

Estrategias de Control de la Contaminación Atmosférica

RICARDO KATZ B.

- La ciudad de Santiago supera las normas de calidad ambiental en varios contaminantes (material particulado respirable, PM10, partículas totales en suspensión, PTS, monóxido de carbono, CO, y ozono, O3), por lo que ha sido declarada saturada de manera legal. Lo anterior implica que las emisiones de estos contaminantes (salvo para el caso del ozono que es un contaminante secundario y por lo tanto lo que debe hacerse es disminuir sus precursores) más que mantenerse constantes deben disminuir.
- Entre las medidas posibles para reducir la contaminación de PM10, objeto de este trabajo, se encuentran las siguientes.
 - 1) Las fuentes fijas puntuales, combustión y procesos, deben ser integradas al sistema de congelamiento absoluto de emisiones y de compensación de las mismas. Debe permitirse que estas fuentes compensen sus emisiones con otro tipo de fuentes, tales como la pavimentación y limpieza de calles y emisiones por tubo de escape de fuentes móviles.
 - 2) En el caso de las emisiones provenientes de viviendas, debería obligarse a los municipios a compensar el aumento de emisiones que estas implicarían (construcción, calefacción, cocina, etc.) a través de proyectos de limpieza de calles, pavimentación de las mismas y proyectos destinados a evitar que el polvo natural proveniente de los cerros u otras fuentes "ingrese" a la ciudad.
 - 3) Probablemente la fuente de emisión más relevante la constituye la vialidad. Las emisiones de la vialidad están estrechamente relacionadas con el contenido de polvo en la carpeta de rodado y con la circulación de los vehículos, incluyendo los catalíticos. Esto implica la necesidad de implementar dos tipos de acciones, limpieza y pavimentación (incluyendo acciones destinadas a impedir el "ensuciamiento" de las calles), y regulación de la cantidad de vehículos que circulan (número, kilómetros totales y velocidad).
- Debemos tener conciencia de que existe la posibilidad de que ni siquiera con las mejores tecnologías posibles (obviamente incluyendo pavimentación y limpieza de calles), sea posible cumplir con las normas actuales de calidad ambiental. Si esto fuera así, habría que disminuir el nivel de actividad, o cambiar la norma. Para ambas situaciones, se requiere de un consenso importante en cuanto a los costos reales que implica la contaminación atmosférica versus los beneficios derivados de vivir en una ciudad con la oferta integral de calidad de vida que presenta Santiago.

Ricardo Katz B. Ingeniero Civil, Universidad de Chile. Master en Ciencias en Administración Ambiental, University of Texas. Coordinador de la Comisión de Medio Ambiente del Centro de Estudios Públicos. Coeditor del libro *Medio ambiente en desarrollo* (CEP, 1993).

Puntos de Referencia es editado por el Centro de Estudios Públicos. Director responsable: Arturo Fontaine Talavera. Dirección: Monseñor Sótero Sanz 175, Providencia, Santiago de Chile. Fono 231 5324 - Fax 233 5253.

Cada artículo es responsabilidad de su autor y no refleja necesariamente la opinión del CEP. Esta institución es una fundación de derecho privado, sin fines de lucro, cuyo objetivo es el análisis y difusión de los valores, principios e instituciones que sirven de base a una sociedad libre.

1. Generalidades

Como todos los años durante el invierno, la contaminación atmosférica concita el interés de la ciudadanía y muy especialmente de la prensa. Este interés implica que se discutan, por un lado, las medidas de control de la contaminación y, por otro, los efectos de la contaminación sobre la población.

El objetivo de este trabajo es presentar, en forma conjunta, algunas de las medidas de control de la contaminación atmosférica que han sido propuestas por este Centro, en sus investigaciones y publicaciones, durante los últimos cuatro años, y que no han sido consideradas por las autoridades en el Plan de prevención y descontaminación atmosférica de la Región Metropolitana. Estamos seguros que estas proposiciones pueden ayudar a descontaminar Santiago.

Antes de proceder a discutir las medidas de control de la contaminación, es importante definir el marco jurídico conceptual que regula el accionar de las autoridades en el tema de la contaminación atmosférica.

Contaminación se define en la Ley de Bases del Medio Ambiente como "la presencia en el ambiente de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, en concentraciones o concentraciones y permanencia superiores o inferiores, según corresponda, a las establecidas en la legislación vigente".

La definición anterior posiblemente se trata de la definición más relevante de la ley. Su efecto jurídico consiste en que define un espacio de utilización legítimo del medio ambiente. Ese espacio es el comprendido en lo que la legislación permite y por lo tanto existi-

rá contaminación atmosférica sólo en la medida en que se infrinja una norma preestablecida. Esto permite distinguir el uso y alteración legítimos del medio ambiente de su uso y alteración ilegítimos, constituyendo este último caso contaminación del medio ambiente.

La importancia de las definiciones legales, como la que se transcribe en el primer párrafo, radica en que sustrae del ámbito del lenguaje común, cuyo significado la jurisprudencia chilena asocia al diccionario de la Real Academia de la Lengua Española, o del lenguaje técnico de una ciencia o arte, el significado de las palabras utilizadas por el legislador. De esta forma la ley obliga al intérprete de la norma, que puede ser un juez, una persona jurídica o natural o la autoridad administrativa, a adoptar el significado que la propia ley da para el concepto pertinente. Esto tiene consecuencias en la manera de entender las obligaciones y responsabilidades jurídicas, es decir, en cuanto a cuáles son las conductas que el legislador espera de los sujetos normados. La definición legal es usada entonces cuando el significado natural o técnico-científico de las palabras no es suficiente para describir la conducta esperada o para dar cuenta de los hechos que son relevantes desde un punto de vista exclusivamente jurídico, o bien cuando se quiere otorgar mayor certeza en cuanto a los alcances de las normas, evitando así ambigüedades innecesarias.

Para los objetos de este trabajo, la legislación relevante es la relativa a la contaminación atmosférica. Esta legislación se divide en dos, la relacionada con las normas de calidad ambiental y la relacionada con las normas de emisión. Las normas de calidad ambiental son las que especifican la calidad mí-

ma que debe tener el aire que respiramos en términos de algún contaminante específico. Las de emisión son las que definen las cantidades máximas de un contaminante, posibles de emitir, para efectos de que no se sobrepasen las normas de calidad ambiental, es decir, para que no haya contaminación.

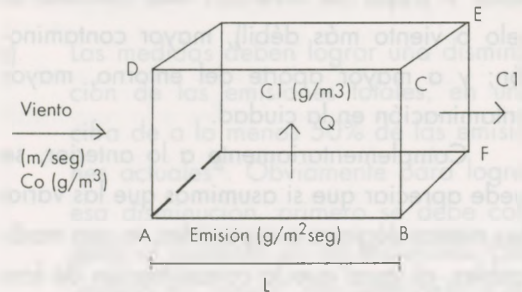
Resumiendo, se puede decir que las normas de calidad ambiental nos definen el objetivo al que queremos llegar, y las normas de emisión constituyen los instrumentos para lograr ese objetivo. En forma complementaria, podemos afirmar que dado el hecho de que la contaminación está definida legalmente, las autoridades deben preocuparse solamente de los compuestos normados. Obviamente, si producto del conocimiento, todos los involucrados alcanzan un consenso respecto de la necesidad de controlar un compuesto no normado, podría hacerse, pero haciéndolo explícito a través del procedimiento de dictación de normas de calidad ambiental¹.

2. Conceptos

Se presenta en la figura N° 1 una simplificación del fenómeno de contaminación atmosférica que se desarrolla en una ciudad. La ciudad se concibe como un cubo, dentro del cual se generan emisiones de contaminantes. La ciudad además recibe "aportes" contaminantes de su entorno (puede ser polvo proveniente de faenas agrícolas o gases de alguna actividad industrial), los que son arrastrados por el viento, el cual también "saca" a los contaminantes fuera de la ciudad.

¹ La modificación de la normativa concerniente a PM10 fue realizada en menos de 1 año.

FIGURA N° 1
SIMPLIFICACIÓN DEL FENÓMENO DE GENERACIÓN DE CONTAMINANTES EN UNA CIUDAD.



Asumiendo que la "tapa" del volumen (DCE) es equivalente a la inversión térmica de la ciudad, y que todas las emisiones son representadas por Q^2 , la concentración resultante de un equilibrio de largo plazo es igual a:

$$C_1 = C_0 + (Q \times L) / (v \times h)$$

donde:

C_0 es la concentración de fondo (background);
 v es la velocidad del viento;
 Q es la emisión de la ciudad representada como emisión grupal;
 L es el largo del área considerada;
 h es la altura de la capa de mezcla (inversión térmica).

Este modelo simplificado no asume difusión lateral de los contaminantes, estratificación de los mismos, transformación de los contaminantes o variaciones espaciales y temporales de las emisiones y concentraciones resultantes, entre otras limitaciones importantes. Como se aprecia de la ecuación anterior,

² La contaminación es una "mezcla" de diversos contaminantes, o sea Q puede representar emisiones de material particulado, de monóxido de carbono, o de muchos otros elementos o compuestos contaminantes.

el modelo recoge la percepción de las personas en el sentido de que a mayor emisión (mayor Q), mayor contaminación; a menor h o menor v (capa de inversión más cercana al suelo o viento más débil), mayor contaminación; y a mayor aporte del entorno, mayor contaminación en la ciudad.

Complementariamente a lo anterior, se puede apreciar que si asumimos que las variables meteorológicas o espaciales no son modificables, al igual que la concentración de fondo³, la única variable sobre la cual podemos actuar es la emisión de contaminantes.

El rango de actuación sobre la emisión se circunscribe a disminuir la masa emitida. Asumiendo que la emisión Q es un vector conformado por una cantidad n de emisores ($Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$), para lograr una concentración de contaminantes C_1 (que dado que es el objetivo de calidad ambiental perseguido es una constante), Q deberá ser constante, y por lo tanto la suma de Q_1 a Q_n también. Lo anterior no implica que la participación relativa de los distintos emisores deba mantenerse constante.

Desde el punto de vista de la concentración resultante, y asumiendo que las características espaciales y temporales de las fuentes no influyen en el resultado C_1 (lo cual no es necesariamente así), lo único relevante es que la suma de los Q_i sea igual a Q , siempre y cuando Q esté expresado en unidades de masa por unidad de tiempo y no en concentración, dado que si las emisiones se expresan en concentraciones, se debe regular además el tamaño de la fuente.

³ De hecho, el entorno de la ciudad de Santiago presenta concentraciones de material particulado respirable del orden de 1/3 de la norma diaria de calidad ambiental, transformando la concentración background o de fondo en una variable relevante.

Considerando esta característica de la relación emisión/concentración ambiental resultante, se deriva que para lograr una calidad ambiental dada, se debe "administrar" la siguiente ecuación:

$$Q = \sum_i Q_i = \sum_i E_i \times (N^\circ \text{ fuentes})_i \times (\text{Nivel actividad})_i$$

Es decir, si queremos mantener el nivel de emisiones constante, para efectos de lograr la calidad ambiental deseada, debemos mantener constante el producto de las emisiones unitarias de las fuentes (E) por el número de fuentes por el nivel de actividades de esas fuentes. Por ejemplo, si la emisión que queremos mantener constante es la emisión de monóxido de carbono de los automóviles, no sacamos nada con disminuir las emisiones unitarias (por ejemplo a través de los catalíticos) si estos vehículos aumentan en número y además aumentan la cantidad de kilómetros que recorren. Por mucho que disminuyamos las emisiones unitarias, eventualmente el aumento del número de vehículos y de los kilómetros que estos recorren, implicarán un aumento de Q .

La tendencia que se contrapone a lo anterior es el crecimiento global de la ciudad y de todas sus actividades, incluyendo emisiones. Estas crecen a una tasa entre el 5% y el 10% al año, lo que implica que se duplicarán cada 7 a 14 años de no mediar un esfuerzo sistemático y de mayor magnitud de reducción que la tendencia de crecimiento de las emisiones.

Otra implicancia de los conceptos analizados es que para efectos de controlar (disminuir) la concentración de contaminantes en una situación de episodio (emergencia), debemos disminuir el Q que origina la emergencia. Si esta es causada por el polvo levantado por la circulación de vehículos, no se obtendrá

ningún efecto parando las industrias y viceversa.

La atmósfera tiene una capacidad finita de absorción de contaminantes. Cuando las emisiones superan esa capacidad, se produce contaminación atmosférica. La capacidad de absorción de Santiago es baja en comparación con otras ciudades. Esto implica que un igual nivel de emisiones resultará en peor calidad ambiental y, por lo tanto, los esfuerzos necesarios para cumplir las normas será mayor en Santiago que en otros lugares.

Dado lo anterior, la utilización de normas de emisión (tecnologías) generadas en otros países, no es suficiente como instrumento de control de la contaminación atmosférica en Santiago.

3. Medidas de control de la contaminación atmosférica

El primer aspecto que debe ser considerado en este análisis es que la ciudad de Santiago supera las normas de calidad ambiental en varios contaminantes (material particulado respirable, PM10, partículas totales en suspensión, PTS, monóxido de carbono, CO, y ozono, O3), por lo que ha sido declarada saturada de manera legal. Lo anterior implica que las emisiones de estos contaminantes (salvo para el caso del ozono que es un contaminante secundario y por lo tanto lo que debe hacerse es disminuir sus precursores) más que mantenerse constantes deben disminuir. El análisis que se hará a continuación está circunscrito al material particulado respirable, contaminante que durante el invierno presenta los más altos índices, pero que no es el único que supera las normas de calidad ambiental.

Listamos a continuación, las premisas que deben gobernar las medidas de disminución de emisiones de material particulado en la ciudad de Santiago:

- a) Las medidas deben lograr una disminución de las emisiones totales, en una cifra de a lo menos 50% de las emisiones actuales⁴. Obviamente para lograr esa disminución, primero se debe congelar el aumento de las emisiones. Esto implica no "sumar" más emisiones a las actualmente existentes (recordemos que éstas crecen a una tasa de entre 5 y 10% al año).
- b) Una vez lograda esa disminución, las emisiones deben mantenerse constantes y no ser erosionadas por aumentos del número de fuentes o de nivel de actividad de las mismas.
- c) Las medidas de control de episodios de contaminación atmosférica (emergencias y preemergencias) deben ser distintas, pero complementarias y consistentes, con las medidas de disminución de emisiones bajo circunstancias normales.
- d) Las medidas de control de emisiones, deben incluir a todo el universo de emisores, y no discriminar a priori entre ellos⁵.

⁴ Estas reducciones han sido estimadas suponiendo una relación lineal entre emisiones y concentraciones, por lo que el porcentaje podría ser distinto si la relación respondiera a otra función (como es lo más probable).

⁵ Es siempre muy atractivo actuar sobre emisores visibles (industrias y vehículos diesel, por ejemplo) y sobre los cuales es factible lograr reducciones rápidas y efectistas, aunque estas medidas no impliquen una disminución importante de las emisiones totales. Por otra parte, se observa una tendencia a controlar partículas "supuestamente más tóxicas", pero que no están normadas. Si el supuesto fuera verdadero, deberían normarse esas partículas a la brevedad.

- e) Las medidas de control de emisiones deben estar basadas en los aportes de las fuentes a la concentración ambiental de contaminantes, y no necesariamente en el aporte de estas a las emisiones⁶.
- f) Las medidas de control de emisiones deben ser proporcionales a la responsabilidad de los emisores, y permitir a los responsables lograr esas reducciones de la manera más eficaz y al menor costo posible. Para estos efectos, es indispensable la utilización de instrumentos de mercado que impliquen la internalización de estos costos por parte de los emisores.
- g) Si no existe acuerdo entre los involucrados (autoridades, ciudadanía, emisores, gremios, etc.) de los costos (en salud, bienestar y materiales) que significan los niveles actuales de contaminación, no hay posibilidad de lograr acuerdo en las medidas necesarias para disminuir esos niveles. Sin perjuicio de lo anterior, la ley obliga a la autoridad a implementar medidas para lograr el cumplimiento de las normas de calidad ambiental.

A continuación se presentan algunas medidas de control de emisiones, que han sido propuestas por el Centro de Estudios Públicos y que tomando en cuenta la preocupación que existe en la comunidad por la contaminación vale la pena recordar. Éstas se insertan el mar-

⁶ Dada la metodología estandarizada de monitoreo de la calidad del aire, partículas con diámetro aerodinámico mayor a 10 micrones no son capturadas por los equipos de medición. Si se controla el aporte a las emisiones, se podría incurrir en el error de controlar a las fuentes que emiten partículas "grandes", sin lograr ninguna mejoría en los niveles de concentración ambiental.

co conceptual anteriormente descrito. Estas medidas, en su mayoría, no han sido consideradas en el plan de descontaminación de CONAMA.

Antes de listar las medidas, es importante destacar que solamente quedan dos áreas importantes de reducción de emisiones a las cuales aún no se ha echado mano. Estas son la disminución de las emisiones de polvo natural y la implementación de actividades de cero emisión. Obviamente el mayor potencial, tanto desde el punto de vista económico como de eficiencia en la reducción de emisiones está radicado en la disminución de emisiones de polvo natural. También es relevante comprender que la única manera de compatibilizar un crecimiento sostenido con la mantención y mejoramiento de la calidad del aire pasa por los conceptos de congelamiento integral de emisiones y reducción y compensación de las mismas. Esto permite concentrar las rebajas en aquellas fuentes a las que les resulta más barato realizarlas, y dar los incentivos correctos para que aparezcan ideas de cómo producir rebajas de emisión, incluso en fuentes ajenas.

La reducción de emisiones que debe lograrse sería posible a través de acciones del siguiente tenor (no se entrará en el análisis de cuánto debe reducir cada familia de fuentes—ya que para ese análisis se debería contar con un análisis químico del PM10 contenido en los filtros—, ni si esas familias ya han efectuado un esfuerzo significativo de reducción, lo que en algunos casos puede haberse dado).

Entre las medidas posibles para reducir la contaminación y que no han sido consideradas en el Plan de Descontaminación se pueden recomendar las siguientes:

- Las fuentes fijas puntuales, combustión y procesos, deben ser integradas al sistema de congelamiento absoluto de emisiones y de compensación de las mismas. Cronogramas de tres años indicados en el Plan de Descontaminación para controlar los procesos son muy largos y solamente generarán señales erradas. Debe permitirse que estas fuentes compensen sus emisiones con otro tipo de fuente, tales como la pavimentación y limpieza de calles y emisiones por tubo de escape de fuentes móviles.
 - Estimaciones gruesas, corrigiendo las emisiones por tamaño, a partículas bajo 2 micrones (aunque la norma habla de partículas bajo 10 micrones), para efectos de poder estimar reducciones similares en tamaño y con altos efectos en la salud, indican que reducciones de emisiones industriales tienen costos dos y tres órdenes de magnitud mayores que las reducciones equivalentes a través de pavimentación.
 - Las fuentes fijas puntuales medianas y pequeñas deberían ser tratadas bajo el mismo prima que las puntuales, pero si los costos de transacción son muy altos, podrían ser integradas a nivel agrupado en un banco de proyectos.
 - En el caso de las emisiones provenientes de viviendas, debería obligarse a los municipios a compensar el aumento de emisiones que estas implicarían (construcción, calefacción, cocina, etc.) a través de proyectos de limpieza de calles, pavimentación de las mismas y proyectos destinados a evitar que el polvo natural proveniente de los cerros u otras fuentes, "ingrese" a la ciudad. Así como los sitios donde construir son escasos y finitos, el aire utilizado por las viviendas también lo es.
 - Probablemente la fuente de emisión más relevante la constituye la vialidad (vialidad local y estructurante). Las emisiones de la vialidad están estrechamente relacionadas con el contenido de polvo en la carpeta de rodado y con la circulación de los vehículos, incluyendo los catalíticos. Esto implica la necesidad de implementar dos tipos de acciones, limpieza y pavimentación (incluyendo acciones destinadas a impedir el "ensuciamiento" de las calles), y regulación de la cantidad de vehículos que circulan (número, kilómetros totales y velocidad).
 - Una medida interesante de considerar es la posibilidad de que las municipalidades otorguen un cierto número "fijo" de permisos de circulación. Más allá de esa cantidad, deberían compensar con acciones de pavimentación, limpieza de calles o medidas que eviten que "la tierra ingrese" (proveniente de áreas naturales o no urbanizadas) a la red de calles pavimentadas. Obviamente esta medida debería ser considerada en un contexto de liberalización de precios de permisos de circulación.
 - Por último, las fuentes móviles también deben ser controladas en términos de sus emisiones por el tubo de escape.
- Como se puede observar de las iniciativas listadas, el ámbito de acción va más por el lado de la gestión de las emisiones totales, incluyendo el nivel de actividad de las fuentes, que por la dictación de normas de emisión que reduzcan el nivel unitario de emisiones.

Dadas las condiciones estructurales de la contaminación atmosférica en Santiago, podría ser que no sea posible lograr el cumplimiento de las metas de calidad ambiental (normas), sin limitar el nivel de actividad de las fuentes.

Sin perjuicio de lo anterior, no cabe la menor duda de que un "acercamiento" a los niveles de emisión que permitan cumplir con las normas, sólo es posible a través de un congelamiento y posterior reducción del total de emisiones de la ciudad de Santiago. Para que ambos objetivos se cumplan en un ámbito de eficiencia económica que lo haga factible, es imprescindible implementar un sistema de metas por grupo de actividades y compensación de emisiones entre todas ellas.

Por último, dos reflexiones finales.

Debemos tener conciencia de que existe la posibilidad de que ni siquiera con las mejores tecnologías posibles (obviamente incluyendo pavimentación y limpieza de calles), sea posible cumplir con las normas actuales de calidad ambiental. Si esto fuera así, habría

que disminuir el nivel de actividad, o cambiar la norma. Para ambas situaciones, se requiere de un consenso importante en cuanto a los costos reales que implica la contaminación atmosférica versus los beneficios derivados de vivir en una ciudad con la oferta integral de calidad de vida que presenta Santiago.

En relación con las emergencias de contaminación, es necesario reestudiar la estrategia de control que se lleva a cabo. Es imprescindible conocer las fuentes específicas que detonan las emergencias e implementar acciones locales de control. No puede ser que para disminuir la contaminación proveniente de polvo de calles, no se controle a los vehículos catalíticos (que levantan tanto polvo como los no catalíticos) y se detengan industrias, o viceversa. Además, el control probablemente tenga que ser local y no extenderse en forma arbitraria a toda la Región Metropolitana (cuando la emergencia es decretada por un alza en la estación de Las Condes, se limitan actividades hasta en Alhué).