticas porque la relación entre emisión de contaminantes e inmisión no es necesariamente lineal o uno a uno: la misma cantidad de emisiones puede afectar a la calidad del aire en mayor o menor medida, dependiendo del momento o lugar en que ocurran. Por ejemplo, en verano la capacidad de dilución de la atmósfera de Santiago duplica a la del invierno y la misma cantidad de contaminantes emitida en verano deteriora menos la calidad del aire. De modo similar, el ozono aparecerá sólo cuando la radiación ultravioleta sea abundante, pero éste es un problema en primavera y sobre todo en verano, mas no en otoño o invierno.

La relación incierta entre emisiones e inmisión impone exigencias a las políticas de descontaminación. No sólo es necesario conocer quién emite y cuánto. Para que las normas impuestas a los emisores consigan que mejore la calidad del aire también se necesita conocer dónde y cuándo se emite cada contaminante; cómo éstos se transforman en los gases y partículas que respiramos, y este conocimiento se debe traducir en regulaciones de emisión costo-eficientes. Como argumentaré más adelante, nuestro conocimiento es aún limitado e insuficiente para controlar los contaminantes de tercera generación.

Lo anterior también implica que las políticas de control de emisiones deben considerar las particularidades de cada contaminante. Una política puede reducir un contaminante y aumentar otro. Por ejemplo, el uso de gas natural en calderas y procesos disminuyó las emisiones de material particulado pero, si no se toman medidas complementarias, podría aumentar las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>). Una acción determinada además puede tener efectos positivos simultáneos. Por ejemplo, los convertidores catalíticos también han disminuido las emisiones de monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>). Porque requieren gasolina sin plomo, se sumó otro beneficio por la eliminación de ese elemento de toxicidad conocida.

*Los ejes de las políticas de descontaminación son las normas de calidad ambiental.* De acuerdo con la definición legal chilena, el objetivo de las políticas se fija en regulaciones de la calidad del aire, pero se delega en la autoridad administrativa la definición de normas de emisión concretas para lograr este objetivo.

El Cuadro 1 resume las normas primarias de calidad del aire<sup>6</sup>. Es necesario normar las concentraciones máximas en distintos intervalos de tiempo –una hora, 8 horas, un día,

<sup>6</sup> Se les dice “primarias” porque su objetivo es proteger la salud de la población.

**Cuadro 1** Normas primarias de calidad ambiental en Chile  
(en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

| Contaminante                            | Norma  | Decreto Supremo  |
|---|--|--|
| Partículas (PM10)                       | <i>24 horas:</i> 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; percentil 98 de concentraciones diarias durante un año.<br><i>Anual:</i> 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ ; promedio aritmético del promedio anual de tres años calendario sucesivos.   | Nº 59 del 25.05.98, modificado por el Nº 45 del 11.09.01.      |
| Monóxido de carbono (CO)                | <i>Una hora:</i> 30.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; promedio aritmético de tres años sucesivos del percentil 99 de los máximos diarios de concentraciones de una hora registrados durante un año calendario.<br><i>Promedio móvil de ocho horas:</i> 10.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ ; promedio aritmético de tres años sucesivos del percentil 99 de los máximos diarios de concentraciones de ocho horas registrados durante un año calendario. | Nº 115 del 10.09.02.   |
| Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )    | Norma primaria<br><i>24 horas:</i> 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; promedio aritmético de tres años sucesivos del percentil 99 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un año calendario.<br><i>Anual:</i> 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (anual); promedio aritmético del promedio anual de 3 años calendario sucesivos.   | Nº 113 del 06.03.03.   |
| Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ) | <i>Anual:</i> 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; promedio aritmético de concentración anual de tres años calendario sucesivos.<br><i>Una hora:</i> 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ ; promedio aritmético de tres años sucesivos del percentil 99 de los máximos diarios de concentración de una hora registrados durante un año calendario.   | Nº 114 del 06.03.03.   |
| Ozono (O <sub>3</sub> )                 | <i>Promedio móvil de ocho horas:</i> 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; promedio aritmético de tres años sucesivos del percentil 99 de los máximos diarios de concentración de ocho horas registrados durante un año calendario.<br><i>Una hora:</i> 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .  | Resolución 1.215 del 20.06.78<br>Minsal y Nº 112 del 06.03.03. |
| Plomo (Pb)                              | <i>Anual:</i> 0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; promedio aritmético de los valores de concentración anual de dos años sucesivos.  | Nº 136 del 06.01.01.   |

*Notas:* (1) Los decretos supremos son del Ministerio Secretaría General de la Presidencia. (2) Una “condición normal” es aquella en que la presión es de una atmósfera y la temperatura de 25 °C.

*Fuente:* Elaboración propia.

un año— para evitar los efectos agudos y crónicos generados por los distintos contaminantes regulados. Las normas primarias motivan, a su vez, pautas que regulan las emisiones de fuentes específicas, v. gr., la obligación de usar convertidores catalíticos, la prohibición de las chimeneas residenciales o las normas de emisión máxima para industrias.

La autoridad tiene bastante libertad para definir estas regulaciones de emisión. Por ejemplo, en el caso del material particulado eligió concentrarse en controlar la fracción fina (PM<sub>2,5</sub>), que no está normada a nivel de calidad ambiental pero forma parte del PM<sub>10</sub>, que sí lo está. Ésta es una decisión discrecional, pero no arbitraria, porque la fracción PM<sub>2,5</sub> es la más dañina para la salud. Sin embargo, las acciones más conocidas se toman cuando ocurren los así llamados “episodios de contaminación atmosférica”, situaciones temporales de alta concentración de contaminantes. Como se aprecia en el Cuadro 2, cuando las concentraciones de PM<sub>10</sub> sobrepasan los 195 microgramos por metro cúbico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) se decreta alerta ambiental y la autoridad adopta medidas adicionales de control de emisiones, tales como la restricción vehicular adicional o la paralización de industrias. Estas acciones se van haciendo crecientemente restrictivas a medida que las concentraciones aumentan y se pasa sucesivamente a preemergencias y emergencias. En principio, las concentraciones excesivas del resto de los contaminantes normados también podrían gatillar episodios, pero por el momento no sucede en la práctica porque sus concentraciones no son tan altas.

Cuando se decreta un episodio de PM<sub>10</sub>, se miden las concentraciones en períodos de 24 horas, porque ése es el lapso normado, pero cuando se trata de otros contaminantes, como el ozono (O<sub>3</sub>), el período es de una hora, y de ocho cuando se trata de monóxido de carbono. Los niveles que gatillan episodios se adoptaron por convención y no se han deducido de análisis costo-beneficio alguno.

La calidad del aire para cada concentración de PM<sub>10</sub> se resume con el ICAP, siglas de “índice de calidad del aire para material particulado”. El ICAP es una función matemática que permite presentar distintos niveles de contaminación ambiental de manera coloquial. Originalmente cada contaminante se mide en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . El índice normaliza en 100 la cantidad que cumple exactamente con la norma, y le asigna valor 500 a la concentración a partir de la cual se registrarían “muertes incrementales”, vale decir, más muertes que las estadísticamente esperadas para ese día<sup>7</sup>. Los valores intermedios se interpolan linealmente. El ICAP de Santiago fue elaborado a partir de los trabajos teóricos de Ott y Thom (1985)<sup>8</sup>.

Las normas de calidad ambiental no son inmutables. Pueden cambiar y hacerse más o menos estrictas a medida que se cuente con más información o que cambien las preferencias sociales. Pero en cualquier caso es importante notar que la definición legal chilena y las normas ambientales son similares a las de otros países, particularmente Estados Unidos. Más aún, es interesante destacar que, como se muestra en el Cuadro 3, las concentraciones de contaminantes que gatillan emergencias y preemergencias en Estados Unidos y en México son más altas que en Chile. Por esto, no se justifica, sin una evaluación seria e informada, disminuir los actuales umbrales que definen los episodios de contaminación

<sup>7</sup> Investigaciones muestran que no existe un umbral a partir del cual se registren muertes incrementales, sino que la correlación entre PM<sub>10</sub> y muertes incrementales es positiva en todo el rango de valores de concentración mayores que cero. Véase Cifuentes (1996), Cifuentes *et al.* (1999), y Ostro *et al.* (1996).

<sup>8</sup> Véase también Katz y Benítez (2000).

**Cuadro 2** Niveles de contaminación por PM10 a los cuales se declaran condiciones de excepción en Santiago

| Nivel            | PM10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | ICAP                            |
|------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| 1: Alerta        | 195-239                       | $200 \leq \text{ICAP} \leq 300$ |
| 2: Preemergencia | 240-329                       | $300 \leq \text{ICAP} \leq 500$ |
| 3: Emergencia    | 330 o más                     | $500 <$                         |

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 3** Estados de emergencia ambiental y su equivalencia en ICAP chileno

|               | Chile | EPA y California | México |
|---------------|-------|------------------|--------|
| Alerta        | 200   | 544              | -      |
| Preemergencia | 300   | 700              | 476    |
| Emergencia    | 500   | 878              | 724    |

Fuente: Conama, "Antecedentes técnicos para la revisión de los niveles que definen situaciones de emergencia por material particulado respirable".

atmosférica, contrariando lo que se suele argumentar cada invierno. En todo caso, porque la correlación entre contaminación por PM10 y PM2,5 y mortalidad es positiva, es altamente recomendable estudiar los costos y beneficios que acarrearía cambiar los niveles que gatillan las emergencias y, simultáneamente, la efectividad de las medidas implementadas. No se gana nada con decretar todo tipo de prohibiciones si éstas no son efectivas para disminuir los niveles de contaminación. Es costo sobre costo.

*En Chile las normas ambientales son determinadas por las autoridades administrativas.* En Estados Unidos, país del cual copiamos nuestras normas, la definición de metas de calidad ambiental es asunto eminentemente político. Una vez que los políticos definen los niveles de riesgo aceptables para la salud (v. gr., el riesgo de una muerte adicional, en un grupo etéreo definido, por causa de una concentración dada de un determinado contaminante), los técnicos definen normas específicas para cada contaminante.

El Congreso chileno no elabora este tipo de directrices. Más aún, cuando se analizó este punto durante la discusión de la Ley de Bases del Medio Ambiente entre 1992 y 1994, los parlamentarios argumentaron que proponer cualquier riesgo distinto de cero era un suicidio político y, por ende, se negaron a recomendar niveles de riesgo aceptables y le endilgaron el problema a las autoridades administrativas, quienes deben determinar las normas de calidad ambiental. Ésta es una carencia importante de nuestra legislación, porque el resultado es que las normas de calidad ambiental se copian y no consideran el contexto global de nuestro país.

### III. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA REGIÓN METROPOLITANA

#### III.1. Qué y cómo se mide

La contaminación del aire se mide sistemáticamente recién desde mediados de los años setenta. Al principio se usaba una red manual, que fue sustituida a fines de los ochenta por una red automática<sup>9</sup>. Como se aprecia en el Plano 1 y se describe en el Recuadro 2, en 1988 la red estaba compuesta por las estaciones B (Providencia con Seminario), F (Av. La Paz), N (Parque O'Higgins) y M (Estadio Corfo en Las Condes). En 1997 la cobertura de la red se extendió con las estaciones L (La Florida), O (Pudahuel), P (Cerrillos) y Q (El Bosque), sumando ocho en total. Cada una mide monóxido de carbono (CO), PM10, PM2,5, ozono (O<sub>3</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), monóxido de nitrógeno (NO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y variables meteorológicas, tales como velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad y presión. Adicionalmente, existen estaciones auxiliares que sirven para controlar la calidad del aire o para observar situaciones especiales: una estación que mide ozono (O<sub>3</sub>) al sur de la cuenca, a la que se le conoce por estación I9; la estación G, que sirve de control de la calidad de las mediciones del resto de las estaciones<sup>10</sup>; y la estación conocida por J, que sólo medía PM10 en La Dehesa.

A pesar de la cobertura más amplia, nuestro conocimiento sobre la contaminación del aire en Santiago todavía es incompleto. A una misma hora la calidad del aire puede ser muy distinta en diferentes lugares de la ciudad. Pero la cobertura actual es insuficiente para caracterizar estas diferencias espaciales porque hay zonas amplias, tales como la zona poniente, la norte y la sur de la ciudad, que no están cubiertas apropiadamente. Al mismo tiempo, existe todavía considerable incertidumbre acerca de la composición química del PM10 y el PM2,5.

Esto es de suma relevancia porque las imprecisiones disminuyen la efectividad de las acciones de control y las encarecen. Un caso particularmente notorio son los episodios de contaminación atmosférica. Como verá líneas abajo, en la mayoría de los casos, las preemergencias y emergencias ambientales se decretan porque un par de estaciones, y particularmente la de Pudahuel, sobrepasan los umbrales permitidos, mientras que la calidad del aire en las restantes estaciones es menos mala e incluso buena. Sin embargo, las medidas restrictivas se aplican por parejo en toda la Región Metropolitana. En la actualidad no se sabe a ciencia cierta por qué la concentración de material particulado es sistemáticamente mayor en Pudahuel ni cuán grande es el área que abarca esta singularidad. Si fuera consecuencia de emisiones o fenómenos locales, obviamente deberían controlarse con acciones locales.

#### III.2. Evolución de la calidad del aire: la inmisión

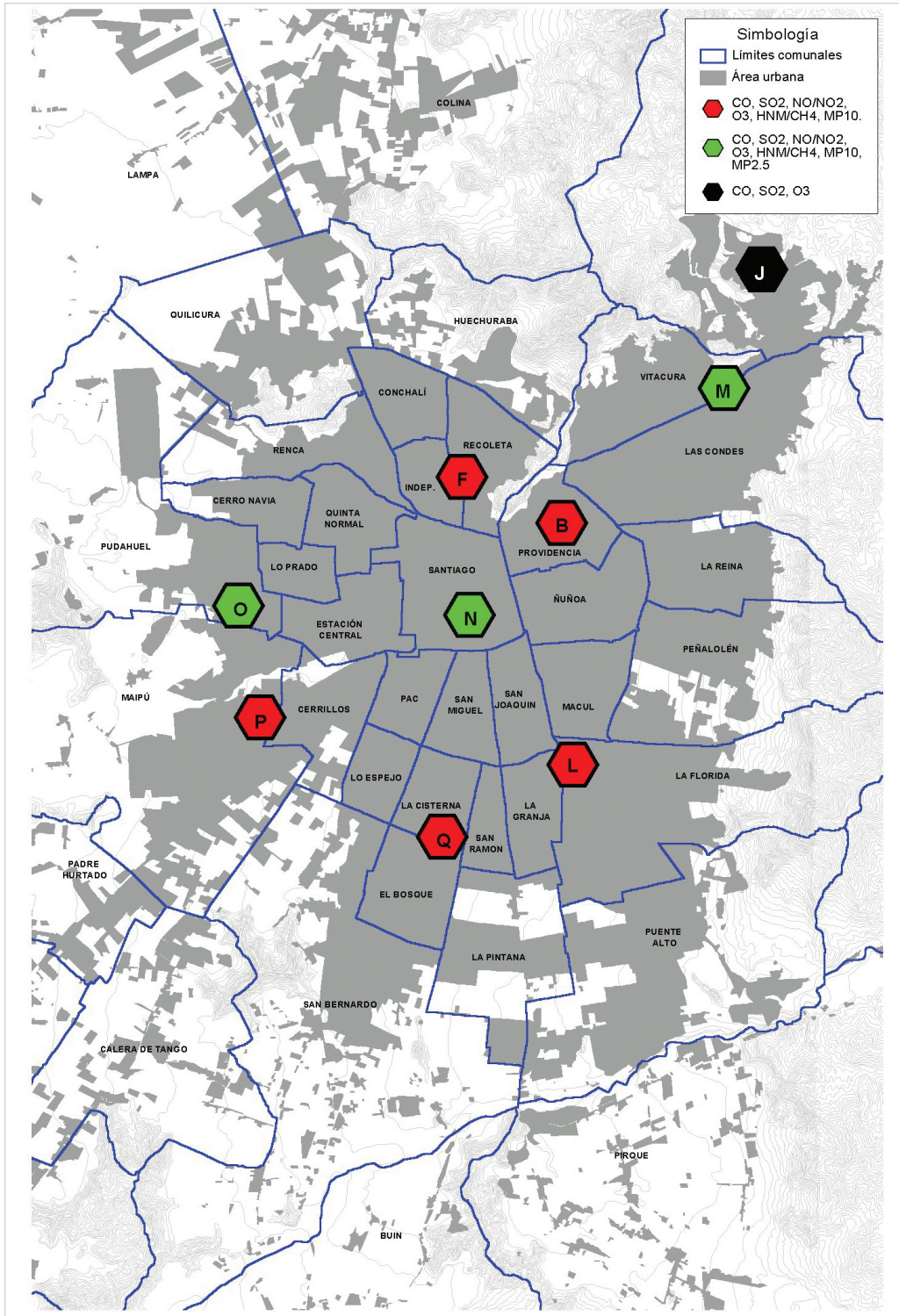
En vista de la discusión en líneas arriba, el análisis se centrará en la evolución de la contaminación durante las últimas dos décadas. Utilizaré la información de las estaciones

<sup>9</sup> Es decir, cada estación de medición transmite los datos sin que sea necesario retirarlos *in situ*.

<sup>10</sup> Después de haber funcionado en Cerrillos, fue trasladada a Cerro Navia, donde se utiliza para validar la información de Pudahuel.



Plano 1 La red de medición de la contaminación



**Recuadro 2** Las redes de medición de la contaminación

*Red MACAM 1:* Esta red automática data de 1988 y es la fuente de información histórica sobre contaminación en Santiago. Estaba compuesta por cuatro estaciones monitoras fijas (las que se denominan, sin gran originalidad, A, B, C y D); una estación monitora móvil (M), pero que siempre ha operado fija dentro del Estadio Corfo, en Las Condes; una estación meteorológica, y una estación central de almacenamiento y control de la información.

La ubicación de las estaciones era la siguiente:

- Monitora fija A: plaza Gotuzzo, entre Moneda y Bombero Salas, detrás del edificio del Ministerio de Hacienda, en calle Teatinos. Esta estación fue retirada en 1996 porque se construyó un edificio que la obstruía y limitaba su representatividad.
- Monitora fija B: Providencia 200, a la altura de la calle Seminario.
- Monitora fija C: avenida La Paz 1003, Hospital Psiquiátrico.
- Monitora fija D: Parque O'Higgins, plaza Ercilla con Tupper.
- Monitora móvil M: dentro del Estadio Corfo en Las Condes.

Como se puede ver, las estaciones fijas A, B, C y D fueron ubicadas rodeando el centro de la ciudad dentro de un radio aproximado de 3,5 kilómetros. Las mediciones que entrega cada estación de monitoreo se consideran representativas de la calidad del aire de la zona que las rodea dentro de un radio aproximado de dos kilómetros.

Las estaciones históricas miden continuamente los siguientes contaminantes gaseosos: monóxido de carbono (CO), anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>), los óxidos de nitrógeno que son el óxido nítrico (NO), el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y la suma de ambos NO<sub>x</sub> (NO+NO<sub>2</sub>), ozono (O<sub>3</sub>) e hidrocarburos totales (HCT). Sólo en la estación M se mide el metano (CH<sub>4</sub>), pudiéndose, por lo tanto, calcular la fracción no metánica de los hidrocarburos totales (HNM).

Las estaciones de monitoreo B, C, D, M y la meteorológica miden en forma continua, además, la temperatura, la humedad relativa (excepto meteorológica) y la velocidad y dirección del viento. Además la estación meteorológica mide la radiación solar (radiación global y radiación neta), la velocidad del viento en forma tridimensional y la estructura de la atmósfera con un sondeador acústico (Sodar).

*Red MACAM 2:* La red MACAM 2 está compuesta por ocho estaciones, cuatro históricas y cuatro que fueron instaladas en 1997, y su ubicación se aprecia en el Plano 1. De esta forma, la red está conformada actualmente por las siguientes estaciones:

- Estación B (Providencia): Providencia con Seminario.
- Estación F (Av. La Paz): Av. La Paz 850.
- Estación N (Parque O'Higgins): interior Parque O'Higgins.
- Estación M (Las Condes): Av. Las Condes 11756.
- Estación L (La Florida): Alonso de Ercilla 1270.
- Estación O (Pudahuel): El Lazo 8667.
- Estación P (Cerrillos): Salomón Sack 1376.
- Estación Q (El Bosque): Riquelme 155.

Las estación F corresponde a la antigua estación C, y la estación N a la antigua estación D; ambas fueron trasladadas a corta distancia. Las estaciones L, O, P y Q fueron agregadas en 1997. Cada una de las cuatro estaciones instaladas en 1997 mide en forma continua los contaminantes más importantes: monóxido de carbono (CO), anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>), los óxidos de nitrógeno —el óxido nítrico (NO), el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), la suma de ambos (NO<sub>x</sub>), ozono (O<sub>3</sub>), PM10 y PM2,5, así como algunos contaminantes no regulados en Chile, tal como hidrocarburos no metánicos y metano (NMH/CH<sub>4</sub>). También se miden variables meteorológicas básicas de superficie: v. gr., temperatura, humedad del aire, velocidad y dirección del viento.

históricas (B, F, N y M), que operan desde 1988, y extrapolaré los años previos usando lo que encontraron algunos estudios sectoriales.

Al analizar la evolución histórica de las estaciones históricas se comprueba que las fuentes de información con respecto a dichas mediciones de material particulado son distintas, lo que no las hace directamente comparables. Las mediciones con Teom y dicotómicas muestran valores diferentes, por lo que al analizar los días de superación de norma, alertas, preemergencias y emergencias, difieren según la fuente considerada. Es por esta razón que en cada caso se especifica la fuente utilizada.

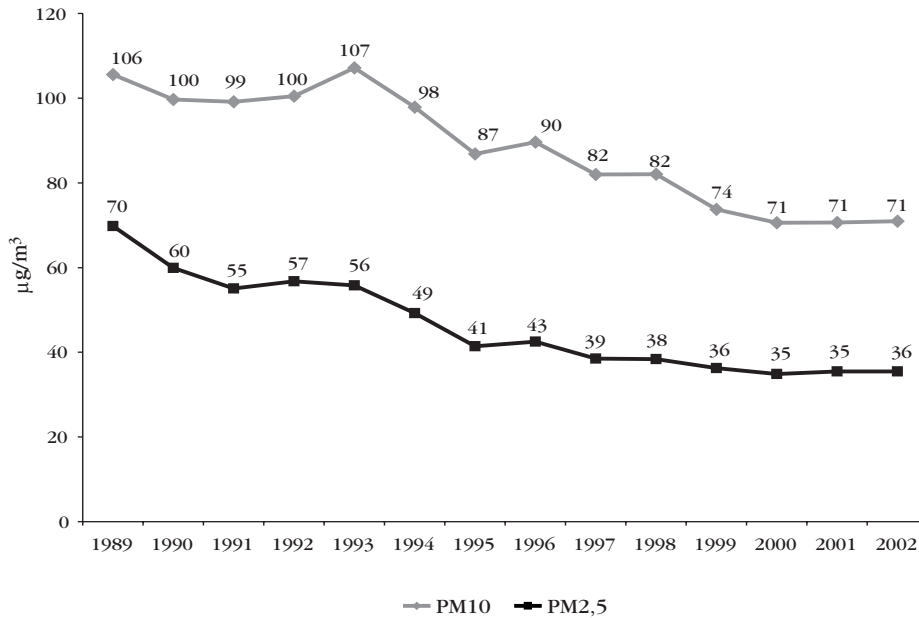
El Gráfico 1 muestra la evolución de la concentración promedio anual (la media aritmética de los promedios diarios) de PM10 y PM2,5 en Santiago entre 1989 y 2002. Se aprecia que el PM10 cayó de 106 µg/m<sup>3</sup> en 1989 a 71 µg/m<sup>3</sup> en 2000, estabilizándose hasta 2002. En otras palabras, en once años el PM10 cayó en un tercio, a pesar de que el número de vehículos y el consumo de energía se duplicaron.

La caída de la contaminación es más significativa aún. En efecto, como se aprecia en el Gráfico 1, el PM2,5 cayó a casi la mitad, desde 70 µg/m<sup>3</sup> en 1989 hasta 36 µg/m<sup>3</sup> en 2002. Por eso, mientras en 1989 dos tercios del PM10 correspondían a fracción fina, en 2002 la proporción había caído a la mitad. Esto muestra cuán efectivas pueden ser las políticas adecuadamente focalizadas. Conama decidió concentrar sus esfuerzos en regular las fuentes emisoras de PM2,5. Se retiraron los buses diésel antiguos, se impusieron normas de emisión más estrictas para los nuevos autobuses diésel, se redujo el uso de la gasolina con plomo, se desarrolló diésel con menor contenido de azufre, se redujeron las emisiones industriales y se controló el uso de leña como combustible residencial.

Detrás de los promedios anuales podrían esconderse los episodios críticos —aquellos días en que las concentraciones de contaminantes sobrepasan los límites tolerables—, pero los días que están sobre la norma (vale decir, aquellos en que la concentración de PM10 sobrepasa los 150 µg/m<sup>3</sup>) también han caído drásticamente. Como se aprecia en el Cuadro 4, en 1989 la norma se sobrepasó en alguna de las cuatro estaciones históricas en 80 días y en 2002 en apenas 18. Cuando se agregan las cuatro estaciones que entraron en funcionamiento



**Gráfico 1** Promedio de concentraciones diarias de PM10 y PM2,5



Fuente: Elaboración propia basada en mediciones dicotómicas en estaciones históricas.

en 1997, los días sobre la norma aumentan un tanto, como se aprecia en la columna “Total red”, pero la tendencia desde 1997 es claramente decreciente: los días en que se superó la norma disminuyen de 95 en 1997 a 45 en 2002. No es sorprendente entonces que el número de preemergencias y emergencias haya caído desde 28 y 9 en 1989, hasta ninguna en ambos casos para 2002 en las estaciones históricas. Para “Total red” la disminución de preemergencias y emergencias es de 23 y 1 en 1997 a 4 y 0 en 2002, respectivamente.

La evolución del valor máximo alcanzado por la concentración diaria de PM10 confirma lo anterior. Como se aprecia en el Gráfico 2, hasta 1993 la concentración diaria máxima registrada en el año superaba regularmente los 400 µg/m³. A partir de 1993 este máximo cayó por debajo de los 400 µg/m³ y, a partir del año 2000, de los 300 µg/m³ y llega a 262 µg/m³ en 2002, considerando la red total (con todas las estaciones), por lo cual si se toman en cuenta solamente las estaciones históricas (lo que en la serie es comparable hasta 1996), es de 217 µg/m³ en 2002. Es inconveniente extrapolar linealmente, ya que siempre la meteorología podrá sorprendernos, por más que hayamos disminuido las emisiones. Pero es evidente que se trata de un mejoramiento apreciable.

Lo que ocurrió a partir de 1990 es parte de una tendencia de más largo plazo. Como se dijo, existen mediciones sistemáticas de PM10 sólo desde 1988 y de PM2,5 apenas desde 1997. Sin embargo, las partículas totales en suspensión (PTS) se miden desde mucho antes y se sabe que durante la segunda mitad de los setenta alcanzaron niveles máximos

**Cuadro 4** Número de días en que se superó la norma de PM10 (1989-2002)

|      | B  | F  | N   | M  | L  | O  | P  | Q  | Total red histórica | Total red |
|------|----|----|-----|----|----|----|----|----|---------------------|-----------|
| 1989 | 35 | 59 | 66  | 21 | -  | -  | -  | -  | 80                  | -         |
| 1990 | 58 | 63 | 81  | 9  | -  | -  | -  | -  | 93                  | -         |
| 1991 | 46 | 36 | 55  | 9  | -  | -  | -  | -  | 71                  | -         |
| 1992 | 52 | 52 | 61  | 13 | -  | -  | -  | -  | 76                  | -         |
| 1993 | 61 | 59 | 100 | 22 | -  | -  | -  | -  | 110                 | -         |
| 1994 | 49 | 54 | 82  | 11 | -  | -  | -  | -  | 92                  | -         |
| 1995 | 20 | 33 | 53  | 8  | -  | -  | -  | -  | 57                  | -         |
| 1996 | 27 | 44 | 60  | 14 | -  | -  | -  | -  | 68                  | -         |
| 1997 | 17 | 46 | 62  | 16 | 36 | 68 | 75 | 63 | 67                  | 95        |
| 1998 | 8  | 31 | 46  | 4  | 70 | 51 | 42 | 46 | 49                  | 86        |
| 1999 | 2  | 10 | 22  | 1  | 34 | 40 | 19 | 33 | 24                  | 60        |
| 2000 | 2  | 11 | 22  | 0  | 21 | 39 | 15 | 20 | 26                  | 52        |
| 2001 | 2  | 5  | 12  | 0  | 6  | 22 | 6  | 8  | 13                  | 30        |
| 2002 | 1  | 10 | 18  | 0  | 8  | 32 | 16 | 21 | 18                  | 45        |

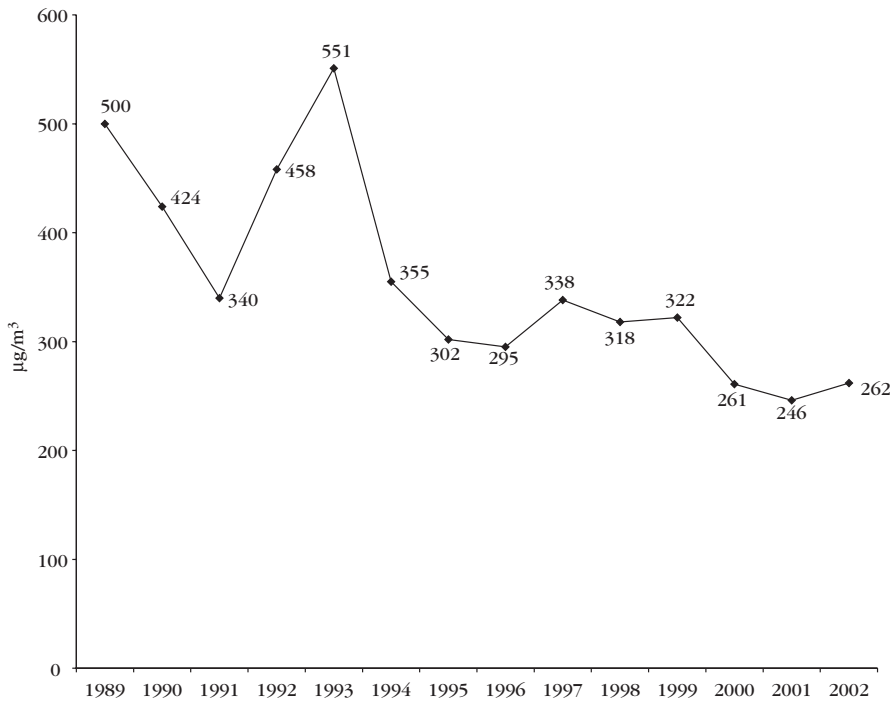
*Notas:* (1) B: Providencia; F: Av. La Paz; N: Parque O'Higgins; M: Las Condes; L: La Florida; O: Pudahuel; P: Cerrillos; Q: El Bosque. (2) Las estaciones B, F, N y M miden la contaminación desde 1988. Las estaciones L, O, P y Q desde 1997. (3) "Total red histórica" indica el total de días en el año respectivo en que al menos una de las cuatro estaciones históricas sobrepasó la norma. (4) "Total red" indica el número de días en que al menos una de las ocho estaciones sobrepasó la norma.

*Fuente:* Elaboración propia. Datos dicotómicos hasta 1996 y datos medidos con Teom desde 1997.

cercanos a los  $1.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (promedio de 24 horas). Suponiendo que la mitad de esas partículas eran PM10, como concluyó, por ejemplo, el estudio conjunto del Ministerio de Salud y la Universidad de Chile (1983), podemos deducir que este contaminante alcanzaba concentraciones del orden de  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en episodios críticos. Como se aprecia en el Gráfico 2, tales niveles se superaron apenas dos veces entre 1989 y 2002 (en 1989 y 1993). Esto confirma que las concentraciones ambientales máximas de material particulado han disminuido considerablemente en las últimas décadas.

La mejora de los índices de contaminación contrasta con la percepción de muchos santiaguinos, quienes creen que Santiago está cada vez más contaminado. ¿Por qué tienen una percepción tan equivocada? Una posible explicación es que con el aumento del número de estaciones en 1997 y, por lo tanto, del área monitoreada, ha sido posible caracterizar mejor la calidad del aire de Santiago. La percepción negativa se debería a que en la actualidad se dispone de datos de áreas que antes no eran cubiertas por monitores o que lo han sido por monitores que no son tan buenos. Una explicación complementaria es que en Chile sólo se norma el PM10, por lo que las disminuciones proporcionalmente mayores de PM2,5 en gran medida pasan desapercibidas. La apreciable caída del PM2,5 seguramente llevó a mejoras sustanciales de la salud.

**Gráfico 2** Concentraciones máximas diarias de PM10, 1989-2002



*Nota:* Desde 1989 hasta 1996, datos dicotómicos considerando estaciones históricas. Desde 1997 hasta 2002, datos medidos por Teom considerando la red ampliada.

*Fuente:* Elaboración propia.

Con todo, los importantes avances de los últimos 20 años todavía son insuficientes para cumplir con las normas de PM10. La norma anual (es decir, la concentración promedio diaria anual) es de 50 µg/m³, mientras que, como se aprecia en el Gráfico 1, los niveles actuales son de poco más de 70 µg/m³. La norma diaria dicta que la concentración máxima en un día no puede sobrepasar los 150 µg/m³ pero, como se aprecia en el Gráfico 2, se llega hasta más de 200 µg/m³. En el caso de los episodios críticos se requiere que las concentraciones máximas diarias se reduzcan en 8 por ciento para eliminar las preemergencias; para que no ocurran alertas, la reducción de los máximos diarios debe ser de 34 por ciento.

### III.3. Los responsables de la contaminación: emisores

Si bien finalmente importa lo que respiramos –la inmisión–, las políticas de control de la contaminación atribuyen las partículas y gases presentes en la atmósfera a las fuentes que emiten estos contaminantes, y son indispensables para dar las respuestas a las preguntas centrales de todo plan de descontaminación: ¿quiénes deben reducir sus emisiones y en qué magnitud?

Sin embargo, no es posible señalar los “responsables” directos de los distintos contaminantes presentes en la atmósfera en un momento dado. Ya expliqué que las emisiones reaccionan en la atmósfera y que los gases emitidos por una fuente pueden transformarse en material particulado secundario, o en otros gases distintos de los emitidos<sup>11</sup>. Esta contaminación secundaria no siempre se manifiesta en el mismo lugar de la emisión y a veces aparece varias horas después. Por otro lado, si bien los inventarios de emisiones normalmente distinguen entre gases y material particulado, pueden ocurrir traspasos entre estas dos categorías en la atmósfera. Por ejemplo, en los casos del PM10 o del PM2,5, las partículas de mayor tamaño o peso sedimentan antes y además existirá generación de partículas secundarias. Por estas razones, la relación entre las emisiones originales y las concentraciones ambientales observadas no es uno a uno.

A todo lo anterior se suma que los inventarios de emisión son imprecisos, a veces considerablemente: la experiencia internacional indica que los errores pueden ser de magnitud. Por esto se deben corregir continuamente. Esto es de la mayor relevancia, porque cuando se les atribuyen contaminantes a quienes no son responsables, los programas de descontaminación no sólo resultan ineficaces sino que les imponen costos. En Santiago los inventarios todavía son más imprecisos que lo justificable por meras razones técnicas y, por lo tanto, aún queda mucho por mejorar.

Los inventarios de 1997 y 2000, cuyos resultados se resumen en los Cuadros 5 y 6, sirven para ilustrar las consecuencias de los diagnósticos imprecisos y lo necesarias que son las evaluaciones costo-beneficio. Como se vio líneas arriba, todavía no se cumple la norma de PM10. El Cuadro 5 (inventario 1997) muestra que el polvo resuspendido, levantado principalmente por los vehículos, es responsable de casi el 80 por ciento del PM10. Al mismo tiempo, según el inventario de 2000 (Cuadro 6), las emisiones directas del transporte (que salen por el tubo de escape) corresponden al 56 por ciento de las emisiones de material particulado no resuspendido. Se concluye que el transporte es claramente responsable de gran parte de las emisiones de PM10; si no se las disminuye, es imposible cumplir con la norma, aun si los restantes emisores, tales como industrias u hogares, disminuyeran sus emisiones y cumplieran sus metas. Es más, si no se controlan las emisiones de polvo resuspendido, tampoco podrían cumplirse las metas, aunque todas las restantes emisiones lleguen a cero. Esta discusión es la base de las políticas de control de la contaminación atmosférica y de su influencia sobre las políticas urbanas. La reducción de emisiones debe depender de la excedencia de la norma. Si la norma se excede en 100 por ciento, las emisiones totales deben reducirse a la mitad.

Pero no es evidente cómo proceder. Para comenzar, el inventario que se muestra en el Cuadro 5 sobrestima el aporte del polvo resuspendido a la inmisión de PM10, porque una buena parte de estas emisiones sedimenta muy cerca del lugar de emisión y por lo tanto no la miden las estaciones monitoras. El efecto es apreciable, pues se estima que una vez hecho el ajuste, la participación en la inmisión del polvo levantado por vehículos es sólo 30 por ciento.

---

<sup>11</sup> Según la literatura y estudios específicos realizados en Santiago, el material particulado secundario es responsable de más de la mitad de las concentraciones de PM2,5.

**Cuadro 5** Inventario de emisiones de la Región Metropolitana, 1997  
(en toneladas anuales)

| Tipo fuentes               | Fuente                           | PM10          | CO             | NO <sub>x</sub> | COV           | SO <sub>2</sub> |
|----------------------------|----------------------------------|---------------|----------------|-----------------|---------------|-----------------|
| Fijas                      | Procesos industriales            | 1.467         | 1.222          | 5.391           | 65            | 7.827           |
|                            | Calderas industriales            | 1.486         | 2.791          | 5.075           | 165           | 8.735           |
|                            | Calderas de calefacción          | 190           | 241            | 418             | 9             | 427             |
|                            | Panaderías                       | 33            | 49             | 75              | 1             | 49              |
|                            | <i>Total fuentes fijas</i>       | <i>3.176</i>  | <i>4.303</i>   | <i>10.959</i>   | <i>240</i>    | <i>17.038</i>   |
| Otras                      | Combustión residencial (1)       | 1.359         | 5.134          | 1.567           | 3.543         | 975             |
|                            | Evaporación de COV (2)           | -             | -              | -               | 14.076        | -               |
|                            | Solventes de uso doméstico       | -             | -              | -               | 1.316         | -               |
|                            | Distribución de combustibles (3) | -             | -              | -               | 4.959         | -               |
|                            | Emisiones biogénicas             | -             | -              | 218             | 8.722         | -               |
|                            | Incendios forestales             | 1.467         | 9.083          | 140             | 873           | -               |
|                            | Quemas registradas e ilícitas    | 65            | 410            | 1               | 74            | -               |
| <i>Total otras fuentes</i> | <i>2.891</i>                     | <i>14.627</i> | <i>1.926</i>   | <i>33.563</i>   | <i>975</i>    |                 |
| Móviles                    | Vehículos particulares           | 225           | 113.123        | 9.478           | 13.575        | 277             |
|                            | Vehículos comerciales            | 326           | 62.810         | 5.292           | 7.560         | 411             |
|                            | Taxis                            | 54            | 25.628         | 1.947           | 2.971         | 111             |
|                            | Camiones                         | 953           | 18.859         | 8.727           | 2.759         | 1.348           |
|                            | Buses                            | 1.173         | 4.854          | 5.490           | 1.322         | 1.010           |
|                            | Motocicletas                     | -             | 718            | 9               | 229           | -               |
|                            | <i>Total fuentes móviles</i>     | <i>2.731</i>  | <i>225.992</i> | <i>30.943</i>   | <i>28.416</i> | <i>3.157</i>    |
|                            | Subtotal                         | 8.798         | 244.922        | 43.828          | 62.219        | 21.170          |
| Polvo                      | Calles pavimentadas              | 28.524        | -              | -               | -             | -               |
|                            | Calles sin pavimentar            | 4.462         | -              | -               | -             | -               |
|                            | <i>Total polvo resuspendido</i>  | <i>32.986</i> | -              | -               | -             | -               |
|                            | Total                            | 41.784        | 244.922        | 43.828          | 62.219        | 21.170          |

*Notas:* (1) Emisiones por combustión de leña, kerosene, gas licuado y gas de cañería en residencias. (2) Incluye lavasecos, talleres de pintado de autos y uso de pintura en casas y edificios. (3) Corresponde a emisiones por evaporación en grandes estanques de almacenamiento en servicentros y expendios de gasolina.

*Fuente:* Conama Región Metropolitana.

**Cuadro 6** Inventario de emisiones de la Región Metropolitana, 2000  
(en toneladas anuales)

| Tipo de fuente             | MP           | CO             | NO <sub>x</sub> | COV           | SO <sub>2</sub> | NH <sub>3</sub> |
|----------------------------|--------------|----------------|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|
| Fijas combustión           | 304          | 990            | 4.045           | 87            | 2.536           | 97              |
| Fijas procesos             | 739          | 5.514          | 4.129           | 4.041         | 4.065           | 104             |
| Residenciales              | 328          | 888            | 1.392           | 30.309        | 239             | 2.002           |
| Otras estacionarias        | 534          | 4.322          | 310             | 20.926        | 16              | 26.213          |
| <i>Total estacionarias</i> | <i>1.905</i> | <i>11.714</i>  | <i>9.876</i>    | <i>55.363</i> | <i>6.856</i>    | <i>28.416</i>   |
| Buses                      | 1.208        | 6.020          | 20.428          | 2.478         | 1.507           | 5               |
| Camiones                   | 810          | 3.333          | 9.209           | 2.388         | 895             | 5               |
| Livianos catalíticos       | 172          | 34.840         | 8.778           | 4.601         | 441             | 915             |
| Livianos no catalíticos    | 53           | 127.040        | 7.076           | 14.321        | 144             | 8               |
| Livianos diésel            | 182          | 708            | 672             | 162           | 140             | 1               |
| Motos                      | 1            | 2.255          | 17              | 506           | 3               | 0               |
| Fuera de ruta              | 42           | 1.529          | 865             | 272           | 5               | 0               |
| <i>Total móviles</i>       | <i>2.468</i> | <i>175.725</i> | <i>47.045</i>   | <i>24.728</i> | <i>3.135</i>    | <i>934</i>      |
| <b>Total</b>               | <b>4.373</b> | <b>187.439</b> | <b>56.921</b>   | <b>80.091</b> | <b>9.991</b>    | <b>29.350</b>   |

Fuente: "Anteproyecto de revisión, reformulación y actualización del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana (PPDA)".

Más aún, la información disponible para estimar responsabilidades en la inmisión de PM10 es limitada y la varianza entre los distintos lugares evaluados es grande; esto sugiere que la participación de las distintas fuentes varía espacialmente. Por ejemplo, en la zona oriente de Santiago casi la mitad de la concentración ambiental por PM10 es material particulado secundario originado en transformación de emisiones gaseosas y que, debido a su tamaño (PM2,5 o menos), es la fracción más dañina para la salud. Dado que el origen de ese material particulado son gases, las fuentes que debieran controlarse no son las que se regulan tradicionalmente —y que son las que aparecen en los inventarios como responsables de las emisiones de material particulado—. Todo esto muestra que para obtener mediciones precisas son necesarios inventarios locales que consideren las transformaciones que se producen en la atmósfera.

En segundo lugar, mediciones de concentraciones en lugares remotos de la Región Metropolitana que no son afectadas por las emisiones de Santiago indican que la concentración de polvo natural puede alcanzar a los 20 µg/m<sup>3</sup>, poco menos de la mitad de la norma anual, lo que da una idea de los límites naturales que enfrentan las políticas de control de la contaminación.

Por último, tampoco se ha definido quién debería hacerse cargo de reducir el polvo resuspendido. Unos dirán que la responsabilidad debería recaer en Vialidad, quien debiera limpiar y pavimentar calles y veredas. Pero otros argumentarán que debiera restringirse

la circulación, tal vez cobrándoles un impuesto a los vehículos de acuerdo con su peso y kilómetros recorridos. En realidad, la responsabilidad y el pago deberían recaer sobre los dueños de vehículos, pero la decisión de pavimentar o reducir la circulación debiera depender de un análisis costo-beneficio. Dada la norma, ésta debiera cumplirse al mínimo costo.

En la práctica, la autoridad se ha involucrado en el diseño de las estrategias específicas de reducción y ha terminado decidiendo cómo deben hacer las reducciones los sectores regulados. La consecuencia casi inevitable de la imprecisión de los inventarios es que algunos sectores son sobrerregulados y otros subregulados con relación a sus responsabilidades técnicas y legales. Esto ha sucedido, por ejemplo, con la industria, que ha debido reducir sus emisiones en mayor proporción que el transporte y mucho más que vialidad. Por el contrario, si bien las residencias son fuente importante de emisiones, no existen acciones específicas para ellas.

En 2001 se revisó el Plan de Prevención y Descontaminación de la Región Metropolitana (PPDARM), porque las metas parciales de calidad ambiental no se estaban cumpliendo y para aprovechar las mejoras del inventario de emisiones de 2000. El plan afinó el diagnóstico de las fuentes de precursores de material particulado secundario, por ejemplo, incluyendo el amoníaco ( $\text{NH}_3$ ).

El Cuadro 6 muestra el inventario de emisiones de 2000. Se aprecia que entre 1997 y 2000 disminuyó la cantidad emitida de material particulado PM10, de monóxido de carbono (CO) y de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ). Y aunque el Cuadro sugiere lo contrario, también cayó la cantidad de compuestos orgánicos volátiles en el aire (COV) –su “aumento” es mera consecuencia de la mejora del inventario, porque de haberse aplicado la misma metodología en 1997, los niveles de COV medidos habrían sido mayores–. De acuerdo a los inventarios, entre 1997 y 2000 sólo aumentaron las emisiones de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), pero no se sabe qué ocurrió con las emisiones de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), porque no se midieron en 1997.

Como se señala en Katz y Del Favero (2000), la caída del PM10 se debe principalmente al éxito del Decreto Supremo N° 4, que introdujo los permisos transables para regular las emisiones industriales, y a la renovación del parque de autobuses con vehículos que emiten menos. La caída del monóxido de carbono (CO) se debe a la progresiva sustitución del parque automotriz por vehículos catalíticos; y la caída del dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) a la introducción del gas natural. Estas caídas se reflejan en la mejoría de los índices de calidad del aire, pero aún no se cumplen las normas.

Para reformular el plan de descontaminación y medir la participación de cada fuente en las inmisiones de PM10, durante el invierno de 1999 se analizaron los filtros que se instalaron en distintos lugares de Santiago<sup>12</sup>. El Cuadro 7 muestra que las fuentes móviles son responsables del 48 por ciento del PM10 medido en el ambiente (inmisión); las fuentes fijas, del 33 por ciento (incluyendo el 7 por ciento proveniente de residencias), mientras que a las quemas agrícolas y otras fuentes se les atribuye el 19 por ciento. Lamentablemente, Conama publicó sólo la participación porcentual de cada fuente en el “material particulado antropogénico” (lo que impide comparar concentraciones), promedió lo medido en cada estación y no incluyó el polvo resuspendido (aunque éste es generado por actividades humanas, o sea antropogénicas). Por esto, no es posible un análisis más detallado. Por otra parte, estas participaciones son

---

<sup>12</sup> Los filtros se instalaron en las estaciones del Parque O'Higgins (N) y Pudahuel (O), y en el cerro Calán en Las Condes.

**Cuadro 7** Inmisión: participación de fuentes emisoras en las concentraciones de material particulado antropogénico (2000)

| Fuente  | Participación (en %) |
|---|----------------------|
| Buses   | 21                   |
| Camiones  | 13                   |
| Vehículos livianos y comerciales                      | 14                   |
| <i>Total fuentes móviles</i>                          | <i>48</i>            |
| Procesos de combustión                                | 12                   |
| Otros procesos industriales                           | 14                   |
| Fuentes residenciales                                 | 7                    |
| <i>Total fuentes fijas</i>                            | <i>33</i>            |
| Quemas agrícolas, crianza de animales, aguas servidas | 19                   |
| <i>Total fuentes areales</i>                          | <i>19</i>            |

Fuente: Conama.

representativas únicamente de las condiciones de invierno y no se correlacionan con las concentraciones ambientales que permiten entender su significado. Por lo anterior, constituyen una muestra muy incompleta y sesgada.

*Lo que se debe mejorar.* De la discusión anterior debería quedar claro que deben mejorarse los inventarios. Deben asignarse más recursos para identificar a todas y cada una de las fuentes emisoras y mejorar la caracterización de las inmisiones y su distribución espacial y temporal. De lo contrario, el control de las fuentes y sus emisiones será sesgado y no se alcanzarán las metas de calidad ambiental, o se hará de manera ineficiente. Los inventarios de 1997 y 2000 han aplicado metodologías distintas y han expresado sus resultados de tal forma que no pueden evaluarse las tendencias de las distintas categorías de fuentes. También es necesario aumentar la transparencia, porque hasta ahora la elaboración de los inventarios no está sujeta a controles de calidad externos que garanticen su precisión ni tampoco se discuten públicamente. Al final del día, el juego se centra en quién emite y en cuánto debe reducir sus emisiones. Los planes de descontaminación no han sido claros ni transparentes al definir estas responsabilidades. Esta situación está afectando ahora a las distintas fuentes (empresas) que se encuentran discutiendo sus reducciones en el contexto del plan. A la hora de confrontar los valores de los inventarios con lo que realmente midieron las empresas, ha quedado en evidencia que los valores de los inventarios muestran importantes diferencias con la realidad.

Es indispensable aumentar la cobertura espacial de los inventarios de inmisión. La información que se maneja actualmente para estimar quiénes son responsables de la inmisión de contaminantes proviene de apenas tres lugares en toda la Región Metropolitana, y la varianza de concentraciones y orígenes del PM10 entre lugares obliga a diseñar inventarios



de inmisión espacialmente diferenciados. De manera similar, la información disponible es sólo del invierno, siendo que la composición de la contaminación y la capacidad de diluir contaminantes de la atmósfera es muy distinta en el resto de los períodos del año. Además, la evidencia también indica que es necesario contar con información separada de las alertas, preemergencias y emergencias para diseñar políticas y acciones de control focalizadas. Por último, es muy importante identificar el origen de la contaminación natural de fondo y averiguar qué posibilidades de controlarla existen.

#### **IV. SANTIAGO: ¿UN PROBLEMA PERO DISTINTAS CIUDADES?**

Las políticas de descontaminación todavía no se hacen cargo de las variaciones apreciables entre diferentes épocas del año (variación estacional) y entre las distintas comunas (variación espacial). Como se verá, estas diferencias son importantes y debieran tomarse en cuenta al diseñar políticas de descontaminación.

##### **IV.1. Invierno y verano**

El Gráfico 3 muestra el PM10 y el PM2,5 promedio de cada mes entre enero de 1999 y diciembre de 2002. Se aprecia que entre mayo y julio las concentraciones promedio tienden a duplicar a las del verano. El principal responsable de este aumento es la meteorología de Santiago, no una variación importante en las emisiones<sup>13</sup>. En realidad, Santiago es una ciudad distinta en verano, cuando la capa de inversión térmica, que actúa como una tapa sobre la ciudad, se encuentra por sobre los 1.000 metros, mientras que en invierno puede encontrarse apenas a 200 metros. Por eso, la capacidad de asimilación de contaminantes en verano duplica a la del invierno. Esta variación estacional implica que algunas restricciones a la emisión de material particulado podrían eliminarse durante el verano. Al mismo tiempo, sería posible dar incentivos que premien el traslado de actividades contaminantes desde el invierno al verano.

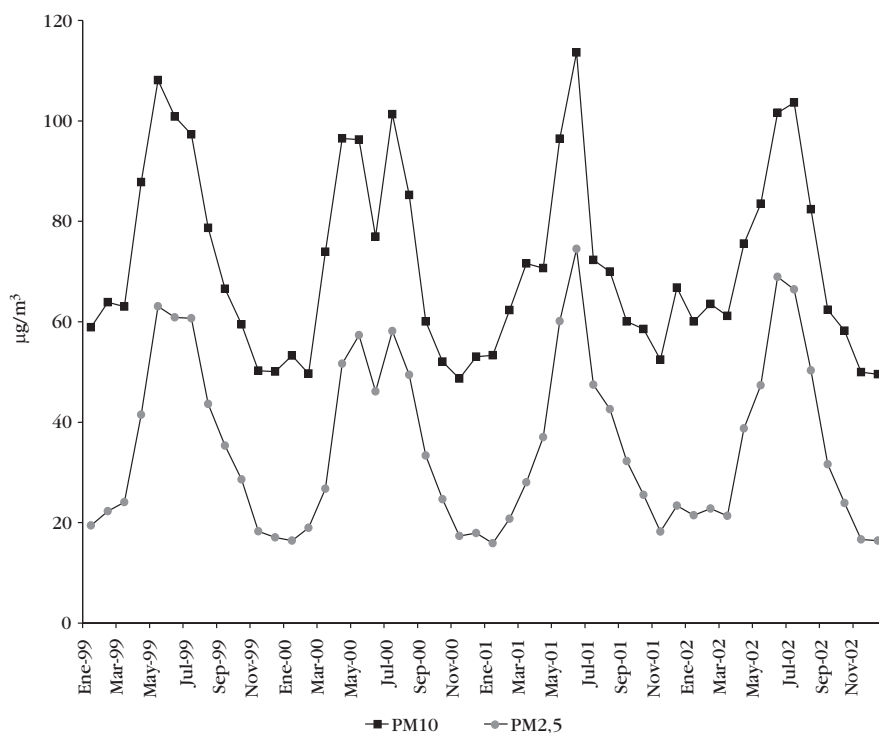
##### **IV.2. Variación espacial de la contaminación**

Si bien la variación espacial de los niveles de contaminación ha ido disminuyendo con el correr de los años, todavía persisten diferencias importantes entre estaciones de medición. El Cuadro 8 muestra la desviación estándar y el coeficiente de variación de los promedios anuales de PM10 y PM2,5 medidos en las estaciones históricas B, F, N y M entre 1989 y 2002. Se aprecia que la dispersión de ambos disminuyó al final de los años noventa, pero volvió a aumentar levemente en 2002.

Más aún, todavía hay fuentes locales de importancia, cuyas particularidades se pierden en los promedios anuales, que suavizan las diferencias. Para estudiar la hipótesis de que

---

<sup>13</sup> Por lo mismo, ocurre que ciudades con emisiones mucho mayores que las de Santiago sufren niveles de contaminación mucho menores.

**Gráfico 3** Promedios mensuales de PM10 y PM2,5

*Nota:* Se utilizaron mediciones dicotómicas entre 1989 y 2002 que fueron tomadas en las estaciones históricas.

*Fuente:* Elaboración propia.

la contaminación en Santiago afecta de manera distinta a diferentes áreas de la ciudad, se correlacionaron los promedios anuales de PM10 entre las estaciones B (Providencia), F (Av. La Paz), N (Parque O'Higgins) y M (Las Condes) entre 1989 y 2000 (Cuadro 9). La correlación entre las estaciones B, F y N es cercana a 1. Sin embargo, la correlación de la estación M, ubicada en el extremo oriente de Santiago, con el resto de las estaciones es consistentemente más baja y del orden de 0,7. Esto sugiere que la contaminación en la zona oriente de Santiago no sigue la tendencia global uno a uno. Algo similar se encuentra al correlacionar el promedio de cada una de las ocho estaciones actualmente en funcionamiento con el promedio de Santiago entre 1997 y 2000 (columna "Promedio"). El coeficiente de correlación de la estación M (Las Condes) sigue siendo el más bajo (0,625), seguido por el de la estación O (Pudahuel).

Cuando se trata de niveles de contaminación, llama la atención, en particular, que la estación Pudahuel suele registrar niveles consistentemente más altos. El Cuadro 10 muestra los valores promedio del ICAP durante el invierno de 1999 (junio a agosto) en cada una de las estaciones de la red MACAM 2. El promedio del índice fue 72 y la desviación estándar 16. Las estaciones B (Providencia) y M (Las Condes) están más de una desviación estándar por debajo de la media

**Cuadro 8** Variación de promedios anuales entre estaciones de medición históricas, 1989 - 2002 (en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

| Año  | (1)<br>Promedio<br>PM10 | (2)<br>Desviación<br>estándar | (3)<br>Coeficiente<br>de variación<br>(2)/(1) | (4)<br>Promedio<br>PM2,5 | (5)<br>Desviación<br>estándar | (6)<br>Coeficiente<br>de variación<br>(5)/(4) |
|------|-------------------------|-------------------------------|---|--------------------------|-------------------------------|---|
| 1989 | 105,6                   | 11,5                          | 0,11  | 69,8                     | 6,2                           | 0,09  |
| 1990 | 99,7                    | 18,1                          | 0,18  | 59,9                     | 8,3                           | 0,14  |
| 1991 | 99,2                    | 10,6                          | 0,11  | 55,1                     | 8,1                           | 0,15  |
| 1992 | 100,5                   | 10,3                          | 0,10  | 56,7                     | 6,9                           | 0,12  |
| 1993 | 107,1                   | 21,4                          | 0,20  | 55,8                     | 8,7                           | 0,16  |
| 1994 | 97,9                    | 14,4                          | 0,15  | 49,2                     | 7,8                           | 0,16  |
| 1995 | 86,8                    | 12,0                          | 0,14  | 41,4                     | 6,5                           | 0,16  |
| 1996 | 89,6                    | 10,4                          | 0,12  | 42,5                     | 5,4                           | 0,13  |
| 1997 | 82,0                    | 10,1                          | 0,12  | 38,5                     | 4,8                           | 0,13  |
| 1998 | 82,0                    | 7,2                           | 0,09  | 38,4                     | 3,7                           | 0,10  |
| 1999 | 73,7                    | 5,4                           | 0,07  | 36,2                     | 2,5                           | 0,07  |
| 2000 | 70,6                    | 8,8                           | 0,13  | 34,8                     | 3,8                           | 0,11  |
| 2001 | 70,7                    | 8,8                           | 0,12  | 35,5                     | 3,5                           | 0,10  |
| 2002 | 71,0                    | 12,6                          | 0,18  | 35,5                     | 5,6                           | 0,16  |

*Notas:* (1) El promedio incluye a las estaciones B (Providencia), F (Av. La Paz), N (Parque O'Higgins) y M (Las Condes). (2) En 2001 y 2002 el promedio no incluye la estación B (Providencia).

*Fuente:* Elaboración propia. Mediciones dicotómicas para estaciones históricas.

**Cuadro 9** Coeficientes de correlación entre estaciones de medición (promedios anuales de PM10)

|   | B | F     | N     | M     | Promedio 1997-2002 |
|---|---|-------|-------|-------|--------------------|
| B | - | 0,967 | 0,960 | 0,768 | 0,886              |
| F |   | -     | 0,973 | 0,676 | 0,939              |
| N |   |       | -     | 0,716 | 0,933              |
| M |   |       |       | -     | 0,625              |
| L |   |       |       |       | 0,905              |
| O |   |       |       |       | 0,832              |
| P |   |       |       |       | 0,893              |
| Q |   |       |       |       | 0,926              |

*Notas:* (1) B: Providencia; F: Av. La Paz; N: Parque O'Higgins; M: Las Condes; L: La Florida; O: Pudahuel; P: Cerrillos; Q: El Bosque. (2) Las estaciones B, F, N y M miden la contaminación desde 1988. Las estaciones L, O, P y Q desde 1997. (3) Las correlaciones entre las estaciones B, F, N y M corresponden al período 1989-2000. (4) La columna "Promedio" muestra la correlación del promedio de la estación respectiva con el promedio de las ocho estaciones.

*Fuente:* Elaboración propia.

**Cuadro 10** ICAP en las ocho estaciones de medición, junio-agosto 1999

|                   | B  | F  | N  | M  | L  | O   | P  | Q  |
|-------------------|----|----|----|----|----|-----|----|----|
| Promedio estación | 52 | 67 | 74 | 48 | 78 | 101 | 73 | 79 |
| Días ICAP > 100   | 1  | 6  | 13 | 2  | 21 | 16  | 16 | 18 |
| Días ICAP > 300   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 5   | 0  | 0  |
| Días ICAP > 500   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1   | 0  | 0  |

*Notas:* (1) B: Providencia; F: Av. La Paz; N: Parque O'Higgins; M: Las Condes; L: La Florida; O: Pudahuel; P: Cerrillos; Q: El Bosque. (2) ICAP=100 indica que la norma se cumple sin holgura; ICAP=300 gatilla una preemergencia; ICAP=500 gatilla una emergencia.

*Fuente:* Elaboración propia.

de todas las estaciones. Por otro lado, el promedio de la estación O (Pudahuel) está casi dos desviaciones estándar por encima de la media de todas las estaciones.

Las diferencias entre estaciones cobran especial relevancia cuando ocurren preemergencias y emergencias. Como se aprecia en el Cuadro 10, durante el invierno de 1999 cada uno de los episodios fue gatillado porque sólo la estación Pudahuel superó las normas. De modo similar, la primera preemergencia del año 2002 también la gatilló la estación Pudahuel, cuando cada una de las restantes estaciones mostraban valores bajo la norma. Esta situación se mantiene con diferencias menores para otros años, y últimamente se decretaron algunas preemergencias debido a las mediciones de las estaciones L (La Florida) y Q (El Bosque).

Estas diferencias espaciales tienen implicancias importantes que debieran ser asumidas por las políticas urbanas y de control de la contaminación. En efecto, sugieren políticas de control diferenciadas que podrían implicar, en el largo plazo, que cambie la estructura urbana. Las políticas diferenciadas pueden afectar a la localización industrial, a la ubicación de los terminales de buses, imponer exigencias a diferentes tipos de vehículos en distintas áreas, sugerir la focalización de las áreas verdes, limitar la construcción de hospitales o escuelas en ciertos lugares e incluso intensificar los programas preventivos y correctivos de salud en aquellas áreas de la ciudad más contaminadas.

En cualquier caso, la autoridad debería gastar recursos y esfuerzos en investigar por qué la contaminación es mayor en Pudahuel y estudiar si es posible controlar esas concentraciones con medidas locales que no afecten a toda la Región Metropolitana. Por último, no se sabe cómo está afectando la contaminación a la salud de los habitantes de Pudahuel, ni tampoco si es posible aplicar medidas sanitarias que mitiguen los efectos perniciosos de sus altas concentraciones de contaminantes.

## V. CONTAMINACIÓN Y POLÍTICAS PÚBLICAS

Se puede concluir de las secciones precedentes que la contaminación atmosférica en Santiago ha cambiado en los últimos 15 años. El objetivo de la política también ha evolucionado a medida que se ha ido adquiriendo más información epidemiológica. Al principio se controlaban las partículas totales en suspensión (PTS); en los años noventa se

pasó a controlar el PM10; y el desafío a partir de 2000 es controlar el PM2,5, incluyendo el material particulado secundario.

Las políticas aplicadas han sido razonablemente exitosas y han disminuido las concentraciones ambientales de casi todos los contaminantes medidos: PM10, PM2,5, monóxido de carbono (CO) y el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), aunque persisten aspectos que se deben mejorar en materia de ozono (O<sub>3</sub>) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>).

Al mismo tiempo, la información sobre la calidad ambiental cubre ahora un área geográfica más extensa, es más confiable y se han ido completando los inventarios, aunque persisten las limitaciones discutidas líneas arriba.

Buena parte del éxito se debe a las políticas de descontaminación. En esta sección revisaré las acciones que han mejorado la calidad ambiental de Santiago y trataré de precisar sus características. El control de la contaminación atmosférica en Santiago puede dividirse a grandes rasgos en tres períodos. Los primeros diagnósticos sistemáticos del problema se hicieron recién durante los años ochenta. Entre 1990 y 1998 se ejecutó el primer plan integral de descontaminación de Santiago. Finalmente, a partir de 1998 se puso en marcha el plan de descontaminación al amparo de la Ley 19.300 y sus posteriores actualizaciones (que hasta julio de 2003 aún no había sido publicada).

### **V.1. Antes de 1990**

Hasta 1990 no existió información técnica apropiada ni tampoco una línea conceptual que ordenase las políticas de control de la contaminación. Las acciones de descontaminación consistieron principalmente en controles directos de las fuentes emisoras más visibles, tales como autobuses con opacidades de más de 80 por ciento (imposición de una norma de emisión máxima de 20 por ciento) o industrias con emisiones de más de 1.000 µg/m<sup>3</sup> (imposición de una norma de emisión de 112 µg/m<sup>3</sup>). Algunas acciones equivocadas que arrastramos hasta hoy, como por ejemplo la restricción vehicular, también fueron introducidas durante este período.

Al mismo tiempo, sin embargo, los estudios de diagnóstico y los diseños conceptuales de regulaciones que se estudiaron durante los ochenta fueron la base de los éxitos de la política de descontaminación de los noventa. Es más, el avance conceptual posterior ha sido bastante lento y probablemente esto sea responsable de la caída de las tasas de mejoramiento de la calidad ambiental y del aumento de los costos de control. De este período también data el diseño de los derechos de emisión transables, que son la base de la Ley de Bonos de Contaminación Transables, que recién en 2003 están discutiendo las autoridades.

### **V.2. 1990-1998: primer plan integral de descontaminación de Santiago<sup>14</sup>**

Este plan se diseñó y partió cuando el país volvió a la democracia en 1990 y se sustentó en el diagnóstico de los estudios realizados en la década de los ochenta. Al mismo tiempo, se tomó la decisión política de crear una institución para que se hiciera cargo

---

<sup>14</sup> Sobre este período, véase también Katz *et al.* (1993).

**Recuadro 3** Primer plan de descontaminación, 1990-1998

- Normas de emisión para automóviles nuevos (implicó la aparición del parque de vehículos con convertidor catalítico).
- Disminución y congelamiento del número de buses de locomoción colectiva, promulgación de normas de emisión para vehículos nuevos y puesta en práctica de normas de revisión técnica más estrictas.
- Regulación de la combustión de leña en domicilios.
- Disminución y congelamiento de las emisiones industriales (la disminución alcanzó al 85% del nivel pre 1990) e implementación de mecanismos de compensación de emisiones.
- Creación del Programa de Control de Emisiones de Fuentes Fijas (PROCEFF) del Ministerio de Salud, la institución encargada de la fiscalizar las emisiones de fuentes fijas.
- Institucionalización de la restricción vehicular. En vez de aplicarla para controlar episodios, se impone durante todo el año, salvo en verano. Durante preemergencias y emergencias se amplían las restricciones a la circulación de vehículos y al funcionamiento de industrias.

del problema, la Comisión Especial de Descontaminación de la Región Metropolitana (CEDRM), que luego se transformaría en la actual Conama Región Metropolitana<sup>15</sup>. Gracias a esta institución se diseñaron políticas de control de la contaminación más efectivas y eficientes. Las principales acciones implementadas se muestran en Recuadro 3.

¿Qué lecciones se extraen de este plan? Un aspecto destacable es que las acciones basadas en el mercado (v. gr., el uso de permisos transables para el control de emisiones industriales) y las orientadas directamente a controlar emisiones (v. gr., automóviles catalíticos y retiro de vehículos de locomoción colectiva y recambios de éstos por otros de menor emisión) fueron muy efectivas. Por ejemplo, la industria disminuyó sus emisiones en 85 por ciento y, aunque la producción creció durante una década, el monto anual de emisiones se ha mantenido constante en el 15 por ciento del total que este sector generaba a finales de los ochenta.

El caso de las normas para automóviles también es interesante. Inicialmente se pensó imponerlas sólo en la Región Metropolitana. Sin embargo, para facilitar su control y por argumentos de “equidad geográfica”, las autoridades decidieron aplicarlas primero en las regiones Metropolitana, V y VI, para luego exigir las en todo el país. Se creía que se comercializarían vehículos con y sin convertidor catalítico y a precios distintos. Pero el mercado sólo comercializó vehículos catalíticos y sin mayores aumentos de precios, a pesar de que un convertidor y sus accesorios costaba alrededor de 400 dólares. En forma similar, algunos opinaban que era necesario forzar la venta de gasolina sin plomo en todo el país antes de que se comenzaran a vender vehículos catalíticos. El mercado reaccionó solo y comercializó gasolina sin plomo en todo el país rápidamente —de hecho, fue uno de los procesos más “suaves” documentados en todo el mundo—.

En este período se usaron “tentativamente” los permisos de emisión transables diseñados durante los ochenta. De hecho, la introducción de este instrumento de mercado para limitar y

<sup>15</sup> Conama fue creada por la Ley 19.300 de 1994.

controlar las emisiones industriales fue hito mundial. Sin embargo, y aun así, predominaron las regulaciones de *command and control*, aunque limitadas al control directo de emisiones y no, como se haría después, al ordenamiento urbano. A pesar del éxito de los permisos transables para reducir las emisiones industriales y de la positiva evaluación tanto en el nivel local como internacional, el Servicio de Salud del Ambiente de la Región Metropolitana, organismo encargado de aplicar el sistema, no tuvo el convencimiento conceptual para extenderlo a otros procesos (v. gr., hornos, molindas, fundiciones) que hasta hoy no se regulan.

Por último, el plan mostró la importancia de las instituciones. La creación del PROCEFF, la unidad del Ministerio de Salud encargada de fiscalizar a las fuentes fijas, y la fiscalización por el Ministerio de Transportes de las fuentes móviles mostraron que no basta con acciones administrativas sin la definición de políticas y respaldos claros. También es necesario que existan instituciones capaces de aplicar las políticas. El Ministerio de Salud no fue capaz (o no quiso) implementar un sistema generalizado de derechos de emisión transables, y se opone hasta la fecha, mientras que los objetivos de control de emisiones del Ministerio de Transportes siempre entran en conflicto con su clientela —el sistema de transporte público—.

### **V.3. 1998: plan de prevención y descontaminación de Santiago (Ley 19.300)**

La Ley 19.300 cambió fundamentalmente la manera de generar los planes de prevención y descontaminación, porque definió un procedimiento. Así, para elaborar un plan de descontaminación, Conama debe seguir un procedimiento público con plazos establecidos.

La ley también define el contenido mínimo de los planes y, por lo tanto, limita la discreción de la autoridad. Antes de regular, la autoridad debe declarar que la zona afectada es “latente” (si se trata de un plan de prevención) o “saturada” (si se trata de un plan de descontaminación). El plan debe explicitar la relación que existe entre, por un lado, las emisiones totales y, por el otro, los contaminantes específicos que él regula. También se debe indicar el plazo en que se espera alcanzar la meta de reducción; quiénes son los responsables directos de reducir las emisiones; qué autoridades deben fiscalizar; los instrumentos de gestión ambiental que se usarán, y estimar los costos sociales y privados impuestos por el plan. La proporción en que cada fuente responsable debe reducir sus emisiones debe ser la misma para todas. Por último, cuando sea posible se deben proponer mecanismos de compensación de emisiones, tal como los discutidos en Katz y Del Fávoro (2001).

La ley indica preferencia por los instrumentos económicos, pero en la práctica sólo se han utilizado instrumentos de *command and control*, con la excepción del mecanismo de compensación de emisiones utilizado en el Plan de 1990, y que fue “limitado” en su aplicación por las mismas autoridades. En realidad, el plan de 1998 consistió en listar todas las medidas que la autoridad pudo imaginar. Pero fuera de definir mejor los inventarios y precisar marginalmente las medidas de 1990, no fue un cambio radical. Una de las principales características de este plan fue el gran número de medidas genéricas, indicativas y voluntaristas que, por lo mismo, en su gran mayoría no se pusieron en práctica. Evaluaciones realizadas por Conama muestran que las medidas que correspondían al sector público, tales como los planes de relocalización de servicios públicos, la creación de áreas verdes, la definición e implementación de planes de transporte y otros, no fueron implementadas.

Este plan también trató de integrar la planificación urbana con fines medioambientales, pero definió medidas vagas, sin objetivos ni metas claras y que no era posible fiscalizar<sup>16</sup>. En realidad, las únicas acciones que se efectuaron fueron aquellas destinadas a disminuir directamente las emisiones, tales como la reducción adicional impuesta a las fuentes fijas, las nuevas normas de emisión para vehículos de la locomoción colectiva y de carga, las mejoras de la calidad de los combustibles y la implementación de un sistema de pronósticos ambientales con el objetivo de anticipar los episodios de contaminación atmosférica, pero cuya efectividad y transparencia están en duda, y se consignó la decisión de tomar las medidas necesarias (tampoco existe coincidencia en cuáles son estas medidas) oportunamente<sup>17</sup>.

Una de las principales lecciones de este plan es que las medidas genéricas no sirven. Adicionalmente, aquellas impuestas a los organismos públicos no se fiscalizan con la misma diligencia que las que afectan a los actores del sector privado, tales como industrias, residencias o automovilistas<sup>18</sup>. Medidas ineficientes, tal como la restricción vehicular permanente, siguieron aplicándose.

Uno de los aportes positivos de este plan fue la evaluación económica de las medidas<sup>19</sup>. También se estimó la efectividad de las medidas contenidas en el plan y la fecha de cumplimiento estimada, lo que permitió corregir deficiencias en 2002. Por ejemplo, según el plan, la meta de reducción de PM10 a la mitad se lograría en 2005. Sin embargo, las medidas listadas no eran suficientes para cumplir con las normas de PM10: el plan sólo “empataba” y por esa razón debió revisarse dos años después. Una situación similar ocurrió con los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y el monóxido de carbono (CO). Aun con el plan ambos contaminantes habrían aumentado en relación con 1997 y por eso en el plan de 2002 los

---

<sup>16</sup> Por ejemplo, se introduciría la planificación del territorio en una zona latente y saturada a través de la “[...] definición de un marco teórico e institucional para la elaboración de los instrumentos de planificación territorial que considere la incorporación de la dimensión ambiental en la extensión de la ciudad y en la distribución orgánica en el territorio” (PPDARM, 1998).

<sup>17</sup> Con anterioridad, los datos de los lunes eran procesados los martes y el episodio se decretaba el miércoles, cuando ya obviamente había pasado.

<sup>18</sup> Sin intención de ser exhaustivo, ejemplos de medidas no fiscalizadas incluyen “el perfeccionamiento de los mecanismos de entrega de información relativa a trámites realizados por usuarios en servicios públicos, utilizando para esto servicios telefónicos y medios de comunicación masiva”; la implementación de “un sistema de atención de pedidos de horas médicas vía telefónica en los servicios de salud pública de la RM”; la coordinación de “un sistema de horario diferido de inicio de clases en establecimientos de educación básica y media, de acuerdo con la localización del establecimiento”; la creación de “sello del PPDA”, que será otorgado a las empresas que participen activamente en el mejoramiento de la calidad del aire de la región; el “aumento de la cobertura de teléfonos públicos en poblaciones y sectores periféricos”; la determinación en un plazo máximo de tres años de los parámetros técnicos complementarios que permitan incorporar a las fuentes existentes del tipo procesos al sistema de compensación de emisiones de material particulado; “la posibilidad de exigir una póliza de seguro que cubra el riesgo por daño al medio ambiente para las quemadas de vegetación viva o muerta autorizadas por este Decreto Supremo, que se efectúen en la RM”; la incorporación progresiva del uso de *compost* en parques urbanos; las normas técnicas que deberán cumplir los materiales aislantes para las viviendas que se construyan en la RM; la confección y aprobación del Plan Regional de Desarrollo Urbano de la Región Metropolitana, el que deberá garantizar el cumplimiento de las metas establecidas en este PPDA; el desarrollo de los estudios necesarios para definir una metodología que permita cuantificar las externalidades negativas de los proyectos inmobiliarios y los mecanismos mediante los cuales éstas puedan ser internalizadas, de modo que queden reflejadas en el costo del proyecto; y muchas otras.

<sup>19</sup> Véase Katz (1997).



óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) fueron regulados fuertemente. Por último, la norma de emisión de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) se cumpliría con holgura por la introducción de gas natural y la mejora de los combustibles refinados por ENAP.

De acuerdo con el plan, la mejor calidad del aire traería una serie de importantes beneficios directos para la población de la Región Metropolitana, destacándose la disminución del riesgo de muerte prematura y de contraer enfermedades respiratorias. Otros importantes beneficios directos corresponderían a menores daños materiales, aumentos de la productividad agrícola, la disminución de la frecuencia de los episodios críticos y el aumento de la visibilidad. También destacan beneficios indirectos, tales como los menores tiempos de viaje, el aumento de áreas verdes y la ampliación de la educación ambiental, los que sin embargo no fueron cuantificados. Estos beneficios, que suponían el cumplimiento de las metas iniciales del plan, equivalían a poco menos de US\$ 1.100 millones (se consideró una tasa de cambio de US \$ 1 = \$ 415).

El plan le impone algunos costos considerables a la población, los cuales no fueron cuantificados. Por eso, al igual que los beneficios, de acuerdo a las autoridades, los costos totales del plan serían mayores que los poco más de US\$ 900 millones estimados. Pero mientras los beneficios se estimaron suponiendo que las metas se cumplirían en 2011, los costos sólo se estimaron para las medidas evaluadas que no eran suficientes para cumplir con los objetivos. Así, en el neto probablemente (supuesto validado por la información real sobre calidad ambiental entre 1997-2003) se sobrestimaron los beneficios y se subestimaron los costos. Ésta es una deficiencia conceptual grave que debe corregirse porque induce a errores importantes cuando se interpreta la información.

#### **V.4. La revisión del plan de 1998: el plan 2002**

Del análisis de la evolución de la contaminación atmosférica en Santiago se concluye que aún son necesarios esfuerzos significativos para cumplir con las normas de calidad ambiental, meta exigida por la ley. El desafío principal es controlar el PM10, el PM2,5 y contaminantes gaseosos, como el ozono ( $\text{O}_3$ ), los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) (tanto directamente como también en su calidad de precursor de material particulado secundario) y el monóxido de carbono (CO). El plan de 2002, aún no publicado, reconoce esta situación y sus acciones se centran en reducir estos contaminantes más otros, tales como el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y el amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), también en su carácter de precursores del PM2,5. En vez de discutir las medidas de este plan (que se resumen en el Recuadro 4), presentaré sus objetivos básicos que, de cumplirse, lo harían distinto de su predecesor de 1998.

Si se le compara con el plan de 1998, el de 2002 incluye más medidas claramente definidas, a las que les fija metas medibles y plazos de cumplimiento concretos. Las metas son el fin de las preemergencias a partir de 2005 (que, de acuerdo con lo sucedido en el invierno de 2003, se ve improbable) y el cumplimiento de las normas de calidad ambiental para 2011. Por eso el plan se concentra inicialmente en limitar las emisiones que generan episodios.

El plan incluye un mecanismo de compensación de emisiones para todo tipo de fuentes. La convicción con que el gobierno aplique este mecanismo señalará cuán comprometido está con los instrumentos de mercado. A nuestro juicio, si este sistema no

**Recuadro 4** El plan de descontaminación de 2002

- Introducción de buses que usen tecnología limpia (GNC o GLP, híbridos, eléctricos u otros) y dispositivos de control de emisiones para buses diésel.
- Retiro de buses sin sello verde.
- Nueva norma de emisión para motores diésel.
- Compromiso de enviar el proyecto de ley de bonos de descontaminación.
- Mejoría progresiva de la calidad de gasolinas y del diésel.
- Normas de uso de la leña residencial.
- Normas de emisión para industrias. Gases y precursores de material ( $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_x$  y  $\text{NO}_x$ ).
- Sistema de compensación de emisiones de 150 por ciento para nuevas industrias (cada kilo adicional de emisión de estas fuentes debe ser compensado con el retiro de 1,5 kilos de otra fuente).
- Cupos de emisión de material particulado y de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) de procesos industriales y calderas.
- Lavado y aspirado de calles, complementado con pavimentación.
- Programas de educación ambiental, participación ciudadana, fortalecimiento de la gestión ambiental local, vigilancia y fiscalización, estudio y control de las emisiones dentro de oficinas y hogares.

se implementa en forma integral, los costos de control de emisiones de algunas actividades, particularmente las industriales, serán altos.

A pesar de los mecanismos de compensación, el plan muestra una importante contradicción entre medidas de *command and control* y de mercado. Si bien postula el uso de permisos de emisión transables, impone gran cantidad de normas de emisión como primera acción. Si la historia se repite, las autoridades se quedarán con las normas de emisión y no implementarán las de mercado, con las consiguientes ineficiencias económicas. El plan debería asignar metas de reducción globales por sector y crear un marco regulatorio, de modo que quienes reduzcan más que su meta puedan vender el exceso. Todavía no se conoce la evaluación costo-beneficio del plan. Esta evaluación debería revelar los énfasis de las autoridades.

## VI. CONCLUSIÓN: ESTAMOS A MITAD DE CAMINO

Al comenzar el capítulo se afirmó que estamos mejor que lo que creemos. El resto del capítulo implica que, si bien los progresos son innegables, todavía estamos a mitad de camino. Aún queda bastante para cumplir con cada una de las normas y persisten problemas que se deben solucionar en materia de ozono ( $\text{O}_3$ ) y óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ). Y de aquí en adelante el desafío técnico, económico y comunicacional es mucho mayor. La ciudadanía ha estado expuesta a más de una década de acciones y exige resultados. También lo “fácil y barato” ya se hizo, y las reducciones adicionales serán más caras. Por eso, ahora es más necesario aún focalizar las acciones en los responsables directos de cada contaminante. Para concluir, revisaré qué debe hacerse a partir de ahora y cómo.

Este capítulo estudió la contaminación de material particulado respirable que afecta a Santiago que ha sido el foco de la discusión pública sobre el medio ambiente. Desde una perspectiva global, sin embargo, la calidad ambiental de una ciudad la determinan varios aspectos. La calidad del aire en sus múltiples componentes es uno de los más importantes, pero también importan la visibilidad, la limpieza o suciedad de las aguas, el ruido, la limpieza de los espacios públicos, el manejo de la basura y los residuos, y otros relacionados con calidad de vida que válidamente se mezclan con los anteriores, tales como congestión, la calidad del transporte público, los tiempos de viaje, las áreas verdes y el paisajismo, la estructura urbana y muchos otros.

Incorporar estos aspectos más amplios en la gestión de combatir la contaminación, sin embargo, conlleva un riesgo. En efecto, muchas veces la integración se traduce en políticas genéricas, casi imposibles de fiscalizar y basadas únicamente en buenas intenciones. Nuestro enfoque enfatiza que si bien los distintos aspectos de la calidad de vida están relacionados, cada uno debe abordarse por separado y según su propio mérito. Por ejemplo, si la contaminación del aire sobrepasa las normas debido a las emisiones del transporte público, entonces se deben regular directamente las emisiones de los buses. Por otro lado, si el problema es la congestión, entonces ésta debe ser abordada directamente mediante tarificación vial; y así sucesivamente. Es un error mezclar la congestión con la contaminación, como se hace cuando se mantiene la restricción ambiental durante meses en los cuales se cumplen las normas de calidad ambiental pero persiste la congestión (será interesante ver qué sucede cuando entren en función las obras de infraestructura actualmente en construcción y disminuya la congestión pero persista la contaminación).

También es cierto que, por ser muy visible y sus niveles muy altos, el material particulado ha dominado la discusión conceptual y política, relegando a segundo plano al resto de los problemas ambientales. Aunque este capítulo se centra en la contaminación atmosférica por material particulado, no debería olvidarse que Santiago también sufre de contaminación atmosférica gaseosa, contaminación acústica (el ruido en la gran mayoría de las grandes avenidas y calles supera largamente los niveles definidos como aceptables), contaminación de aguas servidas que no se tratan (aunque es un problema que será resuelto apenas entren en funcionamiento las plantas de tratamiento actualmente en construcción) y, aunque no sea un problema cotidiano para la mayoría de los santiaguinos (pero sí para los municipios), de una gestión difícil de la basura domiciliaria.

Sin embargo, este sesgo a favor del material particulado en gran medida es natural, porque es el contaminante que más excede las normas y cuyo control ha sido objeto de los mayores esfuerzos e inversión de recursos. También existe evidencia sólida de sus efectos nocivos para la salud e incidencia en la mortalidad. Y las políticas que se han implementado para controlarlo serán la principal referencia que se utilizará para diseñar las acciones de control de otros contaminantes.

La evolución de las normas y del foco de las políticas durante los últimos 20 años también es bastante lógica. La contaminación y la calidad ambiental se evalúan con referencia a normas específicas a cada contaminante. Tanto los contaminantes normados como los niveles máximos aceptables definidos por las normas van cambiando a medida que avanza el conocimiento, aumenta el nivel de ingreso y evolucionan las prioridades de la sociedad. Es así como en la década de los ochenta se regulaba el material particulado en suspensión (PTS),

partículas de diámetro menor que 75 micrones. En la década de los noventa se pasó a regular el material particulado respirable (PM10), y en la primera parte de esta década de 2000 se está regulando el PM2,5. Esta evolución implica un constante cambio de las regulaciones y que muchas de ellas se superpongan, lo que confunde a los regulados y a la ciudadanía.

Por lo mismo, lo esperable es que el foco de atención paulatinamente se desplace en el futuro. Ciertamente es que aún queda bastante por hacer para disminuir el material particulado, pues las normas todavía se exceden en 50 por ciento. Pero el foco se irá desplazando hacia los gases. Si bien ha disminuido la cantidad de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en la atmósfera, se han mantenido los niveles de monóxido de carbono (CO) y de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), por lo que se requiere disminuir sus emisiones. Lejos de disminuir, desde 1997 los niveles de ozono (O<sub>3</sub>) han aumentado y superan la norma, frecuentemente en primavera y verano<sup>20</sup>.

Asimismo, la composición del material particulado ha cambiado: ha aumentado la participación relativa de contaminantes secundarios, tales como los nitratos, sulfatos y amoníaco (NH<sub>3</sub>). Estos contaminantes forman parte del PM2,5 y por ende son muy dañinos para la salud. Además, las políticas de control deben adaptarse, porque para controlarlos hay que regular a los precursores —en este caso gases que por sí mismos no superan las normas de calidad ambiental, como el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)—.

Cualquiera sea el objetivo futuro, debe sin embargo considerarse una restricción fundamental. En vista de que la emisión total de un contaminante dado es igual a la suma de las emisiones de las distintas fuentes (v. gr., automóviles, camiones, fábricas, residencias), se requiere disminuir la suma total de las emisiones para cumplir con las metas. Esta restricción es, en gran medida, obvia y sin embargo se olvida constantemente cuando se diseñan políticas de control de la contaminación. Por ejemplo, la política vigente no limita ni la entrada de nuevos vehículos ni el número de kilómetros recorridos y tampoco impone normas de emisión más estrictas. Si suponemos que el número de vehículos crece a lo menos 5 por ciento al año (una tasa baja si se compara con el promedio de los últimos diez años), y que se mantienen tanto los kilómetros anuales recorridos como las emisiones por vehículo, las emisiones aumentarán también en 5 por ciento<sup>21</sup>. La misma situación se repite con las emisiones de las residencias. Como sugiere este ejemplo simple, aquellas políticas que no disminuyan las emisiones totales están condenadas al fracaso. Por lo tanto, cualquier política de control de la contaminación que se adopte debe considerar reducir la masa emitida y para eso se deben controlar las emisiones unitarias, el número de fuentes o el nivel de actividad de cada fuente o una combinación de todas ellas.

Las metas del plan de 2002 implican, por tanto, que en un futuro cercano todas las actividades, desde las industriales hasta las hogareñas, pasando obviamente por las de transporte, deberán reducir sus emisiones de PM10 y, muy probablemente, de PM2,5, óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y monóxido de carbono (CO). Estas reducciones también se harán exigibles a los gases precursores de material particulado secundario. Si no se limitan las emisiones totales del transporte y de las residencias, la contaminación seguirá aumentando

---

<sup>20</sup> En 1997 se superó la norma de ozono durante 367 horas. En los años siguientes, el número de horas aumentó: 560 en 1998; 446 en 1999; 532 en 2000 y 567 en 2001.

<sup>21</sup> Algo deberían disminuir las emisiones por retiro de vehículos no catalíticos que emiten al menos tres veces más.

y el esfuerzo de su control recaerá en aquellas fuentes tradicionales, como la industria, a la que sin embargo le queda poco por reducir. Una dificultad adicional es que algunas fuentes son muy difíciles y caras de controlar (por ejemplo las emisiones residenciales, por su gran número y baja densidad y el material particulado de fondo natural). Esas fuentes pueden ser consideradas parte de la contaminación de fondo y, en todo caso, se deben diseñar incentivos para que sus emisiones no aumenten.

Lo que viene, por tanto, es más difícil y costoso. De ahí que sea tan importante aumentar la eficiencia de las acciones para reducir la contaminación. Para eso se necesita mejorar la calidad de la información sobre la contaminación; reconocer, como lo he destacado, que en Santiago en realidad hay varias ciudades; extender los instrumentos de mercado y mejorar las instituciones encargadas de la contaminación.

El esfuerzo de Conama por mejorar los inventarios de emisiones ha sido importante pero insuficiente. Se necesitan inventarios más completos y transparentes que se hagan cargo de las variaciones estacionales y espaciales de las emisiones. El mejoramiento de la información puede resultar en que, traducido en números, el problema “empeore”. Por ejemplo, cuando se amplió la cobertura espacial de la red de monitoreo de contaminantes atmosféricos (MACAM 2), “aparecieron” nuevos focos de contaminación y aumentaron las excedencias de normas y el número de episodios. La información más precisa permitiría concentrar las reducciones de emisiones en los verdaderos responsables de la inmisión, y así se evitaría restringir equivocadamente actividades que no contaminan.

La información existente lleva a concluir que la contaminación en Santiago varía a lo largo del año y es más baja en verano (con la excepción del ozono, cuyas puntas ocurren durante primavera y verano), aunque las emisiones varían mucho menos. Esto permitiría generar políticas diferenciadas que incentiven al desarrollo de actividades en verano en vez de en invierno, momento en el cual seguramente se podrían concentrar las vacaciones y los mantenimientos.

Una situación similar ocurre con la distribución espacial de la contaminación por PM10. Tanto las concentraciones promedio como aquellas que ocurren durante los episodios son sistemáticamente más altas en la estación de Pudahuel (O) y en menor medida en la estación de La Florida (L). Por contraste, tanto Las Condes (M) como Providencia (B) muestran valores marcadamente más bajos. No hay todavía una buena explicación de estas diferencias y se debería invertir en estudiarlas. Si la causa de la mayor contaminación en Pudahuel es local, sería un contrasentido imponerle costos importantes al resto de la ciudad. Conama debe invertir en estudiar y focalizar las acciones de control específico de esos episodios. Éstas pueden ir desde controlar las emisiones locales hasta apoyar a los más vulnerables, los niños y ancianos.

En tercer lugar, se deben generalizar los instrumentos de mercado. Las políticas se han caracterizado por una dualidad conceptual importante. Por un lado, las políticas escritas abogan por el uso de instrumentos de mercado, que muchas veces son formalizados con regulaciones. Sin embargo, cuando llega el momento, las instituciones encargadas del problema prefieren acciones de *command and control*. En mi opinión a las autoridades ambientales les ha faltado la visión que en su momento tuvieron las del área de infraestructura, seguridad social o salud cuando implementaron mecanismos de mercado. Esto debe cambiar si se quiere seguir reduciendo la contaminación a mínimo costo. Las políticas deben dejar la máxima

libertad posible para que las fuentes busquen la manera más barata de reducir emisiones, ya sea haciéndolo en forma directa, bajando su nivel de actividad o a través de compensar con disminuciones de otras fuentes.

Por último, se necesitan cambios institucionales importantes. Instrumentos de mercado tales como los permisos de emisión transables y la fiscalización rápida y oportuna requieren que se cambie el esquema actualmente vigente. Las políticas siguen a cargo del Ministerio de Salud, que actúa con instrumentos legales introducidos en la década del sesenta. Por otro lado, la fiscalización del Ministerio de Salud compite por recursos con las actividades médicas y sanitarias propias del ministerio, mientras que el Ministerio de Transportes también está encargado de coordinar el tránsito, de la tarificación y vive permanentemente tensionado por la presión de los gremios del transporte.

¿Qué implica todo esto para las políticas urbanas? La capacidad de absorción de contaminantes tiene un límite natural en el desarrollo de actividades emisoras en la Región Metropolitana, que es aún más estricto porque la contaminación de fondo de la región es importante. Una vez que los vehículos y los hogares internalicen los costos ambientales, las consecuencias seguramente afectarán a la estructura de la ciudad. Los costos de transporte no estarán determinados únicamente por el costo del combustible y el tiempo, sino que también por la disponibilidad de cuotas de emisión. Así, por lo tanto, medios de transporte tales como trenes eléctricos, trolebuses, vehículos híbridos o de gas podrían comenzar a competir sin necesidad de subsidios. Para el sector residencial las implicancias son dobles. Por una parte, su localización determinará los costos de transporte y por otra está la elección de la mezcla de combustibles que utilizará.

Para finalizar, es indispensable que lo realizado sea comprendido por la población. Conama y el resto del gobierno deben aumentar significativamente la transparencia y esforzarse en explicar bien en qué consiste el problema, qué se ha logrado y qué es necesario hacer para seguir mejorando. La contaminación es un problema difícil y sofisticado pero puede ser explicado. Es desafortunado que después de diez años de éxito relativo la población siga sin comprender los fenómenos básicos que originan el problema, no aprecie las mejoras notorias de la calidad del aire y, peor aún, crea que el problema ha ido empeorando. Al mismo tiempo, la autoridad no debería insistir en instrumentos tales como la restricción vehicular, cuando sabe que son ineficientes e ineficaces<sup>22</sup>.

## REFERENCIAS

- Cifuentes, L., "Efectos en la salud de la contaminación atmosférica por material particulado: evidencia de estudios epidemiológicos", mimeo, Universidad Católica de Chile, 1996.
- , J. Vega y L. B. Lave. *Daily Mortality by Cause and Socio-Economic Status in Santiago de Chile*. Carnegie Mellon University: Center for Integrated Study of Human Dimensions of Global Change, 1999.

<sup>22</sup> Se puede comprender que la restricción vehicular se aplique durante los episodios. Pero las autoridades son poco serias cuando la justifican por razones de contaminación incluso durante la primavera.

- Katz, R., Análisis del “Anteproyecto del plan de prevención y descontaminación Región Metropolitana”, *Puntos de Referencia*, 182. Santiago: Centro de Estudios Públicos, 1997.
- y M. Benítez, “Uso de un sistema de pronósticos para el control de la calidad del aire en Santiago”, *Estudios Públicos*, 77, 187-202, 2000.
- y G. del Fávero, *Medio ambiente en desarrollo*. Santiago: Centro de Estudios Públicos, 1993.
- , “Gestión ambiental en Chile”. En F. Larraín y R. Vergara (eds.), *La transformación económica de Chile*. Santiago: Centro de Estudios Públicos, 2000.
- , “Gestión ambiental: ¿cómo avanzar?” En R. Vergara y H. Beyer (eds.), *¿Que hacer ahora? Propuestas para el desarrollo*. Santiago: Centro de Estudios Públicos, 2001.
- , A. Sáez y G. Reinke, “Institucionalidad y marco legal vigente”. En H. Sandoval, M. Préndez y P. Ulriksen (eds.), *Contaminación atmosférica de Santiago: estado actual y soluciones*. Santiago: Editora e Impresora Cabo de Hornos S. A., 1993.
- Ministerio de Salud y Universidad de Chile, *Caracterización físico-química del material particulado*. Santiago: Ministerio de Salud y Universidad de Chile, 1983.
- Ostro, B.; J. M. Sánchez; C. Aranda y G. Eskeland, “Air Pollution and Mortality: Results from a Study of Santiago, Chile”, *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 6, 97-114, 1996.
- Ott, W. y G. Thom, *Air Pollution Indices: A Compendium and Assessment of Indices Used in the United States and Canada*. Washington DC: Council on Environmental Quality and the Environmental Protection Agency, 1985. ■