

ESTUDIO

LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN SANTIAGO

Impacto sobre la salud de la población*

Mario Muñoz V.**

En el presente estudio se argumenta que la ciudad de Santiago ofrece un problema generalizado de contaminación atmosférica por monóxido de carbono, partículas en suspensión, anhídrido sulfuroso, óxidos de nitrógeno, ozono e hidrocarburos; además de conocerse la presencia de otros contaminantes. Este fenómeno, se señala, produce daños en la salud, aumentando o agravando enfermedades respiratorias, especialmente del tipo obstructivo.

Diversos antecedentes demostrarían que las fuentes de mayor importancia que dañan la salud son los vehículos, siendo menor el impacto de las fuentes estacionarias. Por su parte, los factores climáticos y geográficos que condicionan la contaminación de Santiago son muy restrictivos. Junto con concluir que es indispensable disminuir las emisiones en Santiago, se sostiene que las medidas necesarias para ello requieren conocimiento profundo del fenómeno, así como de sus causas y efectos, a la vez que un marco conceptual claro, con políticas estables y definidas.

Esta publicación cuenta con el apoyo de la Fundación Hanss-Seidel.

** Médico pediatra, Universidad de Chile. Estudios de Posgrado en Salud Pública y Administración de Establecimientos de Salud. Ex Director del Servicio de Salud del ambiente de la Región Metropolitana. Consultor de la Organización Panamericana de la Salud.

1. Aspectos conceptuales

Las palabras "contaminación" y "medio ambiente" han llegado a ser de uso frecuente en el último tiempo, tanto en el lenguaje cotidiano como en la prensa, en los círculos ilustrados, y han hecho su entrada triunfal en el discurso de los políticos. Es probable, además, que las oigamos cada vez con mayor frecuencia en el futuro.

Si bien casi todos entendemos el sentido del término "medio ambiente" como el entorno que nos rodea y en el que se desarrolla nuestra vida, no siempre está claro el sentido de ecosistema que realmente debiera darse a este tema. Esto es importante porque un ecosistema es una organización en que todos sus integrantes dependen de los demás. Hay un sentido de interrelación que es fundamental para entender la intimidad del hombre con su alrededor, sea vivo o inanimado, intimidad en la cual cada uno recibe algo a cambio de su propio aporte. Este "toma y daca" constituye un delicado equilibrio que fatalmente se vuelve contra quien sobrepasa los límites de alteración que soporta. Este es un concepto que debiera guiar nuestra reflexión a lo largo del tema que trataremos.

"Contaminación" es un término más difícil de definir. Existe la tendencia a denominar "contaminación" a cualquier elemento extraño al medio ambiente que se introduzca en él. Si bien este purismo es posible en términos abstractos, es imposible de sostener en la práctica. Y como no nos interesa aquí una discusión semántica o filosófica, sino que procuramos analizar un fenómeno con cierto rigor científico, preferimos para "contaminación" una definición más apta para el trabajo que es, por lo demás, la que las organizaciones internacionales aceptan. En el caso del aire se denomina contaminación atmosférica a la presencia en él de impurezas en concentraciones tales que signifiquen un riesgo para el hombre o su medio.¹

Este es un concepto práctico, ya que indica límites mensurables y transforma el fenómeno de la contaminación atmosférica en discreto. Conlleva, además, la intención de obtener una determinada calidad del aire, lo que a su vez implica la necesidad de adoptar medidas adecuadas a este fin.

El origen de los contaminantes atmosféricos es múltiple. Existen causas naturales, como las erupciones volcánicas y el polvo levantado desde el suelo, pero el mayor volumen es producido por las diversas formas de actividad humana. La producción de bienes, las faenas mineras, el transporte y hasta algunas formas de recreación generan contaminantes que se vacían

¹ Definición recomendada por el Comité de Expertos de la O.M.S., 1985.

en la atmósfera. El número de contaminantes que es posible encontrar en el aire, especialmente en el medio urbano, es enorme e incluye desde gases volátiles hasta pesadas partículas de sílice. Por eso se ha tratado de englobar en el concepto de contaminantes atmosféricos dos grandes grupos: los que se denominan "contaminantes índices", por ser los que generalmente se asocian a la contaminación atmosférica urbana, y otro grupo de contaminantes que se estudian separadamente por sus efectos particulares, su peligrosidad y su origen conocido. Entre los primeros se encuentran el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NO y NO₂), el anhídrido sulfuroso (SO₂), el ozono (O₃) y las partículas en suspensión. Los segundos incluyen el plomo (Pb), el vanadio (Va), el cromo (Cr), el asbesto (As), los hidrocarburos (Hc), el arsénico (Ar) y otros que se estudian según el caso particular de cada ambiente humano.

Cada contaminante en la atmósfera debe ser medido de manera apropiada, que produzca resultados ciertos y reproducibles (esta es, por lo demás, la base, del método científico), y para ello se han desarrollado técnicas y aparatos idóneos. Las técnicas y aparatos fueron basados al comienzo sólo en métodos físicos, como el peso, o químicos como la titulación y la reactividad con determinadas sustancias. Con el tiempo estos métodos se fueron estandarizando y las organizaciones internacionales, especialmente la Organización Mundial de la Salud, tuvieron un destacado papel en uniformar los métodos de medición en todo el mundo. Esto produjo un enorme avance en el conocimiento del problema, ya que permitió transmitir los métodos de los países desarrollados a los menos avanzados. Al mismo tiempo, se impulsó el desarrollo de sistemas internacionales de medición, mediante la donación de equipos medidores a los países en desarrollo y la capacitación de personal para operarlos. Chile estuvo entre los países que recibieron tal tipo de apoyo, y las primeras estaciones de medición, establecidas en Santiago en la década de los 60 formaban parte de la llamada "Red PANAIRE". Algunas de ellas continúan en funcionamiento.

Posteriormente los sistemas de evaluación de la contaminación atmosférica se fueron haciendo cada vez más complejos, más exactos, más automáticos... y más caros. Típicamente una estación medidora moderna, como las que integran la red MACAM² en Santiago, puede medir ocho o más contaminantes cada 30 segundos; consolidar la información sacando una media cada cinco minutos y transmitirla en forma automática a un computador, junto con datos de temperatura, humedad, radiación solar y

²MACAM: Monitoreo Automático de Calidad de Aire Metropolitano.

dirección y velocidad del viento. Obviamente, el costo de cada una de estas estaciones es astronómico, por lo que su número debe ser limitado. Además su complejidad encarece en forma desmedida el costo de operación y mantención. Paradójicamente, no está claro si realmente se requiere este enorme flujo de información concentrada proveniente de escasos puntos de la ciudad, y muchos especialistas creen que información menos densa y rápida, pero más extendida en el área urbana sería de mayor utilidad y, tal vez, de mucho menor costo.

Ahora, algunas consideraciones sobre la percepción pública de la contaminación atmosférica. En realidad la contaminación ambiental es un tema "de moda" sólo en las últimas décadas en los países desarrollados y mucho más reciente aun en los países en desarrollo, al menos en términos masivos. Al contrario de lo que pasa en los últimos años cada temporada de otoño-invierno, es difícil encontrar en la prensa santiaguina de quince o veinte años atrás alguna información referente al tema. Las causas de este fenómeno son varias. Desde luego, lo más fácil sería pensar que la contaminación del aire es un hecho sólo de los tiempos recientes y, sin duda, algo hay de verdad en ello; la contaminación atmosférica ha crecido de la mano con el desarrollo industrial, el fenómeno de la urbanización de la población campesina y la explosión demográfica. Sin embargo, esto no parece ser la causa determinante de la importancia creciente que la población, sobre todo la de mayor ilustración, atribuye a este problema. Parece ser, y resulta lógico suponerlo, que a medida que problemas más urgentes, como la alimentación y la vivienda, van siendo resueltos, los países enfocan más su atención en lo que se ha llamado "calidad de vida", es decir, vivir en una forma más segura y placentera. Aquí la contaminación del medio, incluso en los aspectos estéticos, cobra importancia creciente. Además, la preocupación de personalidades relevantes por el tema en el mundo, con gran eco en los medios de comunicación de masas parece haber influido en forma determinante. El vertiginoso desarrollo de la información ha servido para dar resonancia adicional a esta situación, y la utilización política del tema lo ha traído una y otra vez al ámbito de la discusión pública.

Innumerables publicaciones científicas y de divulgación llenan volúmenes y nutren la discusión de quienes se interesan por el tema. Curiosamente, es difícil encontrar en este enorme número de publicaciones conclusiones exactas sobre la repercusión de la contaminación del aire sobre la salud humana. Si bien se ha demostrado en determinadas condiciones locales y en experimentos de laboratorio que es posible correlacionar los contaminantes atmosféricos con claros efectos sobre la salud, son escasos

los estudios que demuestran que la contaminación atmosférica, tal como se presenta en el ambiente urbano habitual, produzca daños medibles en términos estadísticamente significativos sobre la mortalidad humana. Por ejemplo, la esperanza de vida al nacer aumenta continuamente, especialmente en las ciudades, a pesar del incremento de la contaminación atmosférica. La asociación del fenómeno atmosférico con patologías específicas es también difícil de establecer, tal vez por los innumerables factores que producen efectos similares. El hábito de fumar, las condiciones laborales, los sistemas de calefacción doméstica, son sólo algunos de los factores de distorsión que dificultan obtener datos más precisos.

De todos modos, existen dos hechos concretos que no deben perderse de vista: hay una certeza razonable de que la contaminación atmosférica influye negativamente en la salud humana y, ciertamente, en la calidad de vida de la población, y es un hecho que la sociedad es cada vez menos tolerante frente a esta circunstancia, la que visualiza como una amenaza. Estos dos hechos generan presiones crecientes sobre las autoridades políticas, exigiéndoles la adopción de medidas. A su vez, las autoridades exigen de sus grupos de apoyo técnico que aporten soluciones, que no siempre dependen de ellos, ya que el fenómeno de la contaminación atmosférica tiene complejas raíces de índole económica que los técnicos no pueden abordar.

En muchos países, y Chile no es una excepción, esta complicada situación ha llevado a la creación de numerosas comisiones, comités de expertos y otros organismos de vida efímera e infructuosa que, más que aportar soluciones, han contribuido a crear confusión. Los avances técnicos han sido lentos y penosos, dificultados por la falta de medios y por las presiones de todo orden. Las propuestas de soluciones, a su vez, han sido titubeantes e infructuosas. Como resultado, la contaminación atmosférica continúa en muchos lugares del mundo dependiendo más de las variables naturales que de los esfuerzos de la sociedad por resolverla.

2. El equilibrio del aire

La atmósfera es sólo parte de un sistema. Junto con la ubicación geográfica de un lugar, la temperatura, el clima y la topografía, ésta interactúa con las actividades que se desarrollan en ese lugar en particular. El ecosistema está, por lo tanto, en íntima relación con casi el único factor capaz de desequilibrarlo. Este es, por supuesto, el hombre y sus actividades.

En términos simples, la atmósfera santiaguina —el valle de Santiago— recibe una determinada cantidad de contaminación cada día. Por otra parte, esta atmósfera tiene ciertos mecanismos que le permiten eliminar una cierta carga de contaminantes; si la carga es menor que la capacidad de limpieza de la atmósfera, el aire permanecerá limpio. Si, por el contrario, la carga es mayor, se presentará el fenómeno de la contaminación atmosférica.

Los mecanismos mediante los cuales la atmósfera se depura de contaminantes son fundamentalmente dos: el viento y la lluvia. Por ello es difícil que se produzcan problemas de contaminación atmosférica en lugares en que estos fenómenos son frecuentes. Esos lugares, por lo tanto, podrían recibir, en teoría, sin mayores problemas, cargas considerables de contaminantes. Sin embargo, debe tenerse presente que este equilibrio se mantiene a un costo: el de transferir los contaminantes por el viento a zonas alejadas o depositarlos, por la lluvia, en el suelo. De manera que, fatalmente, lo que el hombre arroje al aire (y lo mismo ocurre con el suelo y el agua) se volverá en su contra tarde o temprano. Esta terrible aunque simple realidad, que debería estar siempre presente en las conductas humanas, es el fundamento teórico de los mejores y más avanzados sistemas de eliminación de desechos industriales, que es, simplemente, no producirlos, mediante los llamados "procesos limpios" o su adecuada neutralización antes de ser transferidos al medio ambiente.

3. Antecedentes históricos de la contaminación atmosférica en Santiago

Crónicas de la época colonial se refieren a la suciedad del aire santiaguino. Probablemente se trataba de nubes de polvo que el viento arrastraba desde la zona semiárida de Buin. Deben haber contribuido también las numerosas fábricas de ladrillos y adobes que se ubicaban en esa área, y la leña y el carbón, únicos combustibles disponibles en ese entonces.

Sin embargo, este fenómeno no vuelve a aparecer en las antiguas crónicas locales, aunque algunos visitantes extranjeros se refieren a la suciedad polvorienta que se encontraba en la capital.

La contaminación atmosférica empezó a ser estudiada en Santiago, en forma sistemática, a partir de la década de los 60, cuando, como se dijo, se instalaron las primeras estaciones medidoras de la Red PANAIRE, con equipos donados por la Oficina Sanitaria Panamericana. El organismo que tomó a su cargo la operación de la red fue el antiguo Instituto de Salud

Ocupacional (INSO), tal vez porque en esa época la contaminación del aire se asociaba a los riesgos laborales y porque, además, no existía ningún organismo oficial dedicado a este tema específico. Esto refuerza la reflexión anterior sobre la escasa importancia que se asignaba al tema.

La reforma del sistema de salud estatal en Chile, en 1980-1981, fusionó el antiguo INSO con el Instituto de Salud Pública (el antiguo Instituto Bacteriológico) y creó, en la Dirección de Salud Metropolitana, un departamento de Contaminación Atmosférica, del cual pasaron a depender el personal y la red existente de estaciones monitoras. Cuando se creó, en 1982, el Servicio de Salud del Ambiente de la Región Metropolitana, asignando por primera vez un rango importante a los aspectos ambientales de la salud de la población, este departamento se transformó en el programa de Control de Calidad del Aire, con su personal y medios técnicos. El comienzo de la década de los 80 significó otro avance al integrarse al estudio de la contaminación atmosférica la autoridad política regional, a través de la Intendencia Metropolitana, que obtuvo, con ayuda del Banco Interamericano de Desarrollo, la instalación de cuatro estaciones monitoras automáticas, unidas a un sistema de control computacional central, y complementadas por una estación monitora móvil y una estación meteorológica, aún incompletamente implementada. Esta nueva red denominada MACAM (Red de Monitoreo Automático de Calidad del Aire Metropolitana), junto a las antiguas estaciones de la Red PANAIRES y otras estaciones semiautomáticas donadas por OPS, forman el actual sistema de control de la calidad del aire metropolitano.

En 1985 se ideó el primer índice de calidad del aire metropolitano, que consideraba las concentraciones de monóxido de carbono (CO) y de material particulado en suspensión (índice de suciedad). Este índice, que se usó por varios años, fue el primer intento serio de determinar la calidad del aire, para asociarla a una serie de medidas tendentes a evitar los llamados "episodios agudos de contaminación atmosférica". Algunas de estas medidas siguen en uso hasta hoy. En 1987 el índice se modificó, usando la información generada por la Red MACAM, para implantar dos índices aún en uso: uno de calidad de aire, según la concentración de gases contaminantes, y otro, que es el que determina hoy las situaciones de emergencia, que mide la calidad del aire conforme a la concentración de material particulado de tamaño respirable (menos de 10 micrones de diámetro).

Además de este continuo mejoramiento de la información sobre la calidad del aire aumentaba el interés por determinar, de una manera más exacta, el origen de los contaminantes. Este se suponía a partir de los

antecedentes bibliográficos y la experiencia en otros países, sumada a la cruda evidencia de determinadas fuentes de contaminación, pero no se disponía de datos concretos que confirmaran estas suposiciones. En el período 1983-1985 el Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente encargó al Departamento de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile un estudio destinado a caracterizar física y químicamente el material particulado, seguramente el contaminante atmosférico que más riesgo representa en Santiago. Este estudio fue la primera evidencia del origen de este contaminante. El propio Servicio de Salud, a pesar de sus escasos medios, realizó algunas estimaciones sobre origen y volumen de contaminantes atmosféricos. En 1986 este volumen se estimaba en total en más de 20.000 toneladas por mes.

En 1989, con un fuerte aporte financiero del BID, la Intendencia Metropolitana contrató con la empresa CADE-IDEPE otro estudio, destinado a analizar todas las fuentes fijas y móviles que emiten contaminantes atmosféricos en Santiago. Si bien el estudio se hizo sobre estimaciones, basadas en factores de emisión y volúmenes de combustibles utilizados, en el caso de las fuentes fijas, y de factores de emisión y kilómetros recorridos en el caso de los vehículos, y por lo tanto sus conclusiones son difíciles de aplicar en casos particulares, tiene la ventaja de considerar en las emisiones los que se denominaron "polvos fugitivos" que, en un alto porcentaje, son simplemente polvo del suelo. Con ello el volumen total conocido de partículas en suspensión se elevó de 19.410 a 46.830 toneladas por año, y cambió la contribución de las diversas fuentes al total.

Los resultados de estos estudios, que configuran el conocimiento actual sobre la contaminación atmosférica en Santiago, se muestran más adelante.

Mientras se acumulaban conocimientos sobre la naturaleza y origen de los contaminantes, crecía la inquietud por saber en qué forma influía la contaminación atmosférica sobre la salud de la población expuesta. La experiencia extranjera mostraba evidencia clara de efectos graves en casos de períodos determinados de alta concentración de contaminantes en el aire. El caso de Londres en 1952 constituye el más dramático de los ejemplos. Existe también evidencia bibliográfica que permite deducir que la contaminación atmosférica urbana produce daño en la salud, especialmente al agravar enfermedades preexistentes.

Los primeros estudios nacionales sobre la materia fueron realizados por el Dr. Hernán Oyanguren y colaboradores en 1972, sin llegar a conclusiones estadísticamente significativas. Otros estudios nacionales, en general de modesta cuantía, parecían apuntar a demostrar correlación de los

niveles de contaminación atmosférica con el aumento de afecciones respiratorias agudas y con molestias a la población. En 1985 el Servicio de Salud del Ambiente realizó el primer intento sistemático para determinar si existía o no esta relación. Los resultados indicaron que existe una asociación significativa entre contaminación del aire y molestias oculares y respiratorias en un grupo de la población residente en el centro de Santiago.

En 1988-1989, también con financiamiento del BID, la Intendencia Metropolitana encargó al consorcio SEEBLA-ARA-CONSECOL evaluar los efectos ocasionados a los habitantes de la región por la contaminación atmosférica. El resultado indicó que existían diferencias en el número de niños que presentaban síntomas respiratorios en Santiago en comparación con un grupo de control de la ciudad de Los Andes, pero sin poder llegar a determinar una relación dimensional de causa-efecto entre los síntomas y los niveles de contaminación.

4. Factores que determinan la contaminación atmosférica en Santiago

Ya se ha analizado el concepto de balance que domina en general el fenómeno de la contaminación atmosférica. El equilibrio que implica este balance es extremadamente frágil en Santiago.

La ciudad está emplazada en un valle precordillerano, rodeada por elevaciones topográficas prácticamente en todo su entorno. Este anillo presenta sólo dos aberturas importantes, una en el sector sur y otra en el sector poniente. Los vientos son escasos y de alcance limitado y tienen la característica de cambiar el sentido en que soplan en el día y en la noche, obedeciendo su dirección esencialmente a las variaciones de temperatura que experimentan los contrafuertes cordilleranos que limitan la ciudad por el oriente, aun cuando su dirección predominante es hacia el sur-oeste. El efecto dispersivo de los vientos, por lo tanto, es pobre, y consiste más bien en distribuir los contaminantes, especialmente el material particulado en toda el área de la región comprometida.

Las lluvias son relativamente escasas. En un año normal caen en Santiago 330,2 mm. de agua, principalmente entre los meses de mayo a septiembre, pero se registran numerosos años en los cuales los índices de precipitaciones son inferiores a este promedio. Por otra parte, la lluvia cae, generalmente, en forma de chubascos, que no contribuyen de manera importante al lavado de la atmósfera. En otras ocasiones, las precipitaciones son abundantes, pero con un espaciamiento en el tiempo que las hace

insuficientes, no persistiendo sus efectos en la calidad del aire más allá de uno a dos días.

La localización geográfica misma, aparte de las características topográficas ya mencionadas, presenta la condición desfavorable de que la ciudad está ubicada a $33^{\circ}27'$ de latitud sur, lo que la sitúa bajo la corriente descendente de la célula de Hardley. Como, además, la radiación solar es bastante intensa, con temperaturas elevadas durante el verano y templadas en el invierno, las corrientes de aire ascendentes producidas en la superficie generan, al encontrarse con las corrientes descendentes, un fenómeno de inversión térmica que actúa en la práctica como una tapadera, que dificulta aún más la dispersión de contaminantes. La altura del fenómeno inversivo depende directamente de la temperatura de la superficie, y se sitúa en verano aproximadamente a 1.000 m. de altura, descendiendo en invierno hasta llegar a 200 ó 300 m. sobre la superficie del suelo, comprimiendo los contaminantes y aumentando su concentración en el espacio de aire disponible. Por la frecuencia de este fenómeno, entre otras razones, la contaminación atmosférica aumenta notablemente en invierno en relación a los meses de verano.

Como muchos países, Chile ha sufrido los efectos de una urbanización descontrolada, producida por la migración de los habitantes de las zonas rurales hacia las grandes ciudades y, en especial, hacia la capital. Son de sobra conocidos los efectos de todo tipo que produce esta concentración de habitantes en las zonas urbanas, siendo la contaminación del aire, sólo uno de ellos.

Por razones de mercado y de proximidad a los potenciales compradores, las principales industrias han tendido a instalarse en la capital, en épocas en las cuales los criterios urbanísticos y de uso del suelo no estaban aún desarrollados. Esta tendencia determinó que una parte importante de la pequeña y mediana industria, y un sector no despreciable de la industria pesada, se encuentre establecido en el perímetro urbano o en su cercanía, diseminado de tal manera que, en la práctica, puede decirse que su distribución es pareja en las diversas comunas, con cierta predominancia en los sectores surponiente y norte del área. Esta situación no influye, sin embargo, mayormente en la distribución de la contaminación atmosférica.

Por último, un 42,7 por ciento de todos los vehículos del país circulan en la Región Metropolitana, estimándose que el total de ellos alcanza a unos 420.000. De éstos, unos 13.000 son autobuses de transporte colectivo, casi todos provistos de motor diesel, y unos 30.000 son automóviles de alquiler, de los cuales algunos están provistos también de este tipo de motor.

El planteamiento vial urbano no fue diseñado para esta cantidad de vehículos, lo que ha significado la producción, en varios sitios de la ciudad, de zonas de embotellamiento de tránsito o de congestión de vías, lo que contribuye a agravar la situación.

En líneas generales, quedan delineados los dos factores que influyen en la producción de contaminantes en la Región Metropolitana, de acuerdo al esquema clásico de fuentes fijas y fuentes móviles. Si a esto se suman las condiciones geográficas, topográficas y climatológicas adversas descritas anteriormente, es posible entender las razones por las cuales la ciudad de Santiago debe sufrir el problema de la contaminación de su atmósfera.

5. Naturaleza y efectos en el hombre de los contaminantes atmosféricos

Contaminantes más frecuentes

Los elementos que pueden contaminar el aire son numerosos, pero se ha centrado la atención en algunos de ellos por ser los más frecuentes en el aire urbano. Ellos son el monóxido de carbono (CO), el anhídrido sulfuroso (SO₂), los óxidos de nitrógeno (NO), el ozono (O₃) y las partículas en suspensión.

Monóxido de Carbono: es un gas incoloro e inodoro de gran capacidad de dispersión. En el organismo humano bloquea la hemoglobina, con la cual se combina para formar carboxihemoglobina, impidiendo así el transporte normal de oxígeno a los tejidos. Si la concentración alcanzada es suficientemente elevada, produce la muerte por anoxia. La duración de la exposición es igualmente importante, ya que el equilibrio no se alcanza rápidamente.

Concentraciones de 4 por ciento de carboxihemoglobina producen efectos medibles. Si se trata de fumadores o si se inhala en condiciones de gran actividad física, esta concentración puede alcanzarse rápidamente. Las personas que sufren patologías cardíacas están más expuestas a los efectos del CO.

En condiciones normales y con actividad moderada se alcanza la concentración de 4 por ciento de carboxihemoglobina en la sangre con una exposición de 24 horas a concentraciones de 25 partes por millón, (ppm); con 8 horas de exposición a 30 ppm y con una hora de exposición a 100 ppm. En Santiago se ha sobrepasado la norma que es de 35 ppm en

numerosas oportunidades en los últimos diez años, pero no hay evidencia de que se hayan alcanzado niveles sostenidos de 30 ppm o más. Sin embargo, hay que tener presente que las estaciones medidoras no se encuentran en los lugares más contaminados, como la calzada de las vías más concurridas, ni a la altura de los órganos respiratorios humanos. Es razonable suponer que en esos lugares precisos es posible que existan concentraciones muy superiores a las que miden las estaciones. Se ha postulado que la hipoxia relativa producida por la elevada concentración de carboxihemoglobina puede ser causa de algunos accidentes al disminuir el estado de alerta de los conductores. También se piensa que personas que trabajan en las vías más concurridas pueden tener un riesgo mucho más alto que la población general de sufrir patologías producidas por esta causa.

El monóxido de carbono no es un tóxico de efecto acumulativo, sino que se absorbe o elimina dependiendo de su concentración y presión parcial. De modo que al salir de un área contaminada, en pocas horas el individuo alcanza la concentración habitual en la sangre, que es de un 5 por ciento más o menos. Parece ser excepción la producción de patologías coronarias, en que la exposición crónica, sobre todo si se suma a una dieta rica en colesterol aumenta la presencia de depósitos ateromatosos arteriales.

Concentraciones de alrededor de un 7 por ciento disminuyen la capacidad visual, la coordinación manual, la capacidad para aprender y ciertos trabajos mentales finos. Estos efectos se acentúan en forma proporcional con el aumento de concentración de CO en la sangre. Por supuesto cualquier enfermedad preexistente que curse con hipoxia se agrava con el bloqueo para el transporte de oxígeno que produce la carboxihemoglobina. Para mayor mal, la afección del CO por la hemoglobina es más de 200 veces superior a la del oxígeno, por lo cual la carboxihemoglobina es un compuesto más estable que la oxihemoglobina.

Anhídrido sulfuroso: es un gas fuertemente irritante para el sistema respiratorio humano. Tiene un potente efecto constrictor del árbol bronquial y disminuye severamente la capacidad respiratoria, especialmente en personas asmáticas y otros portadores de enfermedades respiratorias. Además, puede transformarse con facilidad en ácido sulfúrico, también intensamente irritante. Dependiendo de las concentraciones existentes y del tiempo de exposición puede producir daños severos e irreparables en la función pulmonar.

Este contaminante rara vez se presenta aislado, y una de sus características es la potenciación de sus efectos cuando se asocia a contaminación por material particulado. En estos casos sus efectos irritativos

aumentan, y lo mismo ocurre cuando se asocia a ozono (u otros contaminantes fotoquímicos) o a óxidos de nitrógeno.

Su efecto sobre la vegetación es aún peor que sobre el hombre, produciéndose efectos negativos con concentraciones que no alcanzan a afectar —aparentemente— al ser humano.

En Santiago, rara vez se sobrepasan las normas, pero algunos expertos opinan que las concentraciones que se producen en las proximidades de grandes industrias pueden ser mucho mayores que las que se miden en el ambiente urbano general.

Óxidos de nitrógeno: son gases irritantes de las vías respiratorias. En personas expuestas experimentalmente se ha podido observar aumento de infecciones respiratorias especialmente bronquitis aguda, seguramente por la acción facilitadora de estas infecciones de la inflamación producida por el contaminante.

En general, producen también un efecto constrictor del árbol bronquial, lo que disminuye la capacidad respiratoria de los individuos. En animales de experimentación sometidos por cierto tiempo a la exposición, se ha observado modificación en el epitelio de las vías bronquiales y cambios degenerativos en la sustancia colágena del pulmón. Estas alteraciones patológicas son secuenciales y parecen ser definitivas.

En ciudades como Santiago, donde la radiación solar es alta, es difícil analizar en forma aislada la acción de los óxidos de nitrógeno; la razón es que en estas condiciones, su acción se asocia a la de los oxidantes fotoquímicos, como el ozono, sumándose y confundiéndose sus efectos. Por otra parte, los óxidos de nitrógeno, en presencia de la energía generada por la luz solar, reaccionan en la atmósfera con los hidrocarburos y producen la aparición de contaminantes secundarios, algunos de los cuales son oxidantes fotoquímicos que generalmente se expresan como ozono.

Los niveles que se alcanzan en Santiago son variables, pero suelen exceder la norma, especialmente en la época de mayor contaminación. Este es un caso especial entre los otros contaminantes analizados hasta aquí, ya que es posible observar diferencias notorias de las concentraciones alcanzadas en diversos puntos de la ciudad. Esto se debe a la distribución de las fuentes, como se analizará más adelante.

Ozono: Es un átomo de oxígeno anormal, que tiene propiedades oxidantes más intensas que el oxígeno y que se encuentra escasamente libre en la naturaleza. Se forma como resultado de una reacción entre óxidos de nitrógeno y ciertos hidrocarburos reactivos en presencia de energía solar.

En realidad los componentes que se generan en esta reacción son varios, e incluyen ozono, nitratos de peroxacilo, aldehidos y otros compuestos químicos complejos. Son oxidantes el ozono, el nitrato de peroxacilo y algunos de estos compuestos complejos que se miden de diversa manera, pero se expresan en general como ozono y así nos referiremos a ellos.

Sus efectos son fuertemente irritantes en los ojos, nariz y garganta, y son muy perceptibles por la población. En ciudades que tienen altas concentraciones de ozono, la mayoría o una gran parte de las molestias observadas se deben a este tipo de contaminante. Otros efectos más graves e importantes incluyen el aumento de los ataques de asma y bronquitis obstructiva infantil y una reducción general de la capacidad respiratoria de personas afectadas. Existe también una disminución evidente del rendimiento físico de personas que realizan esfuerzos o deportes.

En condiciones experimentales se han observado efectos funcionales, consistentes en una brusca contracción bronco-bronquiolar, y en la disminución de la capacidad defensiva del pulmón, lo que facilita infecciones bacterianas y virales. Esto parece deberse a disminución del número y actividad de los fagocitos y a ciertos cambios enzimáticos. Se han observado también cambios histológicos, consistentes en alteraciones evidentes del epitelio pulmonar, que puede llegar a la destrucción local si las dosis son suficientemente altas y la exposición es prolongada.

En el último tiempo se ha reunido experiencia que demuestra que exposiciones a concentraciones como las que es posible encontrar en Santiago pueden producir efectos constrictores de la vía respiratoria de intensidad mensurable y de prolongada duración, que puede alcanzar hasta semanas, e incluso meses, aún con exposiciones muy cortas. Es posible, por esto, que los efectos patológicos del ozono hayan sido subestimados.

Se ha sugerido que el ozono tendría capacidad mutagénica, es decir, cancerígena, pero no ha sido posible demostrarlo en forma clara.

Por otra parte, siendo interdependientes las concentraciones de óxidos de nitrógeno y de ozono, se supone que las mediciones que actualmente se realizan en Santiago subestiman las concentraciones de éste último. Este es un punto que requiere análisis especial y cuidadosas mediciones dirigidas.

Partículas en suspensión: varios nombres se han usado para designar este contaminante atmosférico: humo, polvo y arena han sido los más usados. En realidad se engloba en esta denominación a numerosas partículas de distinto origen, peso y tamaño que se encuentran presentes en el aire. El tipo de material depende mucho de la localización geográfica, de la

naturaleza del terreno y de la vegetación. En las áreas urbanas se agregan partículas provenientes de las actividades humanas, que llegan a constituir la parte más importante. El efecto en la salud humana de las partículas depende en gran medida de su naturaleza, pero también de su tamaño. Otro factor que debe considerarse es la cantidad y naturaleza de las sustancias que se encuentran adheridas a la superficie de las partículas y su asociación con otros contaminantes atmosféricos.

Una parte importante del material particulado total presente en la atmósfera de Santiago está constituido por polvo de suelo. Este se levanta por acción del viento, del tránsito vehicular y del uso general de terrenos y calles sin pavimentar y depende, lógicamente, de la naturaleza árida del terreno en que se ubica la ciudad. Consiste en partículas de sílice de diverso tamaño y peso, y de diminutos trozos de material orgánico.

Otra parte proviene de la quema de combustibles, sean de fuentes fijas o de vehículos. Esta fracción consiste en partículas de hollín, con algunas partículas cristalizadas.

El resto proviene de procesos industriales, sea de acopios de materias primas o, más importante, de procesos generadores de combustiones a altas temperaturas como hornos industriales y consiste en general en material cristalizado.

El tamaño de las partículas es determinante para sus efectos en la salud humana, por su diferente capacidad de penetración en el árbol respiratorio y por su permanencia en suspensión en el aire. Cuanto más pequeña es una partícula más tiempo permanecerá en suspensión en el aire y más profundamente penetrará en el pulmón humano. El límite de respirabilidad de las partículas se ha fijado en forma más o menos arbitraria en un diámetro aerodinámico de diez micrones. Las partículas mayores que ese tamaño son retenidas en la parte superior del árbol respiratorio y son expulsadas al exterior por la tos y el movimiento de los cilios de las células epiteliales. Las de menor tamaño penetran profundamente y pueden permanecer en los alvéolos pulmonares por años o para siempre. Este es el caso de las partículas que miden dos micrones o menos, disminuyendo su penetración y su permanencia a medida que aumenta su tamaño.

El efecto del material particulado en el pulmón es fuertemente irritante. Los filosos bordes de las partículas de sílice irritan la mucosa respiratoria e inducen cambios que pueden ser permanentes y que en determinados casos se asemejan a metaplasias. Las partículas de hollín tapizan el epitelio respiratorio. Funcionalmente, estos efectos se traducen, en el caso de la exposición aguda, en espasmo irritativo del árbol bronquial y disminución de la función respiratoria, medible mediante pruebas de

volumen respiratorio forzado y de flujo respiratorio máximo. En el caso de la exposición crónica se observa también una disminución de la capacidad respiratoria y aumento de los casos de infección respiratoria aguda y crónica, tanto en frecuencia de los episodios como en su gravedad.

El material particulado de la atmósfera tiene una característica diferente de los gases que se han analizado: es visible, produce un aspecto gris y deprimente de las ciudades, ensucia los edificios y la ropa y claramente disminuye la calidad de vida. Por eso, el público reacciona ante la contaminación por partículas con mayor intensidad que ante otros contaminantes.

En el caso de Santiago esta reacción es más que justificada, ya que el material particulado es el contaminante que con mayor frecuencia sobrepasa las normas establecidas y es, en general, un buen indicador de la concentración de contaminantes en la atmósfera.

Otro hecho que se debe considerar es que el material particulado contiene adherida en su superficie, por un fenómeno de adsorción, una fuerte carga de otros contaminantes. Es posible encontrar hidrocarburos, óxidos de azufre y metales pesados asociados a las partículas. Interesa especialmente la presencia de hidrocarburos, cuyos efectos son fuertemente cancerígenos en algunos casos. El benzoalfapireno y otros hidrocarburos aromáticos se encuentran en importantes cantidades en la atmósfera de Santiago, generalmente asociados a partículas. Es probable que Santiago sea una de las ciudades del mundo con mayor concentración de estos agentes en su atmósfera, de acuerdo a algunos estudios.

Otros contaminantes

- Hidrocarburos: se asocian en general a quema de combustibles. Son compuestos complejos, algunos de los cuales son mutágenos y teratógenos. Reaccionan con los óxidos de nitrógeno en presencia de luz solar para formar oxidantes del tipo del ozono. Sus efectos ya han sido analizados.
- Los metales pesados tienen variado origen. De ellos, el más importante es el plomo, que puede producir intoxicaciones severas en el hombre provocando una enfermedad denominada saturnismo. El cadmio y el vanadio se han reportado como potencialmente peligrosos, pero no existe evidencia epidemiológica de sus efectos.

- Los alérgenos orgánicos, como el polen, los mohos y las fibras vegetales, así como las pinturas y solventes pueden producir reacciones de sensibilización en personas susceptibles. Sus efectos son inciertos, salvo el caso de las rinitis alérgicas y, probablemente, algunos casos de asma.
- El asbesto proviene de aislación de edificios y de sistemas de fricción (como frenos de vehículos); es capaz de producir una entidad patológica denominada asbestosis y un tipo especial de cáncer llamado mesotelioma. No es un problema real en la atmósfera de Santiago.
- Los gases malolientes o emanaciones de mal olor pueden ser una de las formas más desagradables y evidentes de contaminación atmosférica. Se producen, en general, en la cercanía de industrias que utilizan desechos animales o residuos. En Santiago es conocido el caso de los rellenos sanitarios ubicados en la proximidades de áreas densamente pobladas que han generado graves molestias a la población cercana. En general, se trata de emanaciones circunscritas a áreas pequeñas, con fuentes fáciles de reconocer y cuya solución no suele implicar grandes costos.

La exposición a la contaminación atmosférica urbana

Si no es fácil determinar el efecto exacto de los contaminantes aislados sobre la salud humana y menos aún establecer alguna relación causa-efecto cuantitativa, existe aún mucha mayor dificultad en establecer, sobre bases objetivas y medibles, los efectos de la contaminación atmosférica global, especialmente en el largo plazo.

Los episodios agudos de contaminación atmosférica son dramáticamente elocuentes. Es evidente que significan deterioro grave de la salud de la población y ocasionan un exceso de defunciones que es posible cuantificar. Por el contrario, los efectos de exposiciones prolongadas a concentraciones de contaminantes que se acercan o sobrepasan ocasionalmente las normas son mucho más inciertos. Tal vez la falta de estudios epidemiológicos prolongados influya en esta incertidumbre.

De todos modos, existe evidencia de que contaminantes aislados pueden producir efectos en la salud y también de que varios de ellos se potencian al asociarse. Por otra parte, no existe evidencia alguna de que

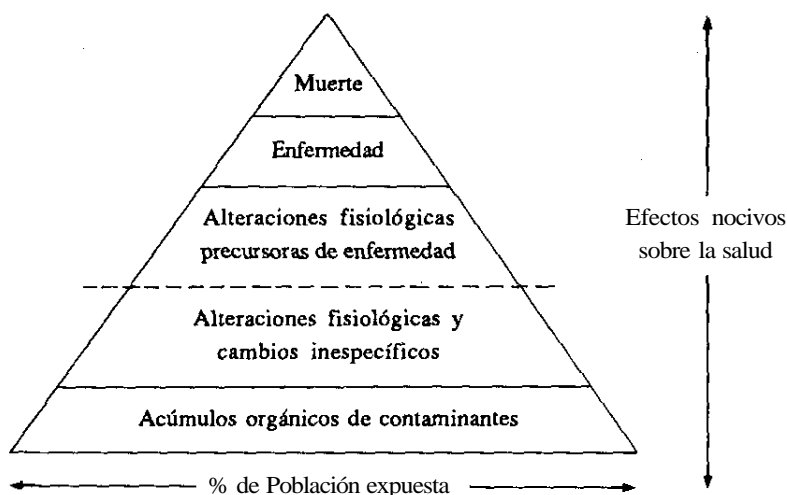
ningún grado de contaminación atmosférica pueda influir favorablemente en la salud.

La revisión de la literatura y la propia experiencia indican que la contaminación de aire produce, al menos, los siguientes efectos:

- Disminuye la calidad de vida, entristeciendo y ensuciando las ciudades y paisajes.
- Produce molestias sensibles para toda la población, en forma de irritación de ojos, nariz y garganta.
- Agrava los padecimientos de determinadas personas que sufren enfermedades crónicas, especialmente respiratorias y cardiovasculares.
- Desencadena ataques asmáticos y de bronquitis obstructiva en sujetos sensibles.
- Es causa de depresión psíquica en personas propensas.

Además, existe evidencia indirecta de que se asocia a cáncer y malformaciones congénitas; sin embargo, los estudios epidemiológicos no son concluyentes en este aspecto.

Según un comité de expertos de la Organización Mundial de la Salud (O.M.S.) reunidos en 1972, criterio en general aceptado hoy, las relaciones existentes entre la exposición a la contaminación del aire y la enfermedad humana son complejas y sólo parcialmente conocidas, ya que la enfermedad y la muerte son el límite extremo de una variada escala de respuestas orgánicas a la contaminación. Lo ideal sería disponer de ecuaciones de dosis-efecto para cada contaminante y también para sus asociaciones, especialmente en los casos en que los sinergismos son conocidos. Por desgracia, no se dispone de tal información y es improbable que ella se obtenga en el futuro próximo, por las dificultades inherentes a este tipo de investigación, tanto técnica como epidemiológicamente y por los aspectos éticos implicados en la experimentación e incluso en los estudios de seguimiento. El esquema siguiente da una idea de la respuesta del organismo o la exposición a contaminantes.



Este cuadro, adaptado de un documento del Congreso de los Estados Unidos significa que del total de la población expuesta, y a medida que aumenta la contaminación, determinadas personas sufren enfermedades e incluso muerte, mientras el grueso de la población acumula contaminantes en su organismo y sufre diversos grados de molestias o patologías no específicas.

Existe, sin embargo, una gran imprecisión de las relaciones dosis-respuesta, por lo que las normas de calidad del aire deben tener un margen de seguridad suficientemente amplio como para proteger efectivamente al público. Este margen de seguridad depende, sin embargo, de diversos factores; probablemente los factores económicos y políticos sean los que primen en el momento de tomar las decisiones. También es importante saber qué grado de exactitud tienen las mediciones de calidad del aire y su frecuencia, así como la posibilidad de predecir con certeza el comportamiento de la atmósfera.

6. Origen de los contaminantes

El origen de los contaminantes es conocido y la fuente de cada uno de ellos puede ser identificada, sea en forma individual o grupal. Lo que varía de una ciudad a otra es la forma en que las diferentes fuentes contribuyen al total de la contaminación urbana, y ello se debe, a su vez, a las diferencias en el modo de vida y de desarrollo de cada una. Además, influye la época que se analiza: Londres no es hoy la ciudad de 1952 y es

difícil que un fenómeno como el que causó en ese año tantas muertes pudiera repetirse en la actualidad. Contribuyen también a la diferencia los factores topográficos y climatológicos de cada localidad.

Analizaremos, en primer lugar, el origen de cada contaminante por separado y trasladaremos después este análisis al contexto de la ciudad de Santiago.

- El monóxido de carbono proviene en un alto porcentaje de los vehículos provistos de motor bencinero o de ciclo Otto. También lo producen los motores diesel y la combustión doméstica.
- El anhídrido sulfuroso proviene de la quema de petróleo, tanto en fuentes estacionarias, plantas generadoras de vapor, por ejemplo, como en vehículos con motor diesel, y también de algunos procesos industriales.
- Los óxidos de nitrógeno provienen de la quema de combustibles, especialmente de los automóviles que utilizan gasolina.
- El ozono y los otros oxidantes fotoquímicos se forman en la atmósfera por la reacción entre los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos en presencia de energía solar.
- Las partículas en suspensión provienen del suelo, de la quema de combustibles y de ciertos procesos industriales.
- Los metales pesados provienen de faenas mineras y de fundiciones.
- Los hidrocarburos provienen del petróleo y de los gases de escape de los vehículos de motor.

La situación de la Región Metropolitana difiere de otros lugares del mundo que sufren contaminación atmosférica por sus características geográficas y meteorológicas y por el tipo de emisiones. Por ello la situación no es enteramente comparable a la de otros sitios ni los valores de emisión por fuente son iguales. Es posible, incluso, que los efectos en la salud de concentraciones de contaminantes similares a los que se encuentran en otras ciudades puedan ser diferentes.

La contribución que las distintas fuentes hacen a la contaminación atmosférica en la Región Metropolitana ha sido analizada en varios

estudios, tomando como referencia la emisión teórica calculada a base de factores de emisión. Entre estos estudios pueden citarse los de CORFO-MINSALUD (1976), Universidad de Chile-Odeplan (1981), Universidad de Chile (1985) e Intendencia Metropolitana-BID-CADE-IDEPE.

Para los contaminantes gaseosos se tomó como referencia los resultados del estudio efectuado por un grupo de trabajo de la Universidad de Chile (1985) y para las partículas en suspensión las conclusiones del "Estudio de Caracterizaciones Físicas y Químicas de Partículas en Suspensión en la Región Metropolitana", realizado también por la Universidad de Chile.

Cabe hacer presente que los estudios señalados tienen algunas limitaciones que es importante tener en cuenta. En primer lugar, las estimaciones de las emisiones de contaminantes gaseosos fueron hechas con factores de emisión de países extranjeros, que bien pueden no corresponder a la realidad chilena. En segundo término, el estudio de partículas en suspensión adolece de algunas deficiencias tales como una identificación relativa de las fuentes de contaminación en el modelo utilizado con los contaminantes emitidos, y la no consideración de los procesos industriales como fuentes de emisión.

El cuadro siguiente muestra cuál es el aporte a cada contaminante, de cada tipo de fuente, expresado en porcentaje:

Tipo de Fuente	C O	NOx	HC	SOx	PTS
1 Fuentes fijas					
Calderas y hornos	1,2	6,9	1,3	58,1	8,0
Procesos industriales	0,6		3,0	26,6	
Terminales de transporte	0,2	0,7	0,9	-	
Distr. de combustibles			9,5	-	
Residencias	5,8	4,6	8,0	1,0	
Polvo de calles					64,0
2 Fuentes móviles					
Vehículos gasolina	89,3	45,2	72,2	3,0	3,0
Vehículos diesel	2,9	42,6	5,1	11,3	25,0
Totales	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fuente : Véase p. 19.

Al analizar estas cifras es necesario tener presente que se trata de porcentajes, y no de cifras de emisión total ni de emisiones en relación a las normas de calidad del aire. El ozono no figura en el cuadro resumen porque se trata de un contaminante secundario, como ya se dijo, y en su generación influyen otros contaminantes y la radiación solar. En todo caso, sus concentraciones se relacionan con los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos, por lo que es posible atribuirlo en un alto porcentaje a las fuentes móviles.

Es posible apreciar que algunos contaminantes se asocian claramente con las fuentes fijas, como los óxidos de azufre ($\text{SO}_x = \text{SO}$ y SO_2) y el material particulado (PTS). Otros se originan evidentemente en las fuentes móviles, como el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los hidrocarburos (HC). Esto da un indicio de cuáles son, en forma gruesa, los orígenes de los contaminantes y orientan hacia el tipo de solución que se requiere adoptar para resolver cada caso.

Sin embargo, este análisis es insuficiente para poder determinar con claridad cuál es exactamente el problema y cómo enfrentarlo. Si bien es cierto que ninguna presencia de contaminante puede considerarse beneficiosa para la salud, a toda concentración, es evidente que algunos encierran más peligro sanitario que otros, sea por su acción patogénica más energética o porque sus concentraciones son especialmente elevadas. Visto el problema desde este punto, es posible decir que las fuentes móviles representan mucho más riesgo para la salud que las fuentes fijas. Las razones son las siguientes:

Los contaminantes atribuibles a las fuentes fijas en mayor proporción son los óxidos de azufre y las partículas en suspensión. Sin embargo, los óxidos de azufre no superan, en general, las normas de calidad del aire, con las salvedades que se expresaron antes y no son, por lo tanto, una prioridad en cuanto a solución. En cuanto a las partículas en suspensión, es necesario recordar el concepto de respirabilidad que se analizó antes para determinar su importancia como agente patógeno. Si el volumen total de material particulado se analiza desde ese punto de vista, se obtiene lo que se muestra en los cuadros siguientes:

Respirabilidad del material particulado

Diámetro de partículas en μm	10	5	3,5	2,5	2,0
Respirabilidad %	0	25	50	75	100

Aporte estimado por fuente a la fracción respirable

Tipo de fuente	Aporte (%)
Polvo de calles	15
Calderas	9
Vehículos	75
-	4,0
- diesel	71,0

De tal manera que el aporte de los vehículos, en especial los provistos de motor diesel, es importantísimo en la fracción de las partículas que producen serio daño a la salud.

Si se suma a este hecho que los vehículos generan también los óxidos de nitrógeno, el monóxido de carbono y los hidrocarburos, peligrosos de por sí y además generadores de ozono, se verá que la contaminación atmosférica de la Región Metropolitana, en lo que se refiere a efectos en la salud, está estrechamente ligada a los vehículos de motor, y mucho menos a la producción industrial.

Si bien el polvo del suelo es muy importante en cuanto a porcentaje de aporte a las partículas totales, su importancia disminuye notablemente en los aspectos de salud, ya que se trata en general de partículas grandes y pesadas con poco efecto en la salud de la población.

Si el análisis se profundiza más se verá que las emisiones vehiculares pueden dividirse en dos: las que provienen de los vehículos bencineros y las que son generadas por los vehículos diesel. Los primeros son responsables de casi todas las emisiones de monóxido de carbono, de dos terceras partes de los hidrocarburos y la mitad de los óxidos de nitrógeno. Los motores diesel, en cambio, generan más de dos tercios de las

partículas respirables y casi la mitad de los óxidos de nitrógeno. Hacen, además, una contribución no despreciable a los óxidos de azufre.

No es una exageración, por lo tanto, asociar la contaminación atmosférica metropolitana con su parque vehicular, sin que ello signifique ignorar los aportes de las fuentes fijas. Pero desde el punto de vista de las prioridades en lo que se refiere a la búsqueda de soluciones no existe duda alguna.

Otras fuentes menores de contaminación atmosférica son muchas veces mencionadas, en ocasiones en forma que no guarda relación con su importancia: la quema de hojas, el barrido de calles y la calefacción domiciliaria se cuentan entre ellas, aunque existen indicios de que esta última podría estar adquiriendo importancia creciente en el último tiempo.

7. Normas de calidad del aire

Las normas de calidad del aire son esenciales para cualquier intento de disminuir la contaminación. Van, en general, asociadas a las normas de emisiones permitidas, y es fundamental que sean coherentes, lógicas, prácticas y conocidas.

Las normas vagas e imprecisas, comunicadas a veces por medio de una fraseología grandilocuente, son una de las mejores maneras de no tener normas. Se requieren, en cambio, normas claras, lo más simples posible, basadas en sólidos principios científicos y técnicos. Esta consideración, que parece obvia, no es, sin embargo, tenida suficientemente en cuenta. En el caso de nuestro país, por ejemplo, falta una serie de normas sobre calidad del aire y sobre emisiones máximas permitidas. En esos casos, se aplican, a veces, "normas de referencia" (en general los valores de EPA-USA), que se hacen valer como si fueran reglamentos debidamente promulgados en el país. Fácil es comprender que en esos casos, las autoridades se ven en serios aprietos cuando se les exige justificar medidas, a veces costosas, que se basan en esas "normas de referencia".

Además, todas estas normas deben ceñirse a métodos objetivos y reproducibles y ser suficientemente comprensibles como para guiar las decisiones de las personas interesadas en invertir en empresas potencialmente contaminantes.

Las normas de calidad de aire vigentes en Chile figuran en el cuadro siguiente:

CUADRO N° 1
 Normas de calidad de aire en Chile
 (Resolución N° 1215 del Ministerio de Salud,
 Santiago 22 de junio de 1978)

Contaminante	Norma de calidad de aire	Unidades	Períodos
Partículas en suspensión	75 * 260	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Anual 24 horas una vez al año
Anhídrido sulfuroso	80 365	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Anual 24 horas una vez al año
Monóxido de carbono	9 35	ppm ppm	8 horas una vez al año 1 hora una vez al año
Dióxido de nitrógeno	100 300	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Anual 24 horas
Oxidantes fotoquímicos expresados como ozono	160	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 hora una vez al año

*: Media Geométrica.

Al analizar el cuadro, se ve que sólo existen normas para algunos contaminantes y faltan para algunos de los que se consideran más peligrosos, como los hidrocarburos y las partículas respirables. (La fracción respirable en Santiago es más o menos el 40 por ciento del total.) Esto se debe, al menos en parte, a la falta de instrumentación apropiada para medirlos y a la escasa experiencia nacional en la materia.

Los valores de calidad del aire nacionales son muy semejantes o iguales a los adoptados por países más desarrollados, especialmente los Estados Unidos, cuya Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA) ha jugado un rol determinante en la fijación de criterios y normas, no siempre válidas para nuestra realidad nacional.

Si las normas de calidad del aire son insuficientes, lo mismo, a lo menos, pasa con las normas de emisión para las diversas fuentes. En los cuadros siguientes se muestran las normas de emisión vigentes para fuentes fijas y fuentes móviles.

CUADRO N° 2

Normas de emisión de fuentes fijas
(Resolución N° 611 del Ministerio de Salud,
Santiago 9 de marzo de 1979)

Contaminante	Concentración permitida en chimeneas de descarga
Partículas en suspensión en procesos industriales	112 µg/m ³

Humos	Densidad colorimétrica no superior al Padrón N° 2 de la escala Ringelmann. Permitido durante quince minutos al día para la operación de calentamiento del equipo. Permitido durante tres minutos consecutivos o no, en el lapso de una hora.
-------	--

CUADRO N° 3

Normas de emisión de fuentes móviles
(Decreto N° 279 del Ministerio de Salud,
Santiago 15 de julio de 1983)

Normas de emisión para control en la vía pública

Vehículos bencineros	— Detección instrumental para monóxido de carbono. La comprobación se efectuará según norma fijada Decreto N° 279. — Se prohíbe emisión de humos visibles.
Vehículos petroleros	— Se sancionará la emisión continuada de humo visible por el tubo de escape, por un período superior a cinco segundos.

CUADRO N° 4
Normas de emisión de fuentes móviles
(Decreto N° 279 del Ministerio de Salud,
Santiago 15 de julio de 1983)

Normas de emisión para cumplir en revisión técnica

Vehículos bencineros

Contaminante	Año de fabricación del vehículo	% máximo de CO en volumen	Método instrumental
Monóxido de carbono	Anterior y hasta 1980	4,5	Infrarrojo no dispersivo
	1981 y 1982	3,5	
	Desde y posterior a 1983	3,0	

Contaminante	Norma	Método instrumental
Humos visibles (Panículas en suspensión)	No se permite la emisión de humos visibles, sólo la emisión de vapor de agua	Reflectométrico

Vehículos petroleros

Contaminante	Norma	Método instrumental
Humos visibles (Partículas en suspensión)	índice de ennegrecimiento deberá ser inferior o igual al índice de ennegrecimiento correspondiente a la potencia del motor del vehículo	Reflectométrico

La ausencia de normas de emisión es especialmente evidente en el caso de las fuentes fijas, que sólo están sujetas a normas de emisión de

material particulado y en las cuales aún se usa el término "humos" para señalar el ennegrecimiento del aire. Esto impide controlar, de alguna manera, las emisiones de óxidos de azufre, por ejemplo, a pesar de que este contaminante se genera principalmente de estas fuentes.

Además de las normas de calidad de aire y de emisiones mencionadas, existe una serie de otras normas, reglamentos y leyes, que no pueden ser aplicados por su vaguedad e imprecisión. Por ejemplo, el Código Sanitario dispone que la autoridad sanitaria deberá "controlar y eliminar todos los elementos, factores o agentes del medio ambiente que afecten la salud, seguridad o bienestar del hombre o sus bienes". Es evidente que un precepto legal tan amplio no puede ser aplicado, ya que implica discrecionalidad en las decisiones de la autoridad que resulta prácticamente inaceptable. Otras normas dan competencia sobre la misma materia a diversos organismos, por ejemplo, cierto decreto del Ministerio de Agricultura se refiere a la protección de la salud de los habitantes contra humos y gases que sean arrojados al aire por empresas o artesanías, y se incluye en esta protección a los animales y vegetales.

Estos son ejemplos claros de lo que no debería ser una norma de calidad de aire, de acuerdo a los principios que antes se comentaron.

Un problema adicional, cuya importancia se ha ido haciendo más evidente en los últimos años, consiste en que las normas de emisión de fuentes fijas se refieren a concentraciones máximas permitidas y no a volúmenes totales de emisión. De esta manera una pequeña industria que emita, por ejemplo, $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de material particulado se encuentra fuera de las normas, aunque su producción total sea sólo de una o dos toneladas por año. En cambio, una gran empresa que emita miles de toneladas por año se encontrará en situación legal, siempre que sus concentraciones sean inferiores al límite permitido de $112 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En resumen, las normas existentes son insuficientes e imprecisas y dificultan la labor de combatir efectivamente la contaminación del aire. Este factor, aunque desconocido para el público general, es el origen de una serie de medidas vagas, impopulares y de escaso efecto, y han sido un severo obstáculo y hasta un riesgo para las autoridades que las han adoptado y siguen haciéndolo. Esta situación debe ser considerada prioritariamente en el futuro, cuando se intente seriamente afrontar el problema de contaminación atmosférica en la Región Metropolitana. De lo contrario, todos los planes que se hagan se estrellarán contra los porfiados hechos, como ha ocurrido hasta ahora, con escasas excepciones.

Cuando se desee implementar nuevas normas o mejorar las existentes será indispensable considerar el marco político en que ellas se

adopten, ya que éste está estrechamente ligado a los costos y a la disposición de pagar por la descontaminación. Como antes se dijo, los países asignan diversa prioridad a la descontaminación del medio ambiente, lo que depende de sus modelos de desarrollo y de sus reales posibilidades económicas. No considerar esas realidades al fijar normas, las condenaría a nacer como letra muerta, sobre todo si no se determinan claramente los plazos para aplicarlas.

Un punto final que se debe considerar aquí: es indispensable que la población esté informada de la calidad del aire que respira; es necesario que ésta se dé a conocer mediante los medios de comunicación masiva para que el público pueda cuidarse y para que contribuya a disminuir las concentraciones. Esto puede hacerse informando directamente la concentración de cada uno de algunos contaminantes seleccionados o mediante un "índice" que señale mediante una cifra o una calificación el nivel de contaminación existente.

En Chile se han usado dos de estos índices: el primero se creó en 1985 y relacionaba la calidad del aire con la concentración de partículas totales, medidas como índice de suciedad, y con la contaminación de CO expresada en partes por millón. Si bien su exactitud era discutible, por decir lo menos, era lo mejor que podía hacerse con la instrumentación existente, y sirvió para que toda la población entendiera de qué se hablaba y tomara conciencia de la situación, y también para la interlocución entre los grupos técnicos y las autoridades políticas.

Posteriormente, con mejores métodos de medición, se estableció un índice de calidad compuesto: uno referido a gases y otro a partículas respirables. Este método, similar a índices que se usan en otras ciudades del mundo, está todavía en uso y se ha demostrado eficiente, aunque las mediciones que lo originan se obtienen en un área restringida de la parte más central de la ciudad. Es previsible que en el futuro pueda mejorarse para hacerlo más representativo de la situación global.

8. Los contaminantes atmosféricos en el tiempo

El comportamiento de los contaminantes atmosféricos en Santiago puede —y debe— ser analizado en el tiempo. Y este análisis debe comprender tres tipos de variación: la evolución de los contaminantes a lo largo de los años en que han existido mediciones, las variaciones de sus

concentraciones estacionales, y la evolución de las concentraciones a lo largo del día.

Cada contaminante se puede seguir, desde este punto de vista, en forma individual, ya que existen datos suficientes para ello. Estos datos tienen ciertos sesgos que hacen difícil su comparación temporal exacta, pero sirven para dar una idea general de las evoluciones. El principal sesgo lo constituye el hecho de que las mediciones no han sido similares a lo largo de los años. Por ejemplo, el monóxido de carbono se midió, por muchos años en una sola estación, ubicada en pleno centro de Santiago; actualmente en cambio se mide en varias estaciones, pero ninguna de ellas está ubicada en el mismo lugar. También ha habido variaciones en la forma de efectuar las mediciones, e incluso en la altura a la cual se recolectan las muestras de aire. Sin embargo, es posible, como se dijo, hacerse una idea general de la evolución de los contaminantes en los últimos años.

Lo mismo ocurre con la evolución de las concentraciones de contaminantes a lo largo de los meses del año, y las consideraciones anteriores son también válidas.

En cambio la variación de las concentraciones a lo largo del día es un dato enteramente nuevo, posible sólo de conocer desde que se posee la información que proporciona la red MACAM, que es mucho más exacta, aunque sólo se obtiene en los sitios en que actualmente están ubicadas las estaciones muestradoras. Sin embargo, esta información ha resultado de gran interés para determinar cómo se comportan los contaminantes durante el día. Y ha servido para correlacionarlas con las actividades que probablemente las generan.

8.1 Comportamiento de los contaminantes en el último decenio

Se presentan a continuación algunos gráficos que ilustran el comportamiento de algunos contaminantes en el decenio 78-88. Por razones de espacio, se muestran dos gráficos que son representativos del comportamiento de los contaminantes en las diversas estaciones que los miden, todas las cuales arrojan similares resultados: el anhídrido sulfuroso y las partículas totales en suspensión.

GRAFICO N° 1
Anhídrido sulfuroso
(Período 1978-1988)

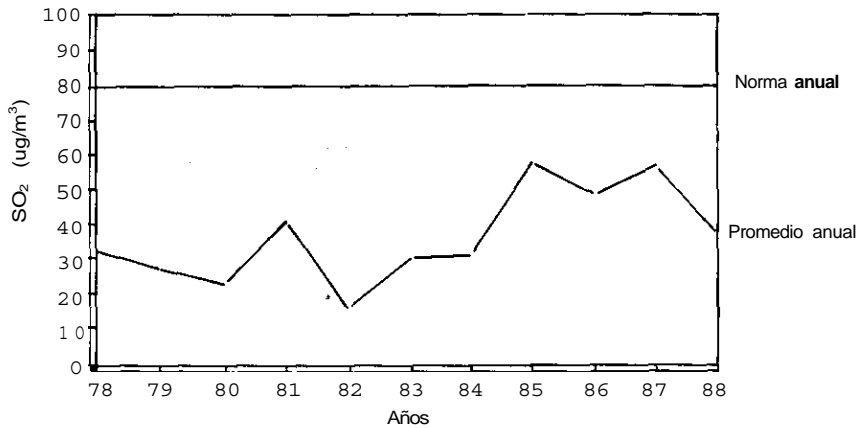
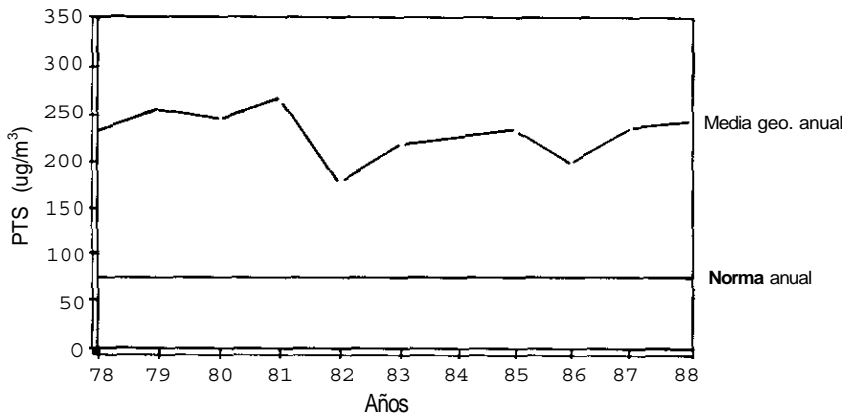


GRAFICO N° 2
Partículas totales en suspensión
(Período 1978-1988)



Estos dos gráficos muestran datos provenientes de la misma estación. Es evidente que mientras los óxidos de azufre se han mantenido siempre bajo las normas establecidas, no ha habido un solo año en que el material particulado no las haya sobrepasado. Por otra parte la tendencia a lo largo de los años ha variado poco a pesar de que hace doce años poco o

nada se hacía en cuanto a medidas de control y existía menos actividad productiva que hoy día.

Otros contaminantes se han comportado en forma diferente a lo largo de los años, dependiendo del lugar de medición. Un claro ejemplo lo constituyen los óxidos de nitrógeno.

GRAFICO N° 3
Dióxido de nitrógeno Estación 14
(Período 1978-1988)

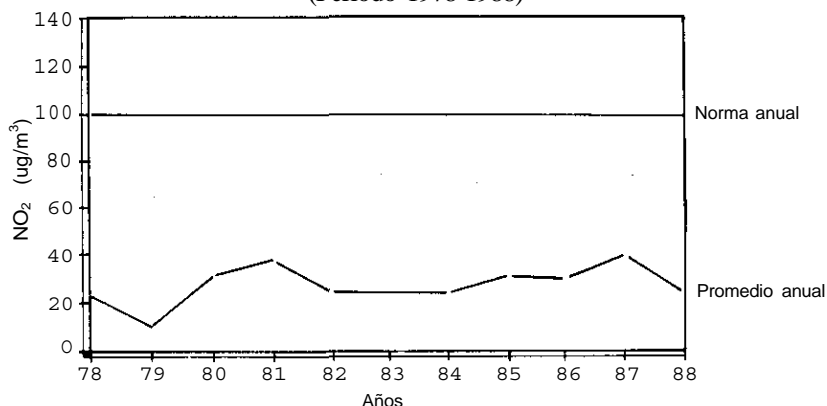
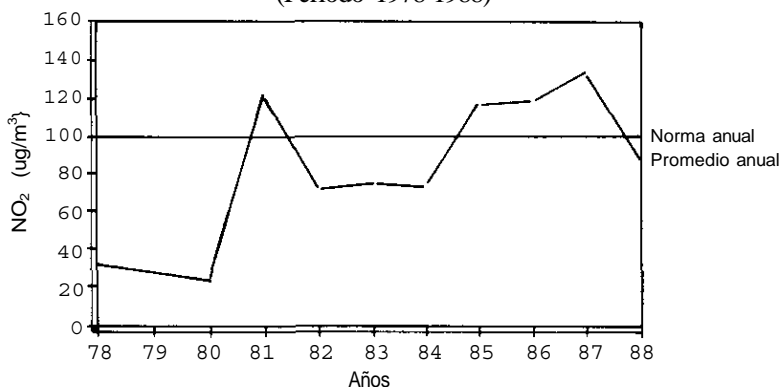


GRAFICO N° 4
Dióxido de nitrógeno Estación 5
(Período 1978-1988)



Es posible observar aquí que los óxidos de nitrógeno tienen un comportamiento diferente, en el decenio observado, en dos lugares distintos. En uno de ellos (estación 14 ubicada en la comuna de La Granja) se ha

mantenido una concentración media anual uniforme. En cambio, en otra (estación 5, ubicada en un área mucho más central), el comportamiento de los óxidos de nitrógeno ha sido mucho más variable, en cierto modo errático y sin tener, al parecer, ninguna tendencia definida.

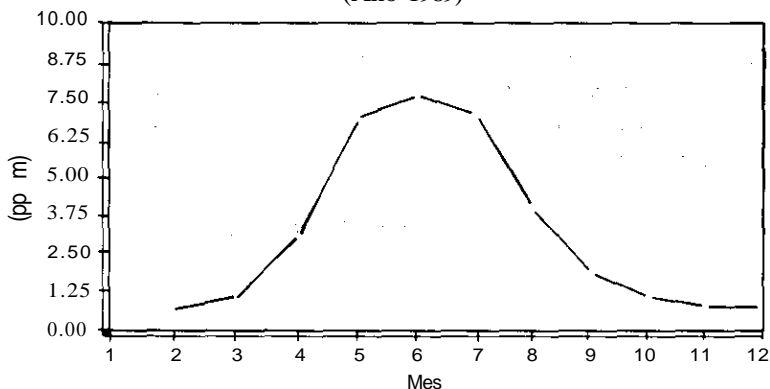
Es posible decir, por lo tanto, que el comportamiento de los contaminantes en el decenio 78-88 ha sido más o menos uniforme y característico para cada uno de ellos, sin que aparentemente hayan sido influidos por las medidas de control que se han adoptado en el último tiempo. En el caso del monóxido de carbono los datos son insuficientes para obtener una conclusión y lo mismo ocurre con el ozono. En el caso del óxido de nitrógeno es probable que sus variaciones en algunos lugares se deban a una combinación de la circulación vehicular y de la cantidad de radiación solar de cada año. De ser así, debiera haber una variación equivalente e inversa de las contaminaciones de ozono, dato del que no se dispone.

8.2 Variación de las concentraciones de contaminantes a lo largo del año

Las concentraciones de monóxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y partículas en suspensión están fuertemente ligadas a la altura de la capa de inversión que existe sobre Santiago, cuya altura depende fundamentalmente de la temperatura en la superficie. Por lo tanto, en los meses fríos, cuando la capa de inversión desciende, las concentraciones aumentan. El gráfico siguiente, que representa las concentraciones medias mensuales de monóxido de carbono, es típico de esta tendencia.

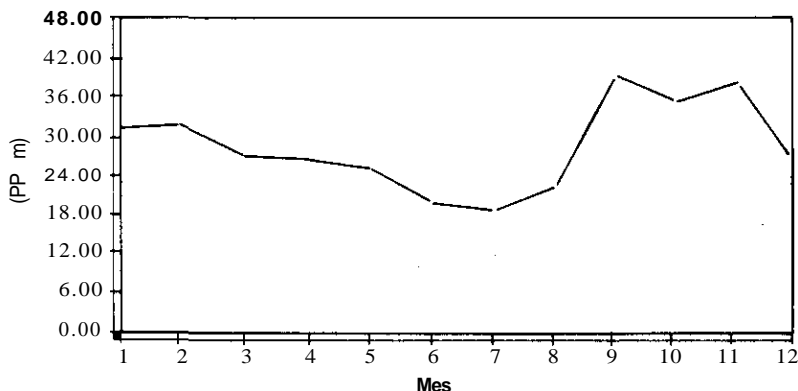
GRAFICO N° 5

Tendencia anual de promedios mensuales Monóxido de carbono
(Año 1989)



En cambio el comportamiento del ozono, que más que de la capa de inversión depende de la cantidad de radiación solar, es diferente.

GRAFICO N° 6
Tendencia anual de promedios mensuales
Oxidante fotoquímico (10)
(Año 1989)



Es posible observar que las concentraciones más altas de oxidantes fotoquímicos se alcanzan en los meses cálidos y disminuyen en la época de invierno.

En resumen, el comportamiento anual de los contaminantes está ligado estrechamente a factores climáticos, de los cuales el más importante parece ser la cantidad de luz solar, que influye sobre la capa de inversión y sobre la actividad fotoquímica en la atmósfera, en forma inversa.

La lluvia y el viento, de los que tanto se suele esperar para que "limpien" la atmósfera tienen, analizados en esta perspectiva, una importancia menor, aunque sin duda influyen con su ausencia en la generación de situaciones que favorecen la aparición de episodios críticos de concentración "aguda".

8.3 Comportamiento de los contaminantes en el curso del día

Esta es la información más novedosa de que se dispone, ya que sólo redes como la MACAM son capaces de proporcionarla. En los gráficos que siguen se muestra el comportamiento de los contaminantes en las cuatro estaciones fijas de la red, analizadas en un período de 24 horas. Se

proporciona información de los cinco contaminantes más importantes, obtenida en el mes de julio de 1989, en forma completa, superponiendo las mediciones de las estaciones.

En estos gráficos figura, además, el material particulado respirable (de menos de 10 micrones de diámetro), en lugar de las partículas totales en suspensión, que es el dato que normalmente se maneja para referirse a material particulado.

GRAFICO N° 7
Monóxido de carbono
(Julio 1989)

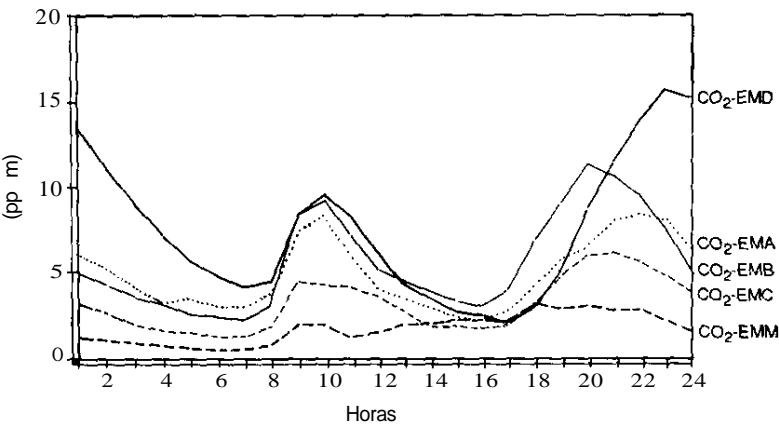


GRAFICO N° 8
Dióxido de azufre
(Julio 1989)

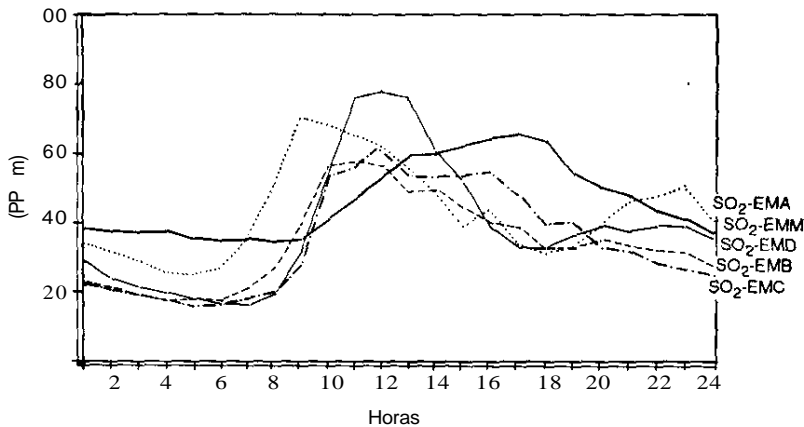


GRAFICO N° 9
Dióxido de nitrógeno
(Julio 1989)

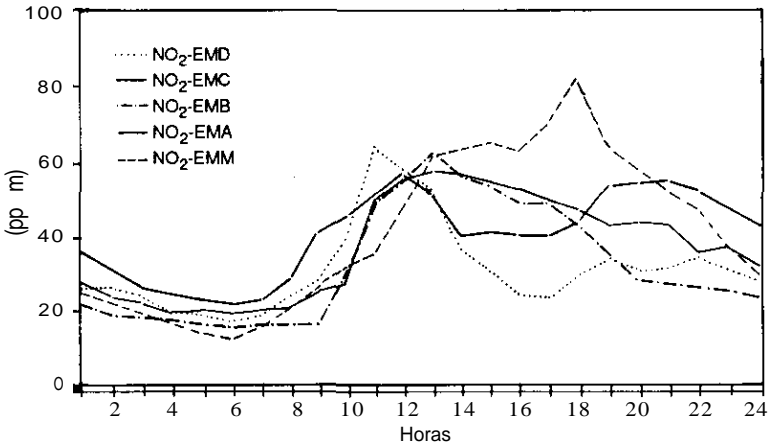
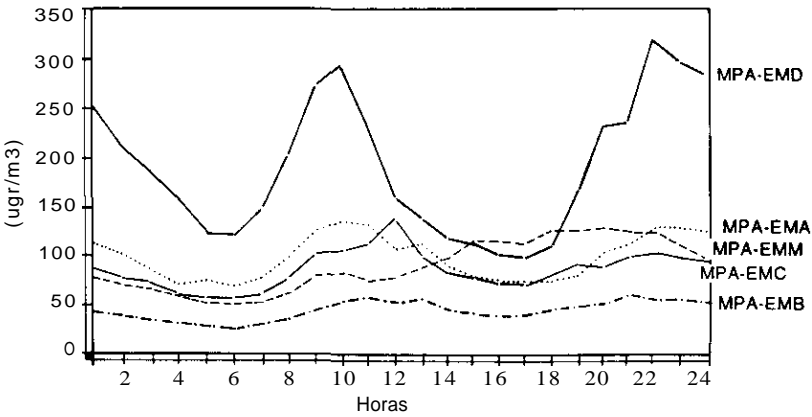
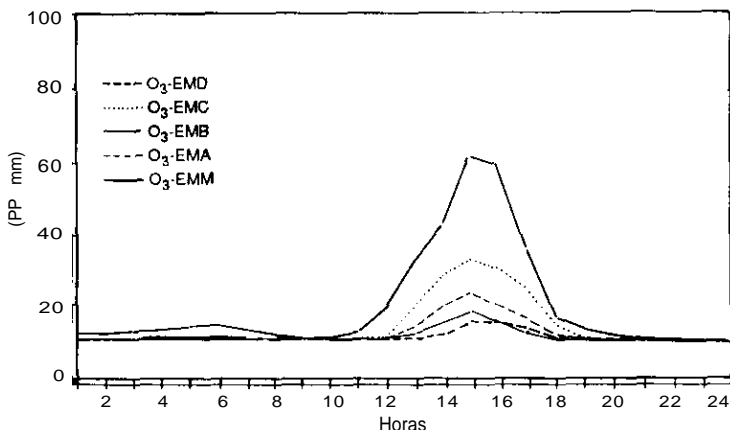


GRAFICO N° 10
Material particulado MP10
(Julio 1989)



GRAFICON°11

Ozono
(Julio 1989)



Del análisis de los gráficos anteriores es posible deducir que cada contaminante tiene su propio "ritmo" a lo largo del día, y que la tendencia es similar en todas las estaciones, aunque la magnitud de las concentraciones que se alcanzan varía de una estación a otra.

El ozono es probablemente el contaminante cuyo comportamiento es más uniforme, en todas las estaciones monitoras. Su concentración comienza a aumentar todos los días entre las 11 y las 12:30 horas; alcanza su máximo a las 15:00 horas y descende en forma uniforme hacia los 18:00 horas. Estas son las horas de influencia de luz solar más intensa, al menos en el mes de julio.

Las partículas en suspensión (fracción <10 micrones) muestran dos momentos de alza: hacia las 10:00 y las 22:00 horas.

Esta tendencia es muy notable en la estación monitora ubicada en el Parque O'Higgins, donde el alza de la noche continúa hasta el día siguiente. Las causas de este fenómeno nocturno se desconocen, aunque han sido vinculadas a tránsito de vehículos pesados en la noche por la carretera nortesur, que se encuentra próxima.

Los óxidos de nitrógeno aumentan durante el día desde las 8 de la mañana, alcanzan su máximo hacia mediodía en algunas estaciones y hacia las 18:00 horas en la estación monitora móvil, ubicada en la época de la medición (julio 89) en la parte alta de Santiago. La evolución de esta curva se vincula al tránsito de vehículos bencineros.

El monóxido de carbono sigue curvas idénticas en todas las estaciones, con una tendencia mucho más marcada en la estación del Parque

O'Higgins. La forma de esta curva es bastante parecida a la del material particulado respirable, lo que resulta lógico si ambos contaminantes se asocian a la combustión de vehículos motorizados.

Los óxidos de azufre aumentan en la mañana, se mantienen elevados durante el día y disminuyen al atardecer. Esta tendencia se asocia a las horas de funcionamiento de fuentes fijas: industrias y sistemas de calefacción y también a las horas de mayor circulación de vehículos diesel.

Tal vez lo más importante que fluye del análisis del comportamiento horario de los contaminantes es que dan una prueba indirecta de la validez de los estudios orientados a determinar su origen. No se encuentran contradicciones entre los dos puntos de vista, salvo el comportamiento anómalo del material particulado respirable en una de las estaciones. Sin embargo, esto constituye un hecho aislado, que, aunque requiere un análisis más profundo, no invalida las conclusiones generales.

A esta altura del análisis podría hacerse el siguiente resumen:

- la contaminación atmosférica en la Región Metropolitana es un fenómeno determinado principalmente por factores geográficos, topográficos y meteorológicos, que exageran una emisión global de contaminantes tal vez inferior a la de ciudades de tamaño y actividad comparables a Santiago,
- el fenómeno de contaminación atmosférica se ha mantenido, en forma general, en niveles similares en los diez o doce últimos años,
- las variaciones de los niveles de contaminación atmosférica a lo largo del año dependen estrechamente de la temperatura y de la radiación solar, inversamente en la mayoría de los casos, y directamente en el caso del ozono,
- el comportamiento de los contaminantes durante el día depende de las actividades de la ciudad.

9. Proposición de soluciones

9.1 Situaciones de emergencia

Cuando se produce un episodio agudo de contaminación atmosférica, como en Londres, en 1952, la sociedad lo paga con vidas humanas. Por

ello, estos episodios deben ser evitados a toda costa. Esta consideración escapa de toda planificación y de cualquiera consideración para obtener una reducción de la contaminación del aire en el mediano o largo plazo, y se transforma en una realidad social que debe ser enfrentada con el mismo criterio que se usa ante cualquiera otra calamidad pública. Todos los poderes del Estado y toda la colaboración ciudadana deben emplearse, en estos casos, a fondo e incluso al margen de los programas regulares para combatir la contaminación.

Como ya se ha comentado, la contaminación del aire en Santiago puede llegar a transformarse en un fenómeno de envergadura y requiere, por lo tanto, que exista un plan para combatirla en su etapa aguda. Planes así se han diseñado a partir de 1985, y consisten, simplemente, en la paralización de toda actividad contaminante, en forma compulsiva, y asumiendo que ello implica un costo económico elevado. Otra cosa es identificar a los agentes productores de la contaminación, y otra, aún más difícil, es asignar los costos que este tipo de plan implica.

Una simple orden de paralizar el transporte y la actividad industrial puede ser muy poco efectiva si no es guiada por claros principios técnicos y si no se ejecuta dentro de un marco político definido. No es lo mismo disminuir la circulación de vehículos mediante, por ejemplo, la suspensión de las clases, por uno o dos días en colegios de nivel básico, que disponer la paralización de las cien industrias más importantes de la región. En el primer caso, se evita la circulación de más de un millón de personas, con un escaso impacto inmediato en la producción del país. En el otro, se obtiene —hay que recordar cuál es el origen de los contaminantes más importantes— un escaso impacto en la emisión global de contaminantes, con un elevado costo para la actividad productiva. Por otra parte, el "costo político" de una u otra medida es diferente, y depende mucho del entorno político en que se adopte.

Se requiere un análisis técnico impecable y un enmarcamiento político muy certero para que las medidas de emergencia cumplan su cometido y tengan el menor costo. En este caso, el análisis costo-beneficio es complejo, porque entran en juego factores difíciles de ponderar. Por ejemplo, debe ser complicado para un gobierno decretar feriado escolar, medida que modifica la vida de millones de personas, en vez de decretar el cierre de algunas empresas, medida muy efectista en la prensa, de escaso impacto en el problema real, pero de fácil manejo político (¿qué industria quiere ser señalada como "envenenadora" del aire que respiran sus clientes?). Sin embargo, si la situación de emergencia es suficientemente grave las soluciones de fachada serán desmentidas por los porfiados hechos: habrá

personas muertas o gravemente enfermas, y la opinión pública hará responsables a quienes no fueron capaces de adoptar a tiempo, y con valentía, las medidas necesarias.

Considerando la situación de Santiago, es probable que lo único que se puede hacer, si se produce realmente un fenómeno crítico de contaminación atmosférica, sea decretar días feriados y detener de ese modo la emisión de contaminantes. Esta medida podría tener cierta gradualidad, y ésta no empieza, ciertamente, por ordenar el cierre de empresas o la prohibición de circulación de algunos vehículos; el público hará todo lo que pueda por seguir su vida normal. Si existen menos autobuses circulando, lo harán más rápido y mayor número de veces. Si se restringen algunos automóviles particulares, los restantes harán mayor número de viajes. Si se paralizan algunas industrias, ellas lo compensarán trabajando el fin de semana siguiente. Así, estas medidas no solucionarán realmente nada. Como ejemplo, se puede mencionar que, según estimaciones hechas en 1987, una restricción de circulación del 20 por ciento de los vehículos hacía disminuir, en el mejor de los casos, un 7 por ciento el nivel global de contaminantes atribuibles a fuentes móviles. Por otra parte, la paralización de "todas" las industrias de la región, disminuiría sólo de 7 a 10 por ciento la concentración de partículas respirables, cifra insignificante que, de todos modos, permitiría que los niveles se mantuvieran muy por encima de los aceptables.

En definitiva, si la contaminación atmosférica en Santiago se acercara a niveles peligrosos, la única solución técnicamente correcta sería la detención de la actividad ciudadana en forma progresiva, empezando por las actividades que menos afecten la producción y llegando a decretar días de descanso, como los domingos. Para ser efectivo, un plan semejante debe basarse en mediciones exactas y en predicciones meteorológicas certeras, y debe aplicarse buscando la colaboración ciudadana explicando las razones en forma clara y serena, sin ribetes alarmistas, pero indicando claramente cuáles son las consecuencias que se pretende evitar. Es probable que la población aprecie agradecida la verdad que se le revela, y no reaccione en forma negativa. Podrían, además, generarse medidas legales que minimicen los efectos de un plan de emergencia, como prolongación de algunos días del período regular de clases, o autorización a las empresas para trabajar en forma extraordinaria. El Estado debería, en casos semejantes, actuar para paliar los efectos de las medidas de urgencia, y no sólo dictarlas y desentenderse de sus consecuencias.

9.2 Soluciones globales

Descartados los episodios agudos, como situaciones que requieren tratamiento urgente y especial, hay que procurar hallar soluciones para la contaminación atmosférica en forma definitiva. Lo que se busca es:

- evitar los episodios agudos
- impedir que la contaminación atmosférica aumente
- reducir la contaminación.

Las medidas para impedir que la contaminación aumente y para reducirla se confunden y responden a principios generales similares. A continuación trataremos, en primer lugar, los aspectos generales para referirnos al problema de la Región Metropolitana:

Desde luego, la más fácil de adoptar es la decisión de no tomar decisiones, lo que es una decisión en sí, y se usó en Chile —específicamente en la Región Metropolitana— por mucho tiempo. Se confía, en este caso, en la acción de los agentes meteorológicos para diluir o dispersar los contaminantes, y también en que la opinión pública acepte esta pasividad. Hoy, sin embargo, ésta ya no es una opción aceptable, precisamente porque la comunidad no está dispuesta a aceptarla y exige que se adopte una actitud menos pasiva. Hay que recordar que ya existen preceptos de rango constitucional, que garantizan el derecho a vivir en un "ambiente libre de contaminación". Si bien es improbable que tal situación sea del todo alcanzable, es un hecho que el Estado está obligado a adoptar medidas para que tal deseo se cumpla, al máximo posible, y se desprende de ello que la comunidad, que sancionó con su voto esta decisión, está dispuesta a asumir los costos que el combate contra la contaminación demanda. Se requiere, por lo tanto, que se adopten medidas concretas para cumplir este precepto.

El problema reside, entonces, en cómo llevar a la práctica las medidas. En general, en Chile se han dictado normas, como las que antes se mencionaron, de carácter obligatorio y compulsivo, para ajustar las emisiones a una calidad de aire determinada como satisfactoria por otras normas. Ocurre, sin embargo, que estas normas compulsivas o bien no se cumplen o sólo en forma muy parcial, siendo, además, difícilmente controlables en la mayoría de los casos. Este tipo de norma lleva en sí misma el germen de su destrucción, ya que si no se controla, en la práctica

no existe. De hecho, si todas las normas de emisión se cumplieran no habría, en principio, ningún problema, siempre que ellas fueran correctas y tuvieran el alcance que se les dio al dictarlas. Pero, como la magnitud del problema de calidad de aire y los orígenes de los contaminantes fue, en el pasado, poco conocido, es imposible establecer una relación causa-efecto entre la norma de emisión y el abatimiento de los contaminantes que se desea obtener.

Además, muchas de las numerosas normas existentes no son congruentes entre sí, y menos con la estrategia de desarrollo económico y social que se busca para el país en su conjunto. En otras palabras, no está incorporado en estas normas, de tipo jurídico administrativo, un verdadero concepto de eficiencia, ni en términos económicos ni —por desgracia— en términos técnicos.

9.2.1 Marco institucional y legal

Si el marco legal e institucional básico fuera el correcto, la contaminación atmosférica de la Región Metropolitana no constituiría problema. Debe deducirse, por ello, que este marco no es idóneo para resolver el problema y debería buscarse la forma de modificarlo.

Existen, de hecho, como ya se ha dicho, numerosos entes administrativos y órganos del Estado, de carácter permanente, que tienen atribuciones en esta área, muchas veces sobrepuestos, y algunas veces antagónicos. Hay que sumar a ello la permanente creación de comisiones, comités y organismos más o menos transitorios, cuya efímera vida nada —o casi nada— aporta a la verdadera solución del problema. Por el contrario, la opinión pública percibe con claridad su ineficiencia y rápidamente le resta su apoyo y hasta su credibilidad. En el fondo, ésta es casi una manera de no hacer nada, de forma tal que la falta de decisión aparece como una serie de decisiones, sin una dirección concreta ni una acción sistemática para avanzar en la búsqueda de soluciones.

Salvo excepciones, la coordinación entre los diversos entes que tienen competencia en la materia no se produce, y no es raro que existan antagonismos y competencias, más o menos velados por atribuciones y prestigio. Parece ser que ésta es una etapa que ningún país del mundo ha conseguido evitar en la protección de la salud de la población contra los riesgos originados por la contaminación del medio ambiente. Cada país ha resuelto, además, esta situación en forma diferente. En varios de ellos existen ministerios o subsecretarías del medio ambiente, o de ecología o de recursos renovables, o de otros nombres similares, con resultados variables.

Uno de los problemas que este tipo de solución parece tener es que dentro de estos altos organismos coexisten preocupaciones por temas tan diversos, desde el punto de vista de la salud humana, como la protección de la flora y la fauna con la lucha contra los efectos de la contaminación del aire. Como el campo de acción es tan amplio y los recursos son siempre limitados, se produce una pugna por ellos que, o los vuelve por completo hacia uno de las áreas, o los reparte por igual entre los diferentes ámbitos de su quehacer, con lo que finalmente cada "parcela" logra recursos tan escasos que equivalen casi a nada.

Una solución interesante que ha resultado útil en otros lugares del mundo, consiste en la incorporación de la variable ambiental en todos los órganos del Estado que desarrollan proyectos, sea directamente o a través de particulares. De este modo se pretende evitar que los proyectos de desarrollo obvien el costo de proteger el medio ambiente —recurso que en realidad no es gratis— y en cambio lo incorporan desde el comienzo de su gestión, sea mediante el uso de tecnologías "limpias" o de procesos descontaminantes *ex-post*. Varias agencias de financiamiento internacional han incorporado a sus requisitos la realización de estudios de impacto ambiental para financiar proyectos de desarrollo. Aun cuando sea discutible el efecto de tal exigencia sobre el desarrollo socioeconómico, especialmente de países pobres, es un enfoque práctico, que resulta lógico. A nivel nacional el efecto que se busca es similar, y las consecuencias son también las mismas. La flexibilidad de las normas y el buen criterio con que se apliquen es de primera importancia para el éxito de este esquema.

La dispersión de los preceptos legales es un hecho que dificulta todo el manejo técnico y político de la lucha contra la contaminación. Como se ha dicho, estos preceptos son numerosos, vagos y se encuentran en leyes y reglamentos del más variado origen y época. Resulta difícil encontrar abogados o profesionales relacionados con el tema que tengan conocimiento de la frondosa legislación existente y menos aún que la comprendan e interpreten dada su vaguedad e imprecisión. Esto acarrea enormes dificultades en el trato de los agentes productivos con los entes administrativos, ya que cada uno da a cada problema el enfoque que más se acomoda a sus intereses o deberes. En general, los Tribunales de Justicia intervienen en pocas causas relacionadas con estas leyes y reglamentos, y aunque en general se inclinan hacia la protección del medio ambiente y la salud, estos juicios suelen ser largos y costosos, y son una de las peores formas de resolver problemas similares. Podría decirse que, cuando una materia de este tipo debe resolverse por el camino judicial, se está en presencia de la evidencia de una forma ineficiente de solución.

En todos los países exitosos en obtener la descontaminación de su ambiente —el aire en este caso— se ha producido una suerte de negociación, en un marco jurídico razonable, con normas claras y metas alcanzables, entre los agentes productivos y las autoridades encargadas del control. La introducción de regulaciones indirectas —hoy inexistentes en Chile— que obligan a los agentes productivos que generan contaminación a internalizar los costos del ambiente —el aire— que contaminan y que la sociedad paga, ha resultado exitoso en países con economías de mercado, ya que asigna valor al recurso que aparecía como gratuito y crea un "mercado" de este recurso. Hay, por otra parte, quienes ven en este mecanismo una especie de perversión moral, a través de la máxima "el que paga tiene derecho a contaminar". Tal vez sea más correcto decir "el que contamina paga" —y paga tan caro, que le resulta más barato no contaminar—. Aparece, entonces, el problema de los precios: inevitablemente reflejan los costos de la descontaminación, y los revierten nuevamente hacia la masa social. De todo esto se desprende una gran verdad, que no es posible evadir: la lucha contra la contaminación tiene un costo, y vivir en un ambiente limpio cuesta dinero a cada habitante.

Por otra parte, este costo existe de todas maneras, sea en forma de pago por vivir en un ambiente limpio o de costo social, reflejado en enfermedades y tal vez muertes debidas, en todo o en parte, a la contaminación. Debe asumirse que este costo existe y el problema se reduce a quién y cómo paga.

Varios sistemas de incentivos y de venta de derechos de emisión se han propuesto en diversos lugares del mundo. Todos ellos requieren de una muy perfeccionada información técnica, que permita valorar realmente el derecho que se está vendiendo o el incentivo que se está entregando. Además se requiere de alguna forma válida para transferir estos derechos o incentivos, asignándoles precios, definidos éstos por la autoridad o el mercado. En todo caso debiera estar claro, a este respecto, que nadie, bajo ningún pretexto ni a ningún precio, debería estar autorizado para emitir contaminantes en cantidades tales que representen un riesgo presumiblemente cierto para la población. Otra cosa sería, sin duda, inaceptable desde cualquier enfoque humano de la vida.

Una consideración más sobre el aspecto legal y administrativo del problema: es indispensable capacitar y disponer de personal gerencial en el área de la administración del aire —o de cualquier otro componente del medio ambiente—. Este recurso se ha transformado en un elemento tan vital y costoso que resulta absurdo que sea administrado por personas que no tengan una formación técnica —en su campo de acción— y gerencial, en el

suyo. Desgraciadamente, la formación técnica, como hemos comentado antes, sólo se ha producido, a instancias de organismos internacionales, en el campo de la instrumentación y de la físico-química de los contaminantes, sin que haya habido mayor preocupación por la capacitación de personal administrativo idóneo en la materia. De este modo, muchas de las decisiones adoptadas no han tenido el análisis experto —gerencialmente hablando— que se requiere, y de allí su escaso o nulo impacto, amén de su descrédito.

En resumen, se requiere un marco institucional y legal moderno, dinámico y realista, dentro del cual se dicten normas concretas y realizables, sin antagonismos ni superposiciones de organismos públicos, y en el cual personas debidamente adiestradas apliquen normas directas e indirectas de regulación, en un espíritu de negociación más que de enfrentamiento con los agentes que puedan producir contaminación.

9.2.2 Consideraciones económicas

Es un error no incorporar en la lucha contra la contaminación los aspectos económicos involucrados. De hecho, éstos han sido, en la práctica, los que han generado la contaminación atmosférica, ya que ésta es una especie de "subproducto" no deseado, de la producción de bienes y servicios, que a su vez se generan en la demanda de ellos. Ahora bien, el costo de un producto o servicio determinado constituye una suma de los costos normales de producción y de los denominados "costos externos", entre los que debe considerarse el deterioro del medio ambiente. Se ha postulado que como la sociedad en general es la que consume, es lógico que sea también la víctima de la contaminación. Este razonamiento no considera, sin embargo, que al no incorporar todos los costos, incluida la contaminación, se producen precios irrealmente bajos, lo que aumenta la demanda y a su vez la contaminación. Por otra parte, tampoco es verdad que la distribución de beneficios y daños sea exactamente la misma entre la población de un país o región, lo que de hecho no ocurre. La incorporación de los costos totales a la producción es un concepto de eficiencia económica, y no tiene relación con ningún sistema de economía en especial. Difícilmente algún país puede obviar este concepto, si se pretende asignar los costos y recursos con eficiencia.

En principio, es erróneo permitir emisiones evitables de contaminantes. Si esta producción es inevitable debe exigirse el cumplimiento de normas sobre emisiones máximas, uso del suelo y planificación urbana, y

considerar sistemas de pago o de subsidio, según sea el caso, para mantener estas emisiones en límites tolerables.

Ya se ha mencionado el uso de normas de emisión máxima, y también las dificultades que existen para asegurar su cumplimiento. Sin embargo, estas normas deben existir y, como se ha mencionado, referirse más bien a volúmenes totales de emisión que a concentraciones.

La planificación urbana sirve para organizar el establecimiento de nuevas industrias y para hacer más racional el tránsito de automotores. Existen numerosos tratados específicos sobre esta materia, por lo que sólo la mencionaremos. Hay que considerar aquí en forma especial las dificultades para aplicar estos conceptos a industrias ya establecidas. En este caso, deberán adoptarse criterios realistas y posibles en los que el factor "tiempo de cumplimiento de normas" o "tiempo para obligar al traslado" son fundamentales. Por otra parte, el conocimiento real de la topografía y meteorología de un área geográfica determinada es decisiva para el uso de los instrumentos de planificación, y hay que señalar que este conocimiento no siempre está disponible. Se requiere, igualmente, contar con un inventario adecuado de fuentes de contaminantes, de manera de poder, con este antecedente y eficientes sistemas de vigilancia de la calidad del aire, determinar qué carga de contaminantes —y de fuentes— puede soportar un determinado lugar.

Los criterios no pueden ser iguales, en general, para las nuevas industrias y para las ya existentes. Para las primeras, debería usarse un sistema de autorizaciones que considere su impacto ambiental real. Para la segunda, se requiere obtener la reducción de sus emisiones, o su traslado o cierre. En este caso el criterio de eficiencia económica que ha resultado más productivo es el de obligar a usar la mejor tecnología disponible, que ha venido a reemplazar términos vagos como "factible", "económicamente rentable" y otras similares, y consiste en obligar a las fábricas a reducir sus emisiones tanto como sea posible sin llegar a ser económicamente inviables. Si este es el caso, se dispone su cierre o traslado, dentro de plazos establecidos. La extensión de estos plazos sería mejor establecido si el procedimiento para fijarlos no fuere inflexible, y mejor aun si cada caso se tratara en forma pública y transparente, permitiendo la expresión de todos aquellos que tienen verdadero interés en el asunto.

En todos los casos en que se trata de reducir emisiones de contaminantes existe un problema que ya se ha mencionado: la dificultad de relacionar costos y beneficios, entendidos éstos como la disminución de un daño. Como suele ser muy difícil asignar valores monetarios a estos factores, llega a ser muy importante la valoración social que se da a cada

función. De esta manera, las curvas de costo y de beneficio se cruzan más bien en una zona que en un punto, y las decisiones deben tomarse con un alto grado de incertidumbre. Aunque esta incertidumbre es inevitable y debe aceptarse como un factor de hecho, ella no puede ser tan grande como para conducir a costosas medidas de escaso efecto, o a ninguna medida frente a un gran daño.

En Chile es posible aplicar, en general, los criterios económicos que se han esbozado. En realidad, ellos están implícitos en una serie de normas y preceptos legales. El problema está, por una parte, en la vaguedad de las normas y su cambio constante (esto ocurre, por ejemplo, en aquellas sobre uso del suelo) y en el inaceptable grado de incertidumbre con que se han aplicado muchas de las medidas de control. La mejoría de la información disponible, mejores criterios técnicos, una política más definida y un marco legal más claro deberían servir para facilitar la obtención de soluciones.

La contaminación producida por el tránsito de vehículos automotores no escapa a los criterios económicos, aunque el enfoque debe ser distinto, ya que no es posible tratar caso a caso cada fuente emisora. La reducción de contaminantes sólo puede obtenerse, en estos casos, mediante la incorporación de dispositivos anticontaminantes en los vehículos —los que a su vez requieren combustibles especiales— o mediante sistemas que regulen el número total de vehículos en circulación en una área determinada. Como estas medidas son fuertemente compulsivas, las decisiones que se adopten deben ser muy acertadas en lo técnico, dirigidas de manera precisa a la disminución de los contaminantes que se desea abatir y deben contar con un fuerte respaldo de la opinión pública. De lo contrario, no producen efectos y rápidamente se desprestigian.

En la Región Metropolitana no se han utilizado, en general, estos criterios por razones de diversa índole, y como resultado la ciudad dispone de un parque de vehículos de locomoción pública desmesuradamente grande, con libertad para circular cómo y dónde lo desee y con vehículos que flagrantemente quebrantan la ley, al emitir humos visibles en grandes cantidades. Los estudios que se han mencionado antes demuestran, además, que estos vehículos son responsables de los contaminantes que más riesgo representan para la salud de la población, la que debe presenciar impotente cómo se atenta contra su salud.

Decisiones erróneas del pasado, tomadas sin considerar criterios adecuados, son responsables de esta situación. Lo curioso es que los criterios no sólo fueron perjudiciales para la salud de la población, sino que tampoco significaron para ella disminución alguna de los costos del transporte público. Este podría ser un caso típico de ineficiencia en la

asignación de los costos, ya que la población paga, en la práctica, ambos (transporte y salud). Si este hecho se debe a que las leyes del mercado, como asignador de costos y recursos, no funcionan en el caso del transporte público, o si estas leyes han sido distorsionadas por factores externos, queda por discutirse.

9.2.3 Medidas técnicas de control

La tecnología moderna ofrece una serie de soluciones para el abatimiento de las emisiones de contaminantes provenientes de diversas fuentes. Estas medidas han demostrado ser idóneas en cada caso específico, y combinadas debieran disminuir la masa total de contaminantes. Se requiere, para que sean efectivas, que se usen en forma congruente y coordinada, con una justa distribución de los costos, de acuerdo a la contribución de cada uno a los contaminantes que deben disminuirse. Es obvio que esto requiere una adecuada vigilancia de la calidad del aire y estudios epidemiológicos serios y permanentes que permitan establecer una correcta relación entre emisiones, calidad del aire y repercusión en la salud de la población. Las consideraciones que se han hecho sobre el marco institucional y aspectos económicos son fundamentales para el análisis, ya que si bien las tecnologías son claras y, en general, estandarizadas, la forma y oportunidad con que se apliquen dependen de consideraciones legales y económicas, confrontadas con la evidencia epidemiológica de repercusión de la contaminación sobre la salud.

Las fuentes fijas requieren tratamiento diverso si se trata de grandes emisoras identificables o de numerosas fuentes que es difícil separar unas de otras. En el caso de las fuentes fijas identificables (o puntuales) se debe comenzar por mediciones individuales que permitan caracterizar el tipo y volumen de contaminante emitido. Comparando este dato con la norma de emisión correspondiente, es posible determinar el grado de abatimiento que se desea alcanzar, y utilizar el sistema técnico más idóneo para lograrlo; en general, y sin entrar en detalles técnicos, se puede decir que se puede optar por una transformación del proceso para hacerlo más limpio, o por el uso de sistemas de purificación del efluente, que pueden denominarse, en general, filtros, aun cuando no lo sean en todos los casos. Ambos procesos son válidos, y probablemente lo más eficiente es utilizar uno u otro, o una combinación de ambos, dependiendo de cada caso.

Las fuentes fijas puntuales importantes deben ser unas 250 en la Región Metropolitana. Cada una de ellas debería ser objeto de un análisis individual, para caracterizarla, y posteriormente someterla a exigencias para

abatir su emisión. Hay que insistir en que cada caso debe ser tratado en forma separada, considerando las posibilidades económicas de la empresa, siempre que no se trate de volúmenes de emisión tan grandes que requieran la aplicación urgente de medidas de tipo compulsivo, que pueden llegar hasta a ordenar su paralización.

Para las fuentes fijas no identificables no es posible utilizar esta estrategia, y más bien se requiere de medidas menos técnicas y más orientadas a modificar el criterio económico de su uso de la energía. Es el caso, por ejemplo, de los sistemas de calefacción doméstica y de generación de energía que funcionan mediante la combustión de leña. (Este combustible se usa en forma importante en la Región Metropolitana, como consecuencia de señales de mercado, generadas en el período de la crisis del petróleo de 1981, que tendían a disminuir la importación de combustibles fósiles.) Su aporte a las partículas totales y al CO no se conocen con exactitud, pero se han estimado en porcentajes más o menos elevados.

Para este tipo de fuentes son útiles las medidas de incentivos o impuestos si es posible controlarlas individualmente (lo que es improbable), o sobre los combustibles, si no lo es. Actualmente, por no conocerse su aporte, es difícil determinar con certeza la urgencia de medidas de control. Para ello, debiera iniciarse el programa por procurar determinar la magnitud del riesgo que representan, a partir, por ejemplo, de los volúmenes de leña que se consumen.

En el caso de las fuentes móviles es preciso utilizar tecnologías diferentes. Ellas se refieren a las características de los vehículos y a la calidad de los combustibles utilizados. Como los contaminantes que emite cada tipo de vehículo son distintos y de diferente importancia para la salud, es obvio que el tratamiento debe ser distinto en cada caso. De todos modos, hay algunos conceptos básicos válidos en todos los casos. Por ejemplo, es necesario que existan regulaciones que fijen normas técnicas para la producción o importación de vehículos nuevos y alguna forma de fijar el uso de las calles por el parque automotor. Si estas normas se deben referir a tarificaciones o sistemas de incentivo se puede discutir, pero deben existir, y lo más probable es que tanto las tarificaciones como los incentivos deban usarse en forma combinada para optimizar los resultados.

También deben existir normas relacionadas con los vehículos ya existentes, para conseguir que disminuyan sus emisiones o que dejen de circular.

Es imprescindible que se encuentre la forma de dimensionar el enorme parque de locomoción colectiva de la región a las reales necesidades del transporte público y que se diseñen recorridos racionales. El concepto

por usar debe ser el de kilómetros recorridos versus el número de pasajeros transportados, así como el horario de demanda de los usuarios, para evitar la interminable circulación de vehículos casi vacíos que contaminan por el doble proceso de sus propias emisiones, y de la congestión que producen en el tránsito.

Las normas de emisión deberían revisarse para evitar la de los vehículos con motor defectuoso y debería haber un criterio más estricto de revisión de los vehículos, en especial de los provistos de motor diesel (por sus emisiones de partículas respirables) para retirar de circulación a los que las infrinjan. Medidas de este tipo debieran adoptarse con participación activa de los agentes contaminadores y también de la comunidad, lo que les daría el respaldo que requieren.

En resumen, las medidas técnicas de control de las emisiones existen, pero es impensable que puedan adoptarse en forma aislada. Requieren, en cambio, ser puestas en práctica en conjunto, en forma armónica y dentro de una estrategia global que las combine con adecuadas decisiones políticas y económicas. En esta estrategia deben participar el Estado, los agentes contaminadores y la comunidad. De lo contrario, no será posible obtener resultados, y la contaminación atmosférica será cada día un problema más grave y de solución más difícil y costosa.

Referencias bibliográficas

- Bennett, S. W. "Health Effects of Sulfur Dioxide as an Air Contaminant". PACE. Houston (EE. UU.), 1973.
- Bethel, R. A. "Air Pollution and Asthma". *Seminars of Respiratory Medicine* 8 (1987), pp. 253-258.
- Charles, J. M. "Mechanism of Sulfur Dioxide Initiated Bronchoconstriction". N.T.I.S.: EPA. Springfield (EE. UU.), 1977.
- Collazos Peñaloza, H. "Contaminación atmosférica en Cali y sus efectos en la mortalidad" (Modelo de investigación.) Cali (Colombia): Universidad del Valle, 1977.

- Colley, J. R. T. "Chronic Respiratory Diseases in Children in Relation to Air Pollution Report". *Report of a Who Study*. Copenhagen (Dinamarca). Who Regional Office. Copenhagen, 1977.
- Comisión Nacional de Energía "Análisis preliminar del impacto en la contaminación atmosférica del Gran Santiago producida por la combustión de leña y carbón". Santiago de Chile: Universidad de Santiago, 1986.
- Detels R. Soyre, J., Coullson, A. *et al.* "Respiratory Effect of Long-term Exposure to Photochemical Oxidants, Nitrogen Dioxide and Sulfates on Current and New Smokers". *American Review of Respiratory Diseases*, 124 (1981), pp. 673-680.
- Du Melle. "The Clean Air Act". *ATS News*, 1 (1981), pp. 10.
- Ferris B., Anderson, D. "Epidemiological Studies Related to Air Pollution. A Comparison of Berlin, New Hampshire and Chilton, British Columbia". *Proceedings of the Royal Society of Medicine*, 57 (1964), pp. 979-983.
- Golden, J. Nades, J., Boushey, H. "Bronchial Hyperirritability in Healthy Subjects after Exposure to Ozone". *American Review of Respiratory Diseases*, 118 (1978), pp. 287-289.
- Holland, W. W. "Health Effects of Particulate Pollution. Reappraising the Evidence". American Iron and Steel Institute. San Juan (Puerto Rico), 1979.
- Horvath, S. M. "Effect of Nitrogen Dioxide on Lung Function in Normal Subjects". N.T.I.S.: EPA. Springfield (EE. UU.), 1978.
- Lester, J. N.; Perry, R. y Stervit, R. M. "Chemicals in the Environment". *Proceedings of the International Conference* (Lisboa, 1986). Londres: Selper, 1986.
- Lioy, P. J., Vollmuth, T. A., Lippmann, M. "Persistence of Peak Flow Decrement in Children Following Ozone Exposure Exceeding the National Ambient Air Quality Standard". *Journal of the Air Pollution Control Association*, 35 (1985), p. 1069.

Lunn, J. E. Knowelden, J. Roe, J. W. "Patterns of Respiratory Illness in Sheffield Junior School Children". *British Journal of Prev. Soc. Med.*, 24 (1970), pp. 223-228.

Macklem y Permutt, *The Lung in the Transition between Health and Disease*. Nueva York: M. Dekker Inc., 1979.

Ministerio de Salud, Servicio de Salud del Ambiente. "Informe anual de contaminación atmosférica, años 1977 a 1986". Boletín Estadístico. Santiago de Chile, 1989.

Muñoz, M. "Contaminación atmosférica y salud. Análisis de casos". Taller Internacional sobre Evaluación de Riesgos por Sustancias Químicas de Acción Ambiental. Río de Janeiro (Brasil), octubre 1986.

Muñoz, M. "Contaminación atmosférica y salud. Gestión de los riesgos". Taller Internacional sobre Evaluación de Riesgos por Sustancias Químicas de Acción Ambiental. Río de Janeiro (Brasil), octubre 1986.

Muñoz, M. "La contaminación del aire en la Región Metropolitana". *Revista Industria*. Sociedad de Fomento Fabril, año LXXXVIII N° 6, diciembre 1985, pp. 227-280.

Muñoz, M., Corey G., Silo C., Barraza E., Vollaire J. "Evaluación de efectos sobre salud humana relacionados con contaminación del aire". AIDIS VI Congreso Chileno de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. (Tema: Contaminación de aire, suelo y otros.) Concepción (Chile), 1985, pp. 57-79.

Muñoz, M., Silo C., Cárdenas S., Barraza E., Vollaire J. "Elaboración de índice de calidad del aire. Proposición de metodología, operación y medidas derivadas". AIDIS VI Congreso Chileno de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. (Tema: contaminación de aire, suelo y otros.) Concepción (Chile), 1985, pp. 105-114.

Muñoz, M., Silo C., Escobar S. "Encuentro Regional sobre Control de Contaminación del Aire". Informe Nacional. San Pablo (Brasil), octubre 1985.

National Research Council, *Effects of Chronic Exposure to Low Levels of Carbon Monoxide on Human Health* (Washington, D. C.).

Organización Panamericana de Salud (OPS). "Vigilancia de la contaminación del medio en relación con el desarrollo". *Informe Técnico* N° 718 (Ginebra), 1985.

_____. "Criterios de Salud Ambiental. Óxidos de azufre y partículas en suspensión". *Publicación Científica* N° 424, 1982.

_____. "Nivel de Calidad del Aire en el Medio Urbano". *Publicación Científica* N° 401.

Organización Mundial de la Salud. "Selección de procedimientos para medir la contaminación del aire". Mimeo N° 24 (Ginebra), 1976.

_____. *Analysing and Interpreting Air Monitoring Data*. Genova, 1980.

_____. *Riesgos del ambiente humano para la salud*. 1972.

Oyanguren H., Donoso H., *et. al.* "Bronquitis crónica y contaminación atmosférica". *Revista Médica de Chile*. Vol. 107 (1979), p. 858.

Oyanguren H., Donoso H., *et. al.* "Prevalencia de la bronquitis crónica en un área urbana y una rural de Santiago y su relación con el grado de contaminación atmosférica". *Revista Médica de Chile*. Vol. 100 (1972), p. 101.

Reid D., Anderson, D., Ferris, B. Fletcher, C. "An Anglo-American Comparison of the Prevalence of Bronchitis". *British Medical Journal*, 2 (1964), pp. 1.487-1.491.

Rivera-Cordero, Antonio, "Tendencias en la planificación y control de la contaminación del aire". Washington D. C.: OPS, 1985.

Rose, R. M., Fueleftab, J. M., Shornick, W. A., *et. al.* "Pathophysiology of Enhanced Susceptibility to Surine Cytomegalovirus Infection during Short Term Exposure to 5 ppm. Nitrogen Dioxide". *American Review of Respiratory Diseases*, 137 (1988), pp. 912-917.

Schoettlin, C. E. *American Review of Respiratory Diseases*, 3 (1967), pp. 708-710.

Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente. Boletines Estadísticos (1986, 1987 y 1988).

Shy, G., Creasen, J. Pearlman, M. *et. al.* "The Chattanooga School Study. Effects of Community Exposure to Nitrogen Dioxide, II. Incidence of Acute Respiratory I, Illness". *Journal of the Air Pollution Control Association*, 20 (1970), pp. 582-588.

Universidad de Chile: Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Facultad de Ciencias Básicas y Farmacéuticas, y Servicio de Salud del Ambiente. "Estudio de caracterizaciones físicas y químicas de partículas en suspensión en la Región Metropolitana", 1985. □