

Evolución de la contaminación del aire e impacto de los programas de control en tres megaciudades de América Latina

Marina Lacasaña-Navarro, L.F., Dr. en F.,^(1,2) Clemente Aguilar-Garduño, Biól.,⁽¹⁾
Isabelle Romieu M.C., Dr. en C.⁽³⁾

Lacasaña-Navarro M, Aguilar-Garduño C, Romieu I.
Evolución de la contaminación del aire e impacto de los programas de control en tres megaciudades de América Latina. *Salud Publica Mex* 1999;41:203-215.

Resumen

En este trabajo se discute la problemática de la contaminación del aire en tres megaciudades de América Latina (Ciudad de México, São Paulo y Santiago); en particular se revisan los programas de control de la contaminación atmosférica que han puesto en marcha los gobiernos de esas ciudades y la evolución de los niveles de contaminantes durante el periodo 1988-1995 en Santiago de Chile y São Paulo, y hasta 1997 en la Ciudad de México, con el objeto de evaluar el impacto de esos programas. En las tres megaciudades se observó un descenso en las concentraciones de PTS, PM₁₀, SO₂, NO₂, CO y O₃ durante el periodo mencionado, aunque la mayoría de los contaminantes siguen rebasando la norma de calidad del aire. Cabe destacar que el mayor impacto de los programas ha sido sobre los niveles de SO₂. Se recomienda el desarrollo de políticas de transporte sostenible; en ese sentido, en la Conferencia Europea de Ministros del Transporte la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) propuso distintas estrategias. Por otra parte, la participación ciudadana es importante al tomar decisiones relacionadas con las políticas de transporte.

Palabras clave: contaminación del aire/programas de control; América Latina

Lacasaña-Navarro M, Aguilar-Garduño C, Romieu I.
Evolution of air pollution and impact of control programs in three Megacities of Latin America. *Salud Publica Mex* 1999;41:203-215.

Abstract

The present work discusses the problems of atmospheric pollution of three Megacities of Latin America (Mexico City, Sao Paulo and Santiago). The environmental pollution control programs implemented by the Government are revised and the evolution of pollution levels during the period of 1988-1995 at Santiago de Chile and Sao Paulo, but until 1997 at Mexico City, in order to evaluate the impact of these programs. During this period, a decreasing trend is observed in the three cities in the levels of PTS, PM₁₀, SO₂, NO₂, CO and O₃, although most of these contaminants still exceeded the air quality standards. It must be emphasized that the largest impact has been on the levels of SO₂. We recommend the development of sustainable transport policies; in this context, various strategies were proposed by the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) in the European Conference of Ministers of Transport. Additionally, public participation is important when decisions are taken on transport policies.

Key words: atmospheric pollution/control programs; Latin America

- (1) Centro de Investigación en Salud Poblacional. Instituto Nacional de Salud Pública, Cuernavaca, Morelos, México.
- (2) Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Salud Pública. Facultad de Medicina. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, Estado de México, México.
- (3) Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, Organización Panamericana de la Salud/ Centers for Disease Control and Prevention.

Fecha de recibido: 13 de febrero de 1998 • Fecha de aprobado: 15 de febrero de 1999

Solicitud de sobretiros: Dra. Marina Lacasaña Navarro. Centro de Investigación en Salud Poblacional. Dirección de Ciencias Ambientales. Instituto Nacional de Salud Pública. Av. Universidad 655, colonia Santa María Ahuacatlán, 62508 Cuernavaca, Morelos, México.
Correo electrónico: mlacasan@insp3.insp.mx

Hoy en día son ampliamente reconocidos los problemas de contaminación ambiental, en particular el del aire, que dan lugar a la acumulación de riesgos para la salud y el bienestar de la población.^{1,2} Gran parte de esos problemas son consecuencia del rápido y desordenado crecimiento urbano y de la industrialización, fenómenos que muchas veces no van acompañados de programas cuyo objetivo es proteger el ambiente.³⁻⁵

Desde hace varias décadas la contaminación del aire se ha asociado con ciertos efectos nocivos para la salud de las poblaciones. En 1948 los niveles extremadamente altos de contaminación del aire se asociaron con episodios de exceso de mortalidad en Donora, Pennsylvania, en Estados Unidos de América (EUA),⁶ al igual que en Londres, Inglaterra, en 1952⁷ y en Meuse Valley, Bélgica, en 1930.⁸ Esos episodios se caracterizaron por elevados niveles de partículas, bióxido de azufre y mezclas. Por otra parte, los niveles de contaminación del aire no tan extremos también se han asociado con mortalidad prematura. Los análisis de datos procedentes de Londres han mostrado una asociación entre la mortalidad y un amplio rango de concentraciones de contaminantes, sin que exista evidencia de un umbral. La relación con partículas fue independiente de los niveles de bióxido de azufre, pero no viceversa.⁹ En otros países se han notificado hallazgos similares.¹⁰

En un estudio realizado en niños menores de 15 años que acudieron a los servicios de urgencias y medicina familiar de un hospital de especialidades del Instituto Mexicano del Seguro Social ubicado en la zona suroeste de la Ciudad de México en 1993, Téllez-Rojo y colaboradores¹¹ estimaron que con un incremento de 50 ppb en el promedio horario de ozono de un día ocasionaría, al día siguiente, un incremento del 9.9% en las consultas de urgencias por infecciones respiratorias altas en el periodo invernal, cifra que puede elevarse hasta en 30% si el incremento se diera en cinco días consecutivos como promedio.

Por otra parte, en un estudio realizado en la Ciudad de México, Borja y colaboradores¹² observaron un incremento de la mortalidad asociado de manera independiente con ozono, bióxido de azufre y partículas totales en suspensión. Cuando se consideraron los tres contaminantes simultáneamente en el mismo modelo, sólo las partículas totales en suspensión se asociaron con la mortalidad, de tal forma que se observó un 6% de incremento en la mortalidad por cada 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (RR 1.058, IC95% 1.033-1.083). Los autores no encontraron un efecto independiente del ozono asociado con la mortalidad, pero es difícil atribuir los efectos observados a un contaminante por sí solo a la luz

de la complejidad de las mezclas a las cuales la población está expuesta.

Loomis y colaboradores¹³ observaron un incremento de la mortalidad infantil asociado con los niveles de $\text{PM}_{2.5}$ que se presentaron días antes de la muerte. La asociación más fuerte que se observó fue con el promedio de la concentración de $\text{PM}_{2.5}$ durante un periodo de tres a cinco días previos: un incremento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el promedio de partículas finas durante esos tres días se asoció con 6.9% de incremento de muertes infantiles (IC95% 2.5-11.3). La mortalidad infantil también se asoció con los niveles de bióxido de nitrógeno y ozono que hubo entre los tres y cinco días previos a la muerte, pero dicha asociación no fue tan consistente como con $\text{PM}_{2.5}$. Estos hallazgos sugieren que la relación entre la mortalidad infantil y la contaminación del aire requiere de más investigaciones para identificar qué niños están en riesgo y de qué manera pueden prevenirse los efectos adversos.

El proceso de urbanización en los países latinoamericanos ha sido extremadamente rápido durante el siglo XX. Existen 14 grandes aglomeraciones urbanas con más de dos millones de habitantes; dos de ellas, la Ciudad de México y São Paulo, se encuentran entre las 12 ciudades más grandes del mundo. Ambas presentan elevadas tasas de crecimiento que en 1995 fueron de alrededor del 2.7% anual. En ese año, los habitantes de las ciudades representaban aproximadamente 76% del total de la población. Por otra parte, si bien en 1995 la ciudad de Santiago de Chile presentaba una tasa anual de crecimiento urbano inferior a 1.8%, su población urbana representaba 84% de la población del país.¹⁴⁻¹⁶

Las estadísticas sobre uso de vehículos automotores proporcionan uno de los índices de contaminación atmosférica potencial más significativos. Así, se sabe que desde 1984 hasta 1993, el parque vehicular de México ha crecido a un ritmo acelerado, siguiéndole en orden de importancia Chile y Brasil (42.3%, 37.1% y 13.6%, respectivamente).¹⁵ A pesar de que las cifras que se proporcionan se refieren al total de vehículos por país, no es aventurado pensar que la mayoría se concentra en las aglomeraciones urbanas y en sus áreas de tránsito.

En el presente trabajo se discute la problemática de la contaminación del aire en tres megaciudades de América Latina, y se revisan los programas de control de la contaminación atmosférica puestos en marcha por los gobiernos de dichas ciudades, así como la evolución de los niveles de contaminantes de 1988 a 1995 en Santiago de Chile y São Paulo, y hasta 1997 en la Ciudad de México. Lo anterior permite evaluar el impacto de esos programas, emitir recomendaciones para incrementar su efectividad y funcionar como marco de

referencia para las posibles políticas de control de la contaminación del aire procedentes de otros países de América Latina.

Programas de control de la contaminación atmosférica

Ciudad de México

A partir de 1986 comenzaron a establecerse medidas de control de la contaminación del aire; en ese año arrancó la sustitución del combustóleo por gas natural y se redujo el contenido de tetraetilo de plomo en las gasolinas. En 1990 se puso en marcha el programa de verificación vehicular, se introdujeron las gasolinas oxigenadas y se inició el programa Hoy no Circula, el cual prohíbe la circulación de los automóviles un día a la semana dependiendo del último número de la placa.⁵

Por otra parte, se establece el Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica 1990-1994 (PIC-CA),⁵ cuya aplicación ha sido gradual y ha reducido de manera paulatina las emisiones de contaminantes atmosféricos. Las áreas prioritarias de acción de este programa eran las siguientes: a) la industria petrolera, b) el transporte, c) la industria privada y los establecimientos de servicios, d) las termoeléctricas, e) reforestación y restauración ecológica, f) investigación, educación ecológica y comunicación social.

Con ese programa se pretendía que no se rebasaran las normas internacionales de plomo, así como tampoco las normas nacionales e internacionales en cuanto al bióxido de azufre (a partir de diciembre de 1991 se prohibió el uso de combustibles con más de 2% de azufre). Asimismo se buscó frenar el incremento de los niveles de partículas originadas por la destrucción de bosques, erosión de suelos y tiraderos clandestinos que van a dar al aire, y reducir de forma significativa los hidrocarburos (precursores del O_3), con la incorporación gradual de los convertidores catalíticos y de mejores sistemas de combustión en la industria y los servicios; por otra parte, los óxidos de nitrógeno y el monóxido de carbono también se reducirían.⁵

Santiago de Chile

A partir de 1990 se desarrolló el Plan de Descontaminación Atmosférica,¹⁷ que actúa en tres niveles: a) el Plan Maestro que define políticas y acciones globales que enmarcan el programa de descontaminación de Santiago; b) el programa de emergencia de descontaminación atmosférica, mismo que se ejecuta desde 1990, en los meses de mayo-agosto, para disminuir

puntual y transitoriamente los niveles de emisión de la distintas fuentes y evitar daños a la salud durante episodios de alta contaminación atmosférica; c) las acciones inmediatas, que se desarrollaron en los primeros años de funcionamiento de la Comisión Especial de Descontaminación de la Región Metropolitana (CEDRM), creada el 11 de abril de 1990, y obligaron a las industrias que emitían contaminantes a tomar medidas para reducirlos.

Las líneas clave del Plan Maestro de descontaminación son las siguientes: a) ampliación de la red de monitoreo de contaminantes atmosféricos; b) regulación de fuentes fijas; c) control de emisión de fuentes móviles y regulación del sistema de transporte; d) regulación de emisiones residenciales; e) regulación de emisiones de fuentes fugitivas; f) adecuación y/o creación de una nueva normatividad sobre la calidad de combustibles y reforzamiento de labores de inspección y control; g) contener la expansión urbana de Santiago, mejorar la calidad de su infraestructura vial para reducir las emisiones de polvo en suspensión y dotar a la ciudad de áreas forestadas que contribuyan a oxigenar la ciudad.¹⁷

São Paulo

En São Paulo se desarrolló el Plan de Control de la Contaminación del Aire para reducir las concentraciones ambientales de partículas totales en suspensión (PTS) y bióxido de azufre (SO_2). La Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) desarrolló y puso en marcha programas de control tomando como base acciones preventivas y correctivas en la Región Metropolitana de São Paulo (RMSP). En diciembre de 1979 se inició el programa de control de partículas, basado fundamentalmente en la aplicación de mejores tecnologías de control para reducir las emisiones industriales de ese contaminante. El objetivo del programa era reducir y conservar las concentraciones de PTS dentro de la norma primaria de calidad del aire. Las fuentes estacionarias de combustión son controladas por medio de un programa de fiscalización permanente. En 1982 se inició el programa de control de la contaminación por SO_2 , cuya estrategia principal fue la búsqueda de combustibles más limpios: se estableció una norma de emisión de 20 kg de SO_2 por tonelada de combustible quemado para fuentes nuevas y de 40 kg de SO_2 por tonelada de combustible quemado para las fuentes existentes.^{18,19}

En 1979 arrancó el Programa Nacional de Alcohol (Proálcool) y a partir de entonces se realizaron numerosas modificaciones en la composición de los combustibles que utilizan los vehículos automotores. Las

dos primeras consideraciones que se hicieron fueron la adición de alcohol anhidro a la gasolina de un vehículo móvil de alcohol hidratado. Una mezcla de alcohol anhidro se inició en 1970 con un 15% y alcanzó el 22% en los años posteriores. En 1989 los vehículos que utilizaban alcohol hidratado pasaron a representar la mitad de la flota, y en 1990 se introdujo también una mezcla de gasolina-etanol-metanol (7%-60%-33%).

Al constatar la gravedad de la contaminación generada por los vehículos automotores, la CETESB desarrolló una base técnica que culminó con la Resolución 18/86 del Consejo Nacional de Medio Ambiente (CONAMA), que establece el Programa de Control de la Contaminación del Aire por Vehículos Automotores (PROCONVE), mismo que, complementado por otras resoluciones posteriores y la Ley Federal 8723 de out/93, establece los límites máximos de emisión. De esta manera, todos los modelos de vehículos nacionales e importados son sometidos anual y obligatoriamente a homologación en cuanto a emisión de contaminantes.^{18,19}

Evolución de los niveles de contaminantes e impacto de las medidas de control

Partículas totales en suspensión (PTS)

Ciudad de México

En la zona metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) se ha observado un descenso en la concentración promedio aritmético anual de PTS entre 1988 y 1997. De manera concreta, desde 1988 hasta 1990 (periodo anterior al establecimiento del PICCA)¹⁶ se observó una reducción del promedio anual de este contaminante de $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$, considerando el promedio anual de las cinco estaciones de monitoreo incluidas en este documento. Sin embargo, ese descenso se hizo más marcado una vez que comenzó a operar el PICCA, esto es, de 1991 a 1997, cuando hubo un descenso global de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (figura 1).

No obstante, cabe destacar que durante el periodo todas las estaciones registraron concentraciones de PTS por encima de la norma establecida por la Agencia de Protección del Ambiente de EUA (EPA, por sus siglas en inglés)²⁰ para evaluar la calidad del aire en periodos largos ($75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ concentración promedio anual), y que era la norma en vigor para PTS en 1995.

El primer máximo anual (24 h) ha mostrado una importante disminución durante el periodo estudiado, pues se observa un rango en 1989 de 523-1 331 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y en 1997 de 153-747 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

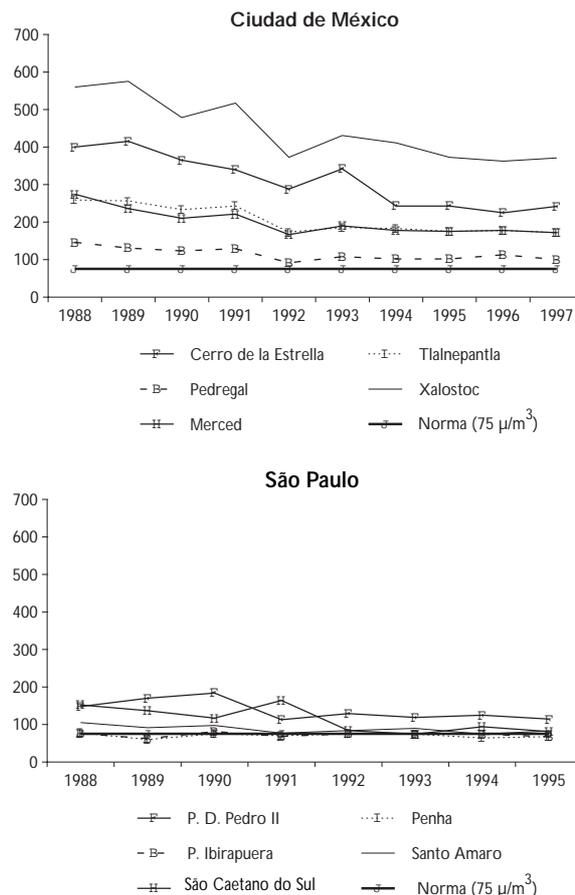


FIGURA 1. EVOLUCIÓN DEL PROMEDIO ARITMÉTICO ANUAL DE PARTÍCULAS TOTALES EN SUSPENSIÓN EN $\mu\text{g}/\text{m}^3$ EN LAS ZONAS METROPOLITANAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO Y SÃO PAULO, 1988-1997

La reducción de las concentraciones de PTS fue una de las prioridades establecidas en el PICCA,¹⁶ el cual incluye cinco estrategias de control de la contaminación del aire; cada una abarca acciones orientadas al control de las emisiones de partículas suspendidas: a) mejoramiento de los combustibles; b) expansión del transporte colectivo y control de emisiones en los vehículos automotores; c) control de emisiones provenientes de la industria y los servicios; d) reforestación del Valle de México y su área de influencia ecológica; e) educación ambiental, investigación local y participación comunitaria.

En este contexto, las acciones de reforestación y, en general, las de restauración ecológica del Valle de México, como la recuperación de los ex lagos de Texcoco y Xochimilco y la pavimentación de las áreas sub-

urbanas, desempeñan un papel central en el control de las emisiones de partículas de origen primario.¹⁶

São Paulo

En la RMSP se ha observado una disminución de $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (promedio de las cinco estaciones) en la concentración promedio aritmético anual de PTS durante el periodo 1988-1995. Sin embargo, todas las estaciones de monitoreo, con excepción de la de Penha y Parque Ibirapuera, registraron en 1995 concentraciones de PTS por encima de la norma de la EPA ($75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ concentración promedio anual)²⁰ (figura 1).

Respecto a los máximos diarios se observó cierta estabilidad durante el periodo de estudio, con rangos de $220\text{-}623 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 1986, y de $209\text{-}685 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 1995.

Partículas de diámetro menor a $10 \mu\text{m}$ (PM_{10})

Las PM_{10} siguen siendo un problema de contaminación del aire en las tres ciudades, en las cuales durante todo el periodo estudiado se presentaron concentraciones promedio aritmético anual por encima de las norma de la EPA ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (figura 2).

Ciudad de México

En general en la ZMCM los promedios aritméticos anuales de PM_{10} muestran una tendencia decreciente entre 1988 y 1990 en todas las estaciones de monitoreo, con un descenso global del promedio aritmético anual de $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$; sin embargo, entre 1991 y 1997 hubo una tendencia estable, aunque se aprecia un incremento en el año 1993.

En el primer máximo diario se mostró la misma tendencia durante el periodo 1988-1997, con un rango de $198\text{-}378 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 1988 y de $225\text{-}319 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 1997.

En la estación de Xalostoc es donde se han registrado las concentraciones de partículas más elevadas, lo cual se debe a que se encuentra ubicada en una zona industrial, cercana a la autopista de Pachuca y además registra los polvos generados por una maderería cercana y las calles sin pavimentar que la rodean. Esa situación ocasiona que los datos registrados no sean representativos de la zona.¹⁶

Esta tendencia más o menos estable de los niveles de PM_{10} después de iniciado el PICCA puede deberse al incremento en el parque vehicular que la ZMCM ha experimentado durante estos años.

Santiago de Chile

En la región metropolitana de Santiago (RMS) el promedio anual de PM_{10} muestra una tendencia estable

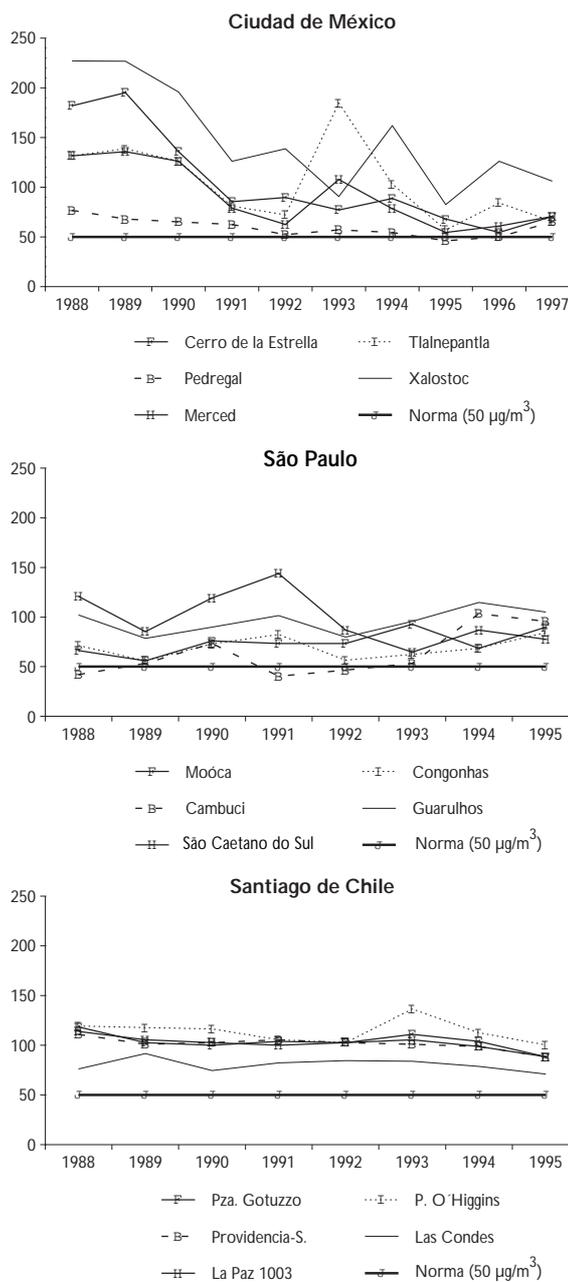


FIGURA 2. EVOLUCIÓN DEL PROMEDIO ARITMÉTICO ANUAL DE PM_{10} EN $\mu\text{g}/\text{m}^3$ EN LAS ZONAS METROPOLITANAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO, SÃO PAULO Y SANTIAGO DE CHILE, 1988-1997

durante el periodo 1988-1993; a partir de 1994 se aprecia un ligero descenso de este contaminante (figura 2). Los máximos disminuyen año con año, de un rango de $178\text{-}424 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 1988, a otro de $203\text{-}302 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 1995.

Es probable que esta tendencia se explique por las medidas incluidas en el Plan de Descontaminación que se emprendió en 1990, el cual se orientó sobre todo a combatir la contaminación originada en los procesos de combustión que constituyen la fuente principal de material particulado fino, fundamentalmente a mejorar los motores diesel de autobuses y a controlar las industrias y calderas.²¹ Por otro lado, dicha tendencia también podría explicarse por las condiciones climáticas favorables que se dieron en 1995, de tal manera que habrá que esperar algunos años para poder interpretar este descenso.

La RMS fue considerada una zona "saturada" de emisiones de PM_{10} , lo que obligó a dictar el Decreto Supremo No. 4 del Ministerio de Salud, que estableció una norma de emisión para las fuentes fijas, cuyo cumplimiento es controlado por un equipo especial de fiscalizadores. El Decreto Supremo fue dictado en el primer trimestre de 1992 y su aplicación comenzó el 1 de enero de 1993.²¹

São Paulo

En la RMSP las concentraciones de PM_{10} no muestran una tendencia clara durante el periodo 1988-1995. Entre 1988 y 1993 (en marzo de 1994 la CETESB tomó medidas para controlar la emisión vehicular de material particulado¹⁸) se observa un descenso de $5.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en los promedios anuales de PM_{10} considerando las cinco estaciones; posteriormente aparece un incremento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ entre 1993 y 1994 y de $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de 1994 a 1995. Cabe destacar que durante todo el periodo las concentraciones de PM_{10} superaron la norma de los $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que estableció la EPA,²² salvo en la estación de Cambucci (figura 2).

En diciembre de 1979 se inició en la RMSP el programa de control de partículas, que se basa fundamentalmente en la aplicación de las mejores tecnologías de control para la reducción de las emisiones de este contaminante por fuentes industriales. Por lo tanto, a los 150 principales emisores, responsables de 90% del material particulado de origen industrial emitido en la región, se les requirió que en un periodo de cinco años se adecuaran a los requisitos formulados. Sin embargo, en 1995 y a pesar de haberse llevado a cabo dicha adecuación, en muchos puntos de la RMSP persistían las concentraciones de partículas por encima de las normas de calidad del aire, lo cual indica una clara influencia de los vehículos automotores en estas concentraciones, asociada a las necesidades de urbanización y planeación del tráfico.¹⁸

Bióxido de azufre

Ciudad de México

La concentración de este contaminante se mantuvo prácticamente constante y por encima de la norma de la EPA (30 ppb)²² hasta 1992. A partir de ese año se observa un descenso en el promedio anual de la concentración de SO_2 hasta alcanzar concentraciones por debajo de la norma; en 1997 el promedio anual de este contaminante se redujo en 33 ppb (promedio de las cinco estaciones) en relación con 1991. En la figura 3 se muestra la tendencia de la concentración promedio aritmético anual de SO_2 (ppb) en la ZMCM de 1988 a 1997.

El primer máximo diario también mostró un importante descenso entre 1991 y 1995, con un rango de 71-239 ppb en 1991, y de 34-74 ppb en 1997. Este descenso en las concentraciones atmosféricas de SO_2 puede atribuirse al mejoramiento de los combustibles que se emplean en la ZMCM y que constituyó la estrategia principal del PICCA 1990-1994.⁵ Con ese programa se tomaron las siguientes medidas para reducir las concentraciones de SO_2 :

1. Fabricación de diesel y combustóleo con bajo contenido en azufre (0.1 y 0.8%, respectivamente).
2. Mejoramiento de la recuperación de azufre en la refinería 18 de Marzo.
3. Cambio de combustóleo por gas natural en las industrias.
4. Control de emisiones y reubicación de fundidoras.
5. Mejoramiento de procesos de combustión e instalación de equipos de control en establecimientos de servicios.
6. Utilización de gas natural en las termoeléctricas hasta contar con combustóleo de bajo contenido en azufre.
7. Suspensión invernal en la operación de unidades de generación.
8. Cierre de una refinería de la ZMCM.

A partir de diciembre de 1991, en el Valle de México no pueden utilizarse combustibles que contengan más de 2% de azufre. Por esa razón, el combustóleo pesado usado hasta entonces por la industria y los servicios ha sido remplazado principalmente por gas natural y, en menor escala, por gasóleo industrial con menor contenido de azufre.²³ El gasóleo tiene un contenido máximo de azufre de 2% en peso, lo cual ha

permitido reducir cerca de 40% de las emisiones de SO_2 en relación con el combustible.¹⁶

Santiago de Chile

El promedio anual de la concentración de SO_2 (ppb) ha disminuido durante el periodo 1988-1995 hasta alcanzar concentraciones por debajo de la norma (30 ppb). Los niveles de este contaminante mostraron una tendencia estable hasta 1990; posteriormente, entre 1991 y 1995 se observó un descenso de los niveles de este contaminante con una reducción global del promedio anual de 15 ppb (promedio de todas las estaciones) (figura 3). El primer máximo diario mostró la misma tendencia.

En Santiago se reglamentó en 1991 el funcionamiento de fuentes emisoras de SO_2 en todo el territorio nacional mediante el Decreto Supremo No. 185 del Ministerio de Minería, que estableció normas de concentraciones ambientales máximas permisibles para SO_2 y material particulado. Por lo tanto, el decremento sustancial en las emisiones totales de SO_2 es resultado del esfuerzo conjunto de tres industrias generadoras de la mayor parte de esas emisiones: Enap mejoró de forma importante sus combustibles, especialmente el diesel; Molymet realizó inversiones por más de 10 millones de dólares para construir una planta de ácido sulfúrico (por medio de esta medida, adoptada en 1993, la industria redujo sus emisiones en más de 96%); Chilgener Renca sustituyó su operación basada en carbón por otra a partir de mezclas petróleo-carbón, disminuyendo así considerablemente la concentración de sus descargas.²⁴

São Paulo

En la RMSP el promedio anual de SO_2 (ppb) ha ido disminuyendo entre 1988 y 1994, con un descenso total de 7.6 ppb (promedio de las cinco estaciones) (figura 3), manteniéndose durante todo este periodo por debajo de la norma de la EPA (30 ppb).²² El primer máximo anual (24 h) mostró la misma tendencia con un rango de 22 y 71 ppb en 1988 y de 6 y 30 ppb en 1994.

En 1982, la CETESB inició un programa para el control del SO_2 concentrándose fundamentalmente en los procesos de combustión, responsables de 74% de todo el SO_2 emitido en la RMSP. Una de las estrategias fue la búsqueda de combustibles más limpios. A las 363 principales fuentes de emisión de SO_2 se les dio un plazo de cinco años para adecuarse a las normas, esto es, 20 kg SO_2 por tonelada de petróleo quemado

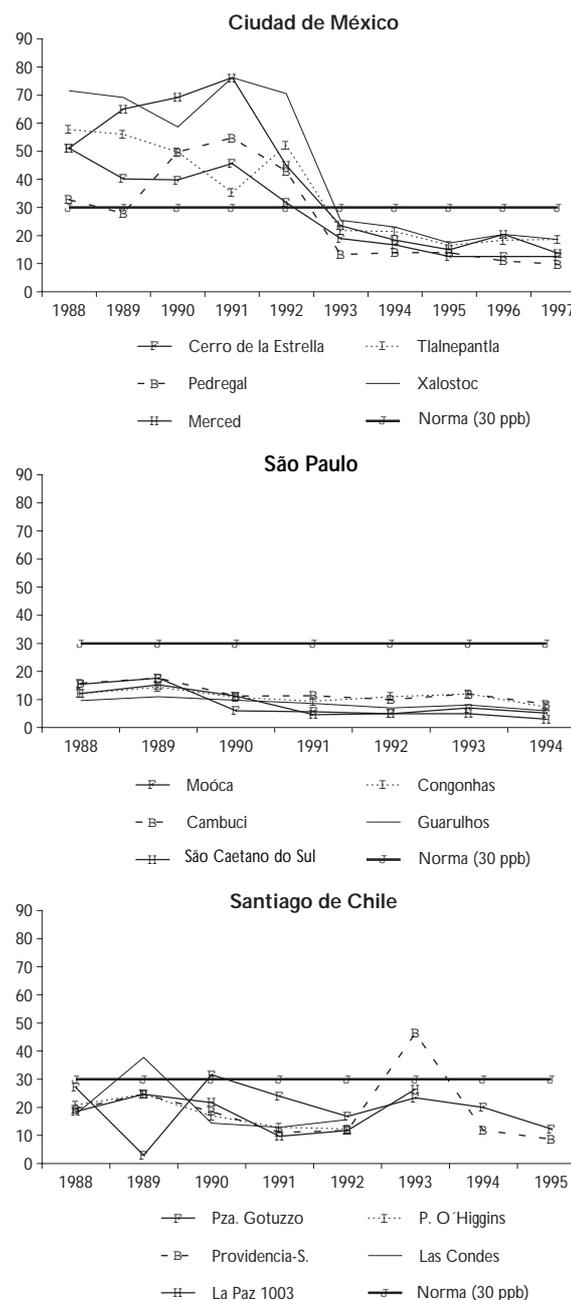


FIGURA 3. EVOLUCIÓN DEL PROMEDIO ARITMÉTICO ANUAL DE BIÓXIDO DE AZUFRE EN PPB EN LAS ZONAS METROPOLITANAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO, SÃO PAULO Y SANTIAGO DE CHILE, 1988-1997

para las fuentes nuevas y 40 kg de SO_2 por tonelada de petróleo quemado para las fuentes existentes.¹⁹

Bióxido de nitrógeno

Ciudad de México

En la ZMCM, la situación global en relación con la concentración promedio aritmético anual de NO_2 para cada uno de los lugares de monitoreo, parece ser más o menos estable con variantes más o menos pronunciadas de un año a otro. Entre 1991 y 1997 se ha observado una ligera disminución del promedio anual de NO_2 de 8 ppb (promedio de las cinco estaciones); asimismo, se observó una disminución del primer máximo anual (24 h), el cual osciló entre 70 y 125 ppb en 1990 y entre 57 y 117 ppb en 1997.

Cabe destacar que durante todo el periodo de estudio la concentración de este contaminante estuvo por debajo de la norma EPA (50 ppb promedio anual),¹⁹ en todas las estaciones de monitoreo, con excepción de la de Xalostoc (figura 4).

A pesar de que en 1990 se organizó la verificación vehicular, se introdujeron las gasolinas oxigenadas y el programa Hoy no Circula, la presencia de NO_2 en el aire de la Ciudad de México sigue siendo importante debido al incremento del parque vehicular durante el periodo estudiado.

Una de las metas del Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000,²³ es la reducción de aproximadamente 1350 ton/año de óxidos de nitrógeno provenientes de los vehículos automotores en circulación.

Santiago de Chile

Durante el periodo de estudio, las concentraciones de NO_2 en la RMS estuvieron por debajo de la norma de la EPA.²² No obstante, se observa una tendencia al aumento sostenido en los últimos años; entre 1991 y 1995 ha habido un incremento global del promedio anual de este contaminante de 16 ppb (promedio de las estaciones) (figura 4). Del mismo modo, los valores del primer máximo aumentaron entre 1992 y 1995, con un rango de 158-374 ppb y 287-362 ppb, respectivamente.

Si bien la incorporación de vehículos con convertidor catalítico significa menores emisiones unitarias, el gran crecimiento del parque vehicular anula dicho efecto, de manera que, en términos netos, las emisiones de NO_2 aumentan. La tendencia al aumento en las concentraciones de este contaminante hace aconsejable ampliar al máximo el control sobre las zonas de emisión tanto de este contaminante como de su precursor directo, el NO .²¹

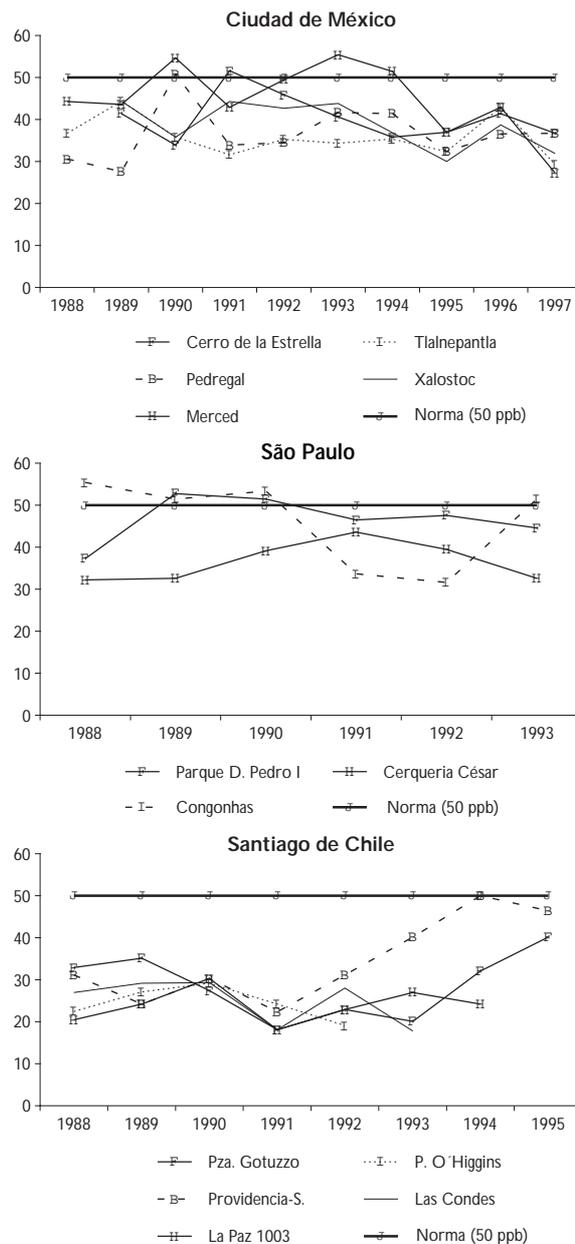


FIGURA 4. EVOLUCIÓN DEL PROMEDIO ARITMÉTICO ANUAL DE BIÓXIDO DE NITRÓGENO EN PPB EN LAS ZONAS METROPOLITANAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO, SÃO PAULO Y SANTIAGO DE CHILE, 1988-1997

São Paulo

El promedio anual de NO_2 no muestra una tendencia clara durante el periodo estudiado; en todas las esta-

ciones de la red de monitoreo se registraron concentraciones de este contaminante por debajo de la norma EPA,²² excepto en la estación de Congonhas, donde en 1993 la concentración promedio anual superó la norma (figura 4).

Este hecho se puede atribuir al incremento del parque vehicular en Brasil, a pesar de las medidas de control que se han establecido por CETESB; en general, la introducción de alcohol como combustible causa una disminución en las emisiones de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos, partículas y óxidos de azufre, y elimina la emisión de plomo, aunque aumenta las emisiones de aldehídos.¹⁹

Monóxido de carbono

Ciudad de México

Se observó un incremento en el número de días en que se excede la norma de CO, entre 1988 y 1990; en conjunto las cinco estaciones de monitoreo seleccionadas mostraron, en promedio, un incremento de 65 días de exceso respecto a la norma EPA para este gas (9 ppm promedio móvil de ocho horas)²² durante ese periodo. Por otra parte, a partir de 1990 se aprecia una clara disminución del número de días en los que se rebasó la norma, con una disminución global entre 1990 y 1997 de 78 días (promedio de las cinco estaciones). Cabe destacar que a partir de 1993 se observó un importante descenso en el número de días en que se rebasó la norma y en 1997 no hubo ningún día en que esto sucediera para el caso de este contaminante.

En el primer máximo anual (promedio móvil ocho horas) también se aprecia un descenso en el periodo estudiado, rangos de 9.9-35.3 ppm en 1990 y de 7.1-9.6 ppm en 1997. Esta disminución puede atribuirse a las medidas de control que estableció el PICCA, tales como la verificación vehicular y la incorporación de convertidores catalíticos en los automóviles.

Santiago de Chile

En la RMS se observa un ligero incremento, entre 1988 y 1993, en el número de días en que se rebasó la norma (9 ppm, promedio móvil de ocho horas); al tomar en cuenta el promedio de las cinco estaciones, se observó un incremento de 13 días. Sin embargo, de 1993 a 1994 hubo una disminución importante de los niveles de este contaminante, con un decremento de 35 días de exceso respecto a la norma como promedio de las cinco estaciones.

Una tendencia similar mostró el primer máximo (promedio móvil ocho horas), con rangos de 7.0-26.6

ppm en 1988, de 6.5-47.8 ppm en 1993 y de 10.1-41.6 ppm en 1994.

La explicación más razonable de esta tendencia se encuentra en la introducción de convertidores catalíticos en automóviles particulares.

São Paulo

En la RMSP, entre 1988 y 1990 se observó un incremento en el número de días en los que se excedió la norma (9 ppm, promedio móvil de ocho horas). Al tomar en cuenta el promedio de las cuatro estaciones, el incremento fue de 51 días. Esta misma tendencia se aprecia con el primer máximo de ocho horas, el cual osciló entre 7.7 y 20.7 ppm en 1988, y entre 16.1 y 23.7 en 1990. Sin embargo, a partir de 1990 se observa un descenso importante en los niveles de este contaminante; al considerar el promedio de las cuatro estaciones, hubo un descenso de 48 días de exceso respecto a la norma para este gas.

Lo anterior podría explicarse por las acciones que incluye el programa de control de la contaminación del aire por vehículos automotores y, en especial, por el uso, desde principios de la década de los ochenta, de gasolina con un contenido de 22% de alcohol y alcohol hidratado como combustibles de bajo poder contaminante. Al respecto, en 1990 se introdujo también una mezcla de gasolina-etanol-metanol (7%-60%-33%), en consideración a que la adición de alcohol a la gasolina se traduce inmediatamente en reducciones del orden de 50% en la emisión de monóxido de carbono de la flota antigua de vehículos,^{18,19} y en 1989 los vehículos que consumen alcohol hidratado pasaron a representar la mitad de la flota.¹⁹

Ozono

Ciudad de México

En conjunto en la ZMCM el número de horas en que se excedió la norma horaria de ozono (0.11 ppm) muestra una tendencia creciente entre 1988 y 1990, con un incremento global de 103 horas (promedio de las cinco estaciones). A partir de 1991 y hasta 1997 se ha observado una reducción de 50% en el número de horas (517 horas) (figura 5).

Las concentraciones máximas anuales (una hora) han mostrado la misma tendencia decreciente: en 1991 el primer máximo de una hora osciló entre 285 y 404 ppb, y en 1997 entre 210 y 309 ppb.

A pesar de esa disminución, las elevadas concentraciones de ozono constituyen el principal problema de contaminación atmosférica en el Valle de México.

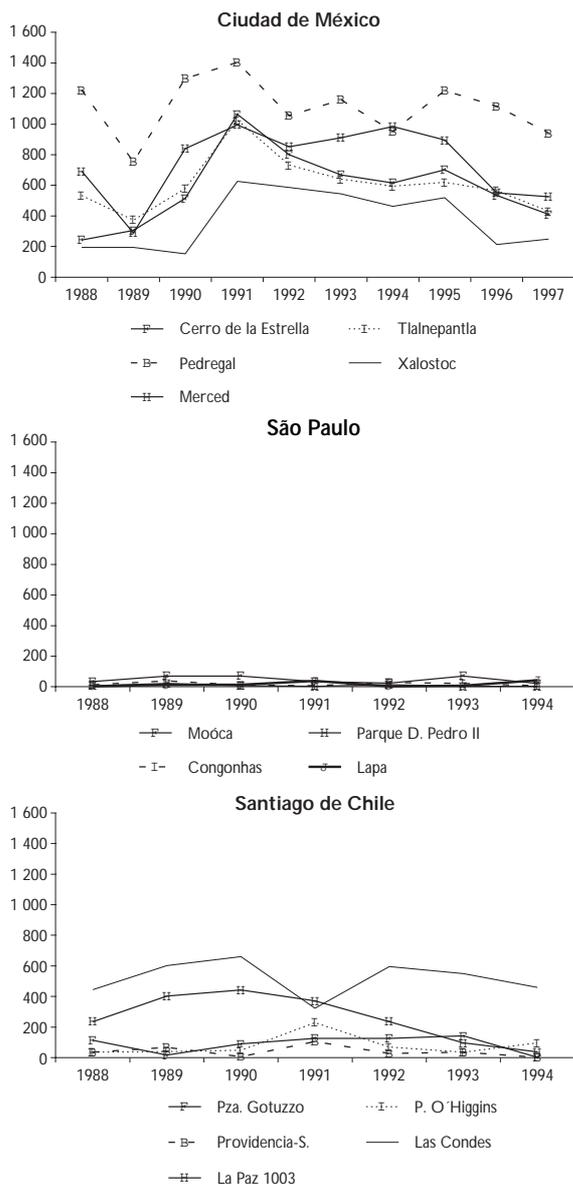


FIGURA 5. EVOLUCIÓN DEL NÚMERO DE VECES DE EXCEDENCIA DE LA NORMA HORARIA DE OZONO (11 PPB) EN LAS ZONAS METROPOLITANAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO, SÃO PAULO Y SANTIAGO DE CHILE, 1988-1997

Los niveles de ozono superan frecuentemente la norma de calidad del aire, alcanzando cifras que superan en más de 100% el límite establecido. La estación Pedregal, representativa del suroeste de la zona metropolitana, es la que históricamente ha registrado las concentraciones más elevadas de ozono, con niveles

persistentemente altos que presentan un comportamiento relativamente estable.²³

A pesar de las medidas que se tomaron con la puesta en marcha del PICCA en 1990, la organización del programa de verificación vehicular, la introducción de gasolinas oxigenadas, la introducción de convertidores catalíticos en los automóviles y el programa Hoy no Circula, la presencia de los precursores de ozono en la atmósfera de la Ciudad de México sigue siendo importante, debido en parte al incremento del parque vehicular entre 1984 y 1995.

Santiago de Chile

En la RMS, en general se aprecia una ligera tendencia decreciente en las concentraciones de ozono, o bien, a que se mantengan, excepto para la estación monitora Parque O'Higgins, donde se observa un leve incremento en la frecuencia de excedencia de la norma. Entre 1988 y 1991 se observó un incremento en el número de horas en que se rebasó la norma de la EPA (0.08 ppm)²² de 54 horas (promedio de las cinco estaciones); entre 1991 y 1994 se aprecia un descenso de 67 horas (figura 5).

El primer máximo anual (1 h) mostró un descenso importante a partir de 1990, con rangos de 108-766 ppb en 1990, y 81-200 ppb en 1994.

Si bien no se contó con datos para 1995, cabe destacar que ese año mostró, en general, indicadores mayores para este contaminante que en los años anteriores,²⁴ de tal manera que la RMS fue declarada "zona saturada" en materia de ozono.

São Paulo

El número de horas en que se rebasó la norma en la RMSP es muy inferior a lo observado en las otras dos megaciudades.

En la RMSP, entre 1988 y 1990, la norma (0.08 ppm) se excedió durante 21 horas (promedio de las cuatro estaciones). A partir de 1990 se observa una tendencia descendente: en 1990, considerando el promedio de las cuatro estaciones, la norma se excedió por 39 horas, y en 1994 por 16 horas (figura 5). Sin embargo, la norma de la EPA¹⁹ es excedida y el nivel de atención (0.11 ppm) también se sobrepasa con frecuencia, en particular en los días de alta insolación, de tal manera que se llega a concentraciones de 0.25 ppm.¹⁹

El primer máximo muestra una tendencia similar, con rangos de 101-291 ppb en 1988, 158-259 ppb en 1990 y 87-155 ppb en 1994. Esta situación justifica la necesidad urgente de controlar las emisiones vehiculares y

de tomar otras medidas en el sistema de transporte, a fin de controlar los precursores del ozono.

Discusión

Los resultados de este trabajo indican que, durante el periodo estudiado, en las tres megaciudades hubo una disminución de las concentraciones de PTS, PM_{10} , SO_2 , NO_2 , CO y O_3 , aunque aún se siguen rebasando las normas de calidad del aire en la mayoría. Cabe destacar que el mayor impacto de los programas en las tres ciudades ha sido sobre los niveles de SO_2 , de tal manera que se ha logrado obtener concentraciones por debajo de la norma de la EPA (30 ppb promedio anual), debido fundamentalmente al control de la emisión por fuentes fijas y a la reducción del contenido de azufre en el diesel.

Respecto a las concentraciones de PTS y PM_{10} se encontró que al final del periodo de estudio estaban por encima de la norma de la EPA (75 y 50 $\mu g/m^3$ concentración promedio anual, respectivamente). Así entonces, los programas de control para estos contaminantes no tuvieron el impacto esperado, lo cual podría explicarse, en parte, por el rápido crecimiento urbano y, en consecuencia, por el aumento del parque vehicular. Por ejemplo, en la Ciudad de México a partir de 1984 se ha observado, cada cinco años, un incremento superior a 20% en el número de vehículos y, por ende, en la cantidad de contaminantes emitidos a la atmósfera.

Estos elevados niveles de partículas ponen en riesgo la salud de la población tomando en cuenta la asociación que se ha observado en diversos estudios entre partículas y morbilidad y mortalidad prematuras.^{12,13,25} Por lo tanto, es necesario establecer nuevas medidas de control que podrían estar justificadas en un contexto costo-beneficio sobre la base del beneficio que representan para la salud y el bienestar de la población.

La concentración de ozono en el aire de las grandes ciudades sigue siendo un problema importante, ya que habitualmente se excede la norma de calidad del aire de la EPA (0.08 ppm).²² En la ZMCM, entre 1991 y 1994, su concentración rebasó la norma más del 90% del tiempo.²⁶ En diversos estudios epidemiológicos se ha informado acerca de los efectos adversos para la salud asociados con la exposición a este contaminante.^{27,28}

Las medidas que se han adoptado en los últimos años con la finalidad de frenar el deterioro de la calidad del aire en la ZMCM, han generado buenos resultados en cuanto al control en la tendencia creciente de algunos contaminantes como el plomo, bióxido de azu-

fre y monóxido de carbono. Empero, se ha observado que ciertos contaminantes han alcanzado niveles inaceptables por los daños que ocasionan a la salud de la población y a los ecosistemas; tal es el caso de los oxidantes fotoquímicos, en particular del ozono y de las PM_{10} .²⁹

En este contexto, en 1995 se estableció en México el Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México (1995-2000).²³ Para el año 2000 se pretende disminuir, gradualmente, los niveles de contaminación durante el día y tener menos contingencias al año, como resultado de un abatimiento de 50% de las emisiones de hidrocarburos, 40% de los óxidos de nitrógeno y 45% de las partículas suspendidas de origen antropogénico, lo cual implica desplazar hacia la izquierda la distribución de frecuencias del índice metropolitano de contaminación del aire (IMECA), logrando que la media de esta distribución pase de los 170 puntos que había en 1995, a un nivel de 140 y 150 puntos, y que se abata en 75% la probabilidad de que ocurran contingencias por encima de los 250 puntos.²³

Para lograr dichos propósitos, se plantearon diversas estrategias fundamentadas en el marco conceptual desarrollado en el inventario de emisiones y en el conocimiento que se tiene, hasta ahora, de los problemas ambientales de las tecnologías relevantes y de las experiencias propias e internacionales. Las estrategias propuestas son las siguientes: a) mejoramiento e incorporación de nuevas tecnologías en la industria y los servicios; b) mejoramiento e incorporación de nuevas tecnologías en vehículos automotores; c) mejoramiento y sustitución de energéticos en la industria y los servicios; d) mejoramiento y sustitución de energéticos automotores; e) oferta amplia de transporte público seguro y eficiente; f) integración de políticas metropolitanas (desarrollo urbano, transporte y ambiente); g) incentivos económicos; h) inspección y vigilancia industrial y vehicular; i) información y educación ambientales y participación social. Además, el programa incluye importantes acciones de vigilancia e información epidemiológica a cargo de la Secretaría de Salud.²³

En el mundo existe gran interés en los problemas de salud ocasionados por la contaminación del aire, de tal manera que se han tomado numerosas medidas para combatir la contaminación atmosférica. En el marco del Acuerdo sobre la Contaminación del Aire Transfronteriza de Largo Alcance, adoptado el 13 de noviembre de 1979 y que entró en vigor el 16 de marzo de 1983, se desarrollaron los siguientes protocolos con el objetivo de combatir la contaminación del aire:³⁰ a) Protocolo de Helsinki (1985) sobre la reducción de las emisiones de compuestos de azufre o sus flujos transfronterizos al menos en 30%; b) Protocolo de Sofía

(1988) relacionado con el control de emisiones de óxidos de nitrógeno o sus flujos transfronterizos; c) Protocolo de Ginebra (1991), orientado al control de emisiones de compuestos orgánicos volátiles o sus flujos transfronterizos; d) Protocolo de Oslo (1994) sobre la ulterior reducción de emisiones de azufre. Los países se comprometieron a tratar de limitar y, en la medida de lo posible, reducir gradualmente y prevenir la contaminación del aire (incluyendo la del aire transfronterizo de largo alcance), revisar y desarrollar políticas y estrategias, así como intercambiar información sobre el tema, como una forma de combatir la descarga de contaminantes al aire, y difundir la información disponible sobre políticas y estrategias nacionales, subregionales y regionales para el control de compuestos de azufre y otros importantes contaminantes del aire.³⁰

Al establecer las medidas para controlar la contaminación del aire, entre 1985 y 1993, los 21 países signatarios del Protocolo de Helsinki lograron reducir 48% de las emisiones de SO₂. En Europa, entre 1980 y 1993 se ha observado una reducción de 45% de las emisiones de este contaminante, inclusive en los países que no firmaron ese protocolo. Por otra parte, si bien no se dispone de datos para todos los países hasta 1993, en todas las naciones que firmaron el Protocolo de Sofía se estabilizaron, en conjunto, las emisiones de NO_x en 1990 a los niveles de 1987, y en 1993 se redujeron en 4%.³⁰

Cabe destacar que el mayor impacto de los programas de control de la contaminación atmosférica en el mundo ha sido principalmente sobre las concentraciones de óxidos de azufre, quizás porque las medidas que se han aplicado para el control de este gas son menos costosas que las necesarias para otros contaminantes atmosféricos.

Es importante mencionar que estudios recientes de toxicología experimental y epidemiológicos sugieren que la fracción de partículas más relevantes en cuanto a los efectos adversos sobre la salud son las partículas finas procedentes de la combustión (PM_{2.5}), y quizás las partículas ultrafinas (que contienen sulfatos, nitratos, ácidos fuertes y elementos traza, tales como metales de transición), debido a que penetran en profundidad en los pulmones y pueden causar reacciones inflamatorias. El material particulado fino contiene una mayor superficie de agregación que la fracción gruesa (PM_{10-2.5}), lo cual facilita la adsorción de componentes potencialmente tóxicos y la disolución o absorción de contaminantes gaseosos y su subsecuente depósito en la región torácica. Por lo tanto, es extremadamente importante monitorear el material particulado fino y definir un estándar para su concen-

tración en el ambiente con la finalidad de proteger la salud de la población.

Debido a lo anterior, la EPA ha propuesto revisar los estándares primarios actuales respecto al material particulado, agregando dos nuevos valores límite de concentración o estándares primarios para partículas finas, PM_{2.5} media anual de 15 µg/m³, y PM_{2.5} promedio 24 horas de 50 µg/m³, con el objeto de incrementar la protección contra los efectos sobre la salud relacionados con el material particulado, entre los cuales se incluyen: mortalidad prematura; incremento en las admisiones hospitalarias; incremento en síntomas respiratorios y enfermedades en los niños y personas con problemas cardiopulmonares; decremento en la función pulmonar y alteraciones en el tejido y la estructura del pulmón y en los mecanismos de defensa del tracto respiratorio.^{20,27}

Es necesario considerar otras medidas de control que permitan reducir los contaminantes emitidos por los vehículos automotores, incluyendo combustibles limpios, reducción del número de vehículos particulares, mejoramiento del transporte público y prohibición de la circulación de vehículos en la zona centro de las ciudades.

Una recomendación clave de 1992 de la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro fue que cada gran ciudad preparara su propia "Agenda 21 local" para mejorar su medio ambiente y permitir un desarrollo sustentable. Un componente de estos programas se refiere al desarrollo de políticas de transporte sustentable; en este sentido, diferentes estrategias fueron propuestas por la OCDE en la Conferencia Europea de Ministros de Transporte.³³ La efectividad de las medidas que se tomaron fue variable; en consecuencia, es importante que los países de América Latina las evalúen para buscar las alternativas más adecuadas a la situación de sus ciudades.

De particular importancia es la colaboración entre los encargados de tomar decisiones, los industriales, los proveedores de servicios de salud y la comunidad, cuando se trata de poner en marcha acciones para reducir la contaminación del aire y para prevenir los efectos adversos de los contaminantes atmosféricos en todos los países del continente americano.

Referencias

1. Romieu I. Estudios epidemiológicos sobre los efectos en la salud por la contaminación del aire de origen vehicular. En: Mage DT, Zali O, eds. Contaminación atmosférica causada por vehículos automotores. Ginebra: Organización Mundial de la Salud, 1995.

2. Segala C. Health effects of urban outdoor air pollution in children. Current epidemiological data. *Pediatr Pulmonol* 1999;18:6-8.
3. Romieu I, Weitzenfeld H, Finkelman J. Urban air pollution in Latin America and the Caribbean. *J Air Waste Manage Assoc* 1991; 41(9):1166-1170.
4. World Health Organization/United Nations Environmental Programme. Urban air pollution in megacities of the world. Oxford: Blackwell, 1992.
5. Departamento del Distrito Federal/Gobierno del Estado de México/Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca/Secretaría de Salud. Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. México, D.F.: DDF/Gobierno del Estado de México/SEMARNAP/SSA, 1990.
6. Shrenk HH, Heimann H, Clayton GD. Air pollution in Donora, PA: Epidemiology of the unusual smog episode of October 1948. Preliminary report. Washington, D.C.: US Public Health Service. (Public Health Bulletin 306), 1949.
7. Ministry of Health, United Kingdom. Mortality and morbidity during the London fog of December 1952. Londres: HMSO (Reports on public health and medical subjects 95), 1954.
8. Firket J. Fog along the Mesue Valley. *Trans Faraday Soc* 1936;32:1192-1197.
9. Schwartz J, Marcus A. Mortality and air pollution in London. A time series analysis. *Am J Epidemiol* 1990;131:185-194.
10. Schwartz J, Dockery DW. Particulate air pollution and daily mortality in Steubenville, Ohio. *Am J Epidemiol* 1992;135:12-19.
11. Téllez-Rojo M, Romieu I, Polo-Peña M, Ruiz-Velasco S, Meneses-González F, Hernández-Avila M. Efecto de la contaminación ambiental sobre las consultas por infecciones respiratorias en niños de la Ciudad de México. *Salud Publica Mex* 1997;39(6) :513-521.
12. Borja-Aburto VH, Loomis DP, Bangdiwala SI, Shy CM, Rascón-Pacheco RA. Ozone, suspended particles, and daily mortality in Mexico City. *Am J Epidemiol* 1997;145:258-268.
13. Loomis DP, Castillejos M, Gold DR, McDonnell W, Borja-Aburto VH. Air pollution and infant mortality in Mexico City. *Epidemiology* 1999;10:118-123.
14. División de Población de las Naciones Unidas. World urbanization prospects: The 1994 Revision. Nueva York: Naciones Unidas, 1995.
15. United Nations. Statistical Yearbook 1993/94. Nueva York: United Nations, 1995.
16. Departamento del Distrito Federal/Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca/Secretaría de Salud/Gobierno del Estado de México. Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Partículas suspendidas: situación actual en la ZMCM. México, D.F.: DDF/Gobierno del Estado de México/SEMARNAP/SSA, 1993.
17. Secretaría Técnica de la Región Metropolitana. Programa de Descontaminación de la Región Metropolitana. Santiago de Chile: Printas.
18. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Relatório do qualidade do ar no Estado São Paulo. São Paulo: CETESB, 1994.
19. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Relatório do qualidade do ar no Estado São Paulo. São Paulo: CETESB, 1993.
20. EPA. Code of Federal Regulations. Particulate matter; proposed rule. 40 CFR, Part 50. Federal Register, 1996.
21. Comisión Nacional del Medio Ambiente, Región Metropolitana. Antecedentes para la declaración de zona saturada de la Región Metropolitana. Resumen Ejecutivo. Santiago de Chile: CONAMA, 1996.
22. EPA. Code of Federal Regulations. Protection of the Environment. National Archives and Records Administration. Parts 50 and 58. Washington, D.C., 1994 julio 1.
23. Departamento del Distrito Federal/Gobierno del Estado de México/Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca/Secretaría de Salud. Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000. México, D.F.: DDF/Gobierno del Estado de México/SEMARNAP/SSA, 1996.
24. Escudero-Ortúzar J. A 5 años del plan de descontaminación de la Región Metropolitana. En: Acción ciudadana por el medio ambiente. Santiago de Chile: Friedrich Ebert Stiftung, 1996.
25. Romieu I, Borja-Aburto V. Particulate air pollution and daily mortality: Can results be generalized to Latin America countries? *Salud Publica Mex* 1997;39:403-411.
26. Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en el Valle de México. La contaminación atmosférica en el Valle de México. Acciones para su control 1988-1994. México, D.F.: Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en el Valle de México, 1996.
27. Castillejos M, Gold D, Dockery D, Tosteson T, Baum T, Speizer F. Effects of ambient ozone on respiratory function and symptoms in Mexico City school children. *Am Rev Respir Dis* 1992;145:276-282.
28. Romieu I, Cortés-Lugo M, Ruiz-Velasco S, Sánchez S, Meneses F, Hernández M. Air pollution and school absenteeism among children in Mexico City. *Am J Epidemiol* 1992;136:1524-1531.
29. Hall JV, Winer AM, Kleinman MT, Lurmann FW, Brajer V, Colome SD. Valuing the health benefits of clean air. *Science* 1992;255:812-817.
30. Economic Commission for Europe. Convention on long-range transboundary air pollution: Strategies and policies for air pollution abatement. Ginebra: United Nations, 1995.
31. UNEP/WHO, GEMS-AIR Methodology Review Handbooks. Quality Assurance in Urban Air Quality Monitoring. Nairobi: United Nations Environment Programme, 1994; vol. 1.
32. Walter F, Suter S, Neuenschwander R. Sustainable transport policies: State of the art. En: Fletcher T, McMichael AJ, eds. Health and the crossroads. Transport policy and urban health. London School of Hygiene and Tropical Medicine Fifth Annual Public Health Forum. Londres: John Wiley & Sons, 1995:286-298.