

## AMBIENTE, PETRÓLEO Y CIUDAD

M. BAUER  
J. QUINTANILLA

SUMARIO: I. *Introducción*. II. *ZMCM: origen de la contaminación*. III. *La política ambiental y sus implicaciones para PEMEX*. IV. *Evolución de la contaminación del aire en la ZMCM*. V. *Conclusiones*. VI. *Bibliografía*.

### I. INTRODUCCIÓN

El consumo energético se da primordialmente en las conurbaciones del país, dado que concentran población, industria, comercio, servicios y transporte. En México, este consumo urbano se basa fundamentalmente en productos petrolíferos y en electricidad, aunque se da todavía un cierto consumo de leña. Por lo general la electricidad es generada a distancia de las zonas pobladas; esto incluye la generación térmica, a excepción de plantas generadoras que han quedado englobadas por el crecimiento urbano. Los combustibles y otros derivados del petróleo para uso residencial, transporte, servicios, comercio e industria se usan *in situ*, dando lugar a contaminación del aire por un lado y a deshechos que impactan suelo y mantos acuíferos.

### II. ZMCM: ORIGEN DE LA CONTAMINACIÓN

La Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) es el área urbana del país donde es más crítica la problemática ambiental producida por el consumo de petrolíferos. Es tristemente precursora de manifestaciones que ya han ido apareciendo en Guadalajara y Monterrey, y en otras crecientes conurbaciones del país. En el caso de la Ciudad de México,

aunadas al rápido crecimiento económico y demográfico, concurren en agravar la contaminación atmosférica las condiciones geográficas y climáticas especiales del Valle de México (Bauer 1995).

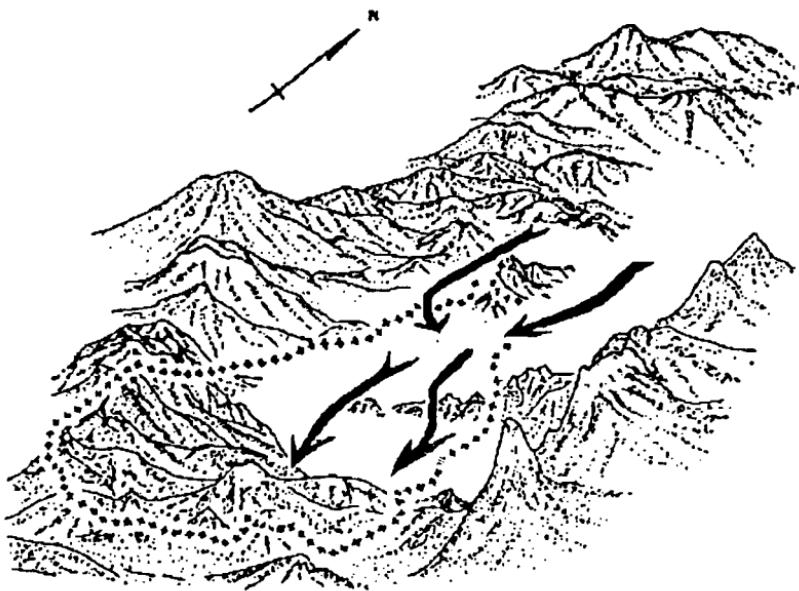
La ciudad está situada en el extremo sur de un altiplano a 2 240 m de altitud, rodeada por todos lados de montañas superiores a los 3 000 m, con excepción del norte; que es la dirección de donde predominantemente soplan vientos usualmente moderados (menos de 5 km/h). Su clima es templado. En promedio ocurren 18 inversiones térmicas por mes, que se rompen después de las siete antes meridiano, en verano, y las diez antes meridiano en invierno. Este se caracteriza por la ausencia de vientos, masas estacionarias de aire frío e inversiones térmicas casi diarias (Sedesol).

La ZMCM se extiende sobre una superficie de 4 605 km<sup>2</sup> que comprenden el Distrito Federal y 30 municipios del Estado de México. Hoy en día el desarrollo urbano de la ciudad cubre una superficie continua de más de 1 200 km<sup>2</sup>, habiendo englobado muchos poblados en su proceso de expansión.

La población actual en la ZMCM sobrepasa los 16 millones de habitantes. Un factor determinante en la generación de la problemática ambiental ha sido la rapidez de crecimiento, debido tanto a la tasa de natalidad imperante en el país como a la considerable inmigración de población rural. En efecto, en 1947 la población era de 1.7 millones, equivalente al ocho por ciento de la población total; ahora alcanza el 20 por ciento.

En la ZMCM se genera el 36 por ciento del producto interno bruto (PIB) del país. Contiene casi 37 000 industrias que constituyen el 26.4 por ciento del total (31 por ciento de las industrias pesadas y medianas). El consumo de energía comercial alcanza el 25 por ciento del total nacional y está constituido de hidrocarburos en un 82 por ciento y de electricidad el 18 por ciento restante. Diariamente se consumen combustibles equivalentes a 43.8 millones de litros de gasolina. En la figura 3 se muestra la distribución del consumo de combustibles por producto y por sector.

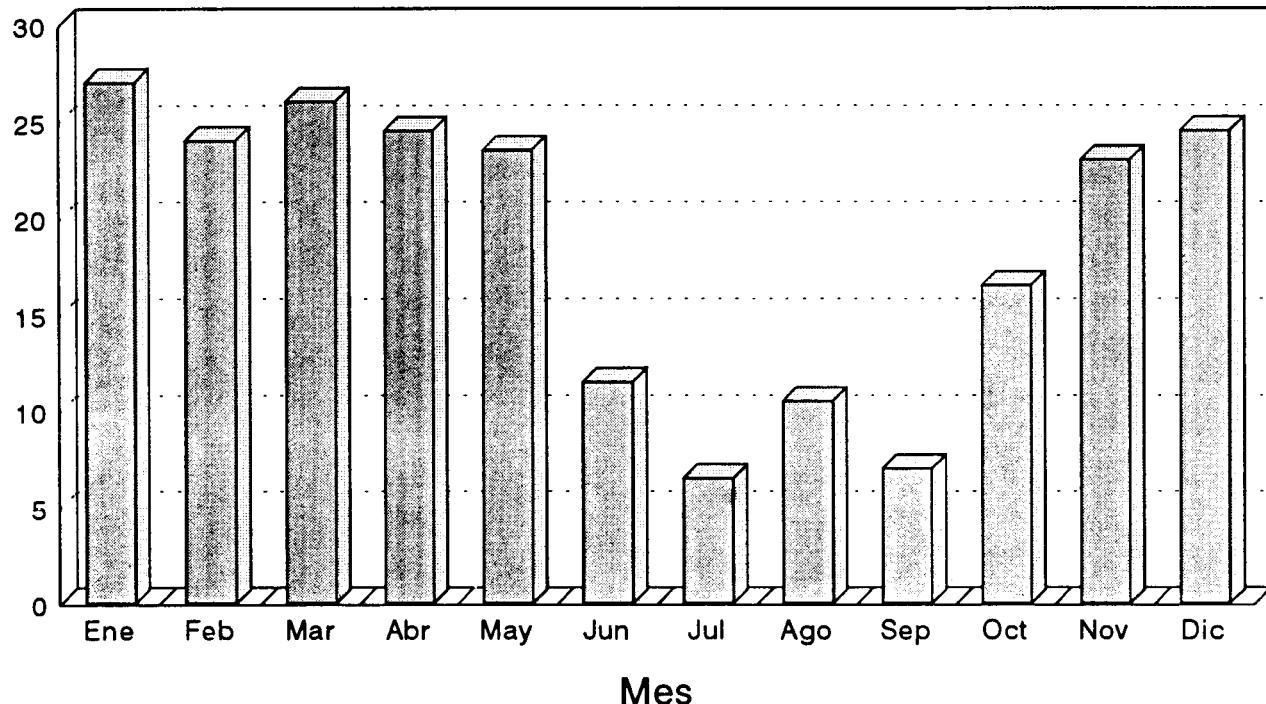
En 1993, se registraron durante el proceso de verificación de emisiones obligatorio en el Distrito Federal y el Estado de México, 2 689 446 vehículos automotores con la distribución señalada en la tabla 1. A estos deben añadirse una cantidad no cuantificada de vehículos de otros estados.



+++ Distrito Federal

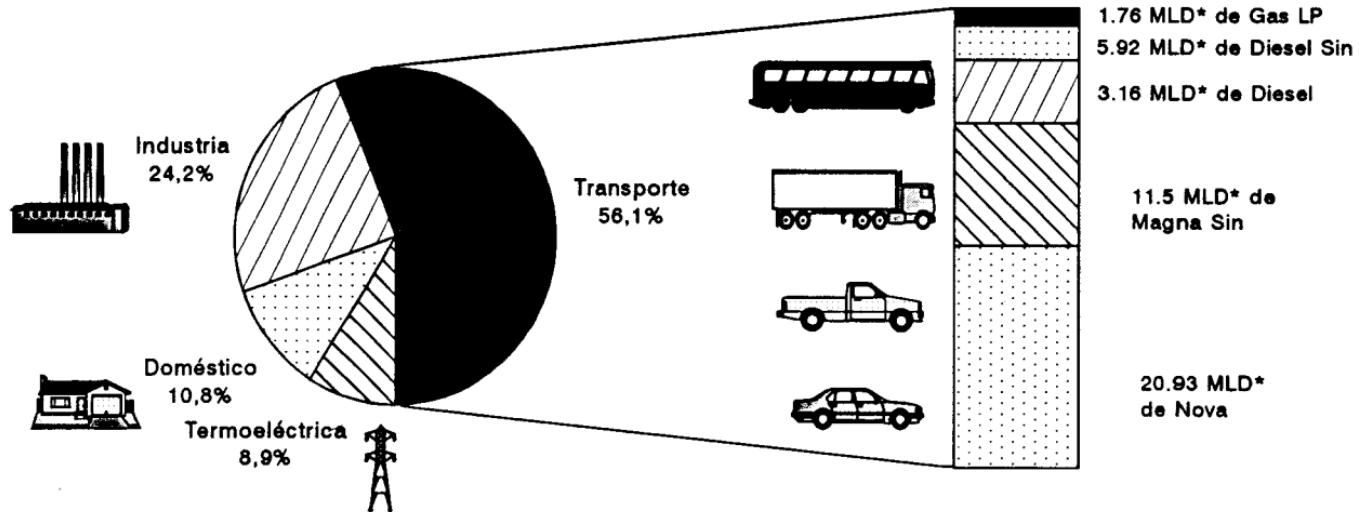
Figura 1. Topografía del Valle de México y dirección predominante de los vientos.

## Número de días



Fuente: SEDESOL

Figura 2. Frecuencia de inversiones térmicas.



El consumo total de combustibles equivale a 43.89 millones de litros diarios de gasolina Nova

\*MLD = Millones de litros diarios expresados como gasolina Nova.  
Fuente: PEMEX

Figura 3. Consumo de combustibles por sector en la ZMCM, promedio julio de 1993 a junio de 1994.

Tabla 1. Vehículos registrados en la ZMCM  
(Distrito Federal y Estado de México) 1993

Automóviles particulares	1 915 617	71.2 %
Taxis	145 953	5.4 %
Microbuses	51 466	1.9 %
Autobuses	10 946	0.4 %
Transporte escolar	3 649	0.1 %
Camiones	54 732	2.0 %
Camionetas comerciales	423 261	15.7 %
Vehículos del D.D.F.	29 190	1.0 %
Vehículos Gobierno Federal	3 550	0.1 %
Otros	51 082	1.9 %
Total	2 689 446	100.0 %

Los automóviles particulares cubren apenas el 27 por ciento de los viajes/persona/día (ahora estimados en aproximadamente 37 millones), con una ocupación promedio de menos de dos ocupantes. Esto da lugar a que el tráfico sea lento en general, con una velocidad promedio que va de 30 km/h a 13km/h en horas pico (Bauer 1995).

Se estima que 85 por ciento de la contaminación atmosférica en la ZMCM se debe al uso de combustibles, mientras que lo restante lo constituye esencialmente el polvo proveniente de calles no pavimentadas y de áreas circundantes desprovistas de vegetación, con una importante contaminación orgánica. A su vez, del total de las emisiones de la combustión de petrolíferos se le atribuyen a las fuentes móviles entre el 75 y el 80 por ciento. En 1994 el Valle de México absorbió en volumen el 23 por ciento de las ventas de gasolina en el país, el 30.7 de las de querosenos y el 10 por ciento de las de diésel. Las gasolineras, los querosenos y la fracción del diésel que consume el sector transporte generan más emisiones contaminantes en su combustión que los combustibles más limpios como son el gas natural utilizado primordialmente por el sector eléctrico y la industria, y el gas licuado de petróleo (GLP) destinado casi totalmente al uso doméstico. Una ilustración de como se distribuyen las fuentes de los principales contaminantes del aire se encuentra en la figura 4. Hay que hacer notar, sin embargo, que las fugas de hidrocarburos, esto es, ya sea gasolinas de los vehículos y de las gasolineras o bien GLP de los tanque de almacenamiento domésticos, contribuyen a la contaminación por su alta capacidad como reactivos en la formación de ozono (Riveros 1995).

Finalmente, los lubricantes y grasas que se utilizan en la industria y en el transporte son fuentes de contaminación del agua y el suelo en la medida que se deshechan descuidadamente.

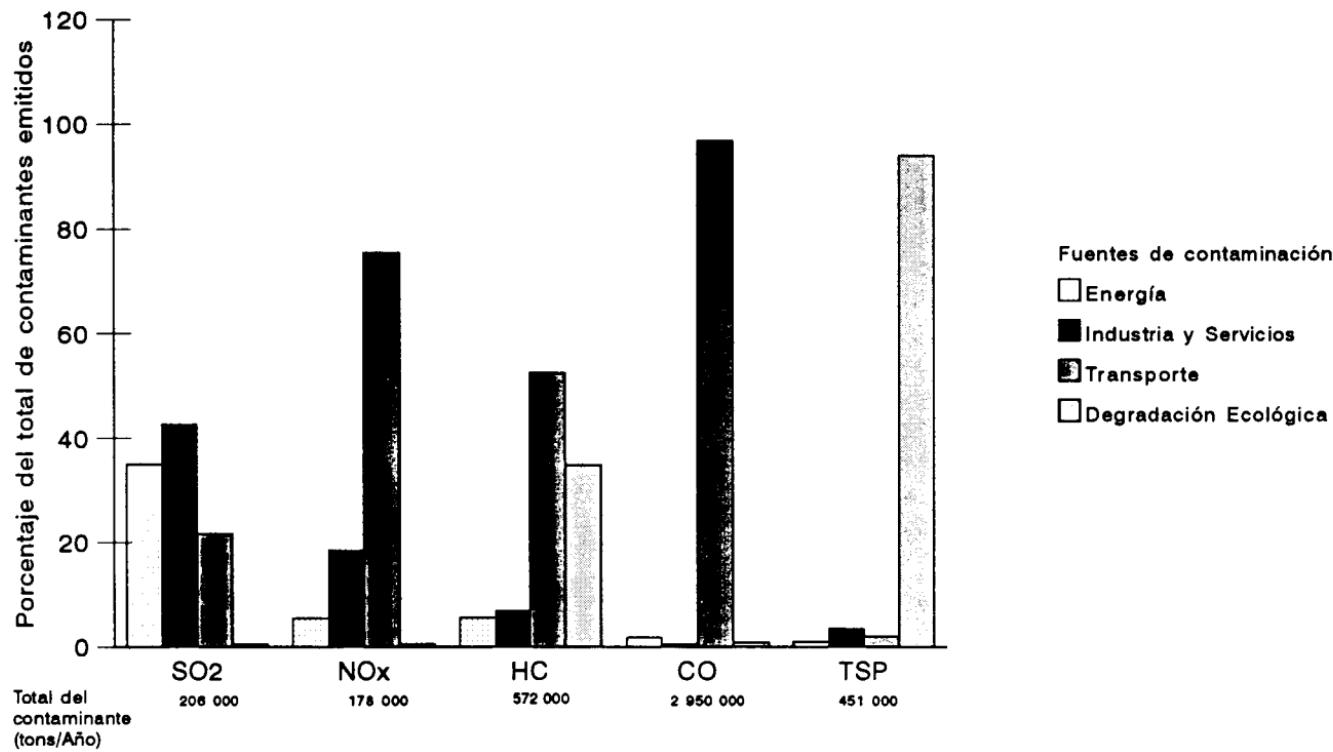
### III. LA POLÍTICA AMBIENTAL Y SUS IMPLICACIONES PARA PEMEX

El deterioro ambiental general creciente, en particular la contaminación del aire —monitoreada extensamente en la ZMCM a partir de 1986 con la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA)—, determinó que un eje fundamental de la política ambiental federal fuera el mejoramiento de los combustibles que proporciona PEMEX al transporte y a la industria. A esto se añadió el requerimiento de cerrar la refinería “18 de marzo” en Atzcapozalco y de suministrar gas natural para sustituir el combustóleo en las dos centrales eléctricas ubicadas en el Valle de México.

Para sustentar la política de mejoramiento de combustibles y no depender de importaciones, se programa en 1990 el llamado “paquete ecológico” de PEMEX, cuyo objetivo es (PUE 1995):

Abatir la contaminación atmosférica (principalmente en la Zona Metropolitana del Valle de México) mediante la producción de gasolinas con calidad ecológica internacional, comparable a la que tendrían tales productos en los países desarrollados a mediados de la década, y disminuir el contenido de azufre en el diésel y combustóleo.

Este paquete considera las adecuaciones a las plantas de refinación y la construcción de nuevas instalaciones, necesarias para eliminar el plomo y aumentar el octanaje de las gasolinas, producir los aditivos oxigenantes correspondientes (MTBE y TAME) y disminuir el contenido de azufre en el diésel y el combustóleo. Cabe recordar aquí que alrededor del 50 por ciento de la producción petrolera de México lo constituye el crudo pesado, esto es, con un alto contenido de azufre y metales pesados como el vanadio. El mercado interno se surtió en 1994 con un 32 por ciento de crudo pesado, un 59 por ciento de crudo ligero y un nueve por ciento de superligero. El paquete está constituido por 20 plantas, con una inversión aproximada de 1 200 millones de dólares. En la Figura 5 se ilustra la ubicación y los procesos que involucran. En 1994 se reportó un avance del 51 por ciento.



Fuente: PICCA 1990

Figura 4. Fuentes de contaminación en la Ciudad de México, 1989.

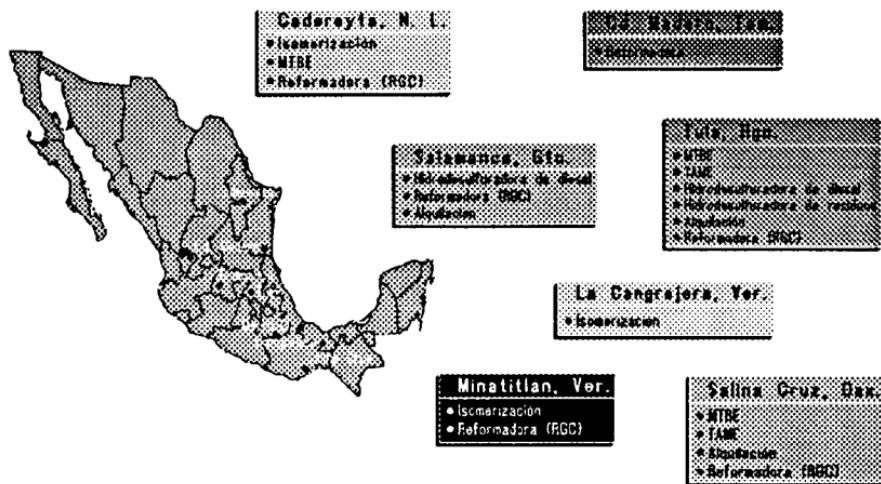
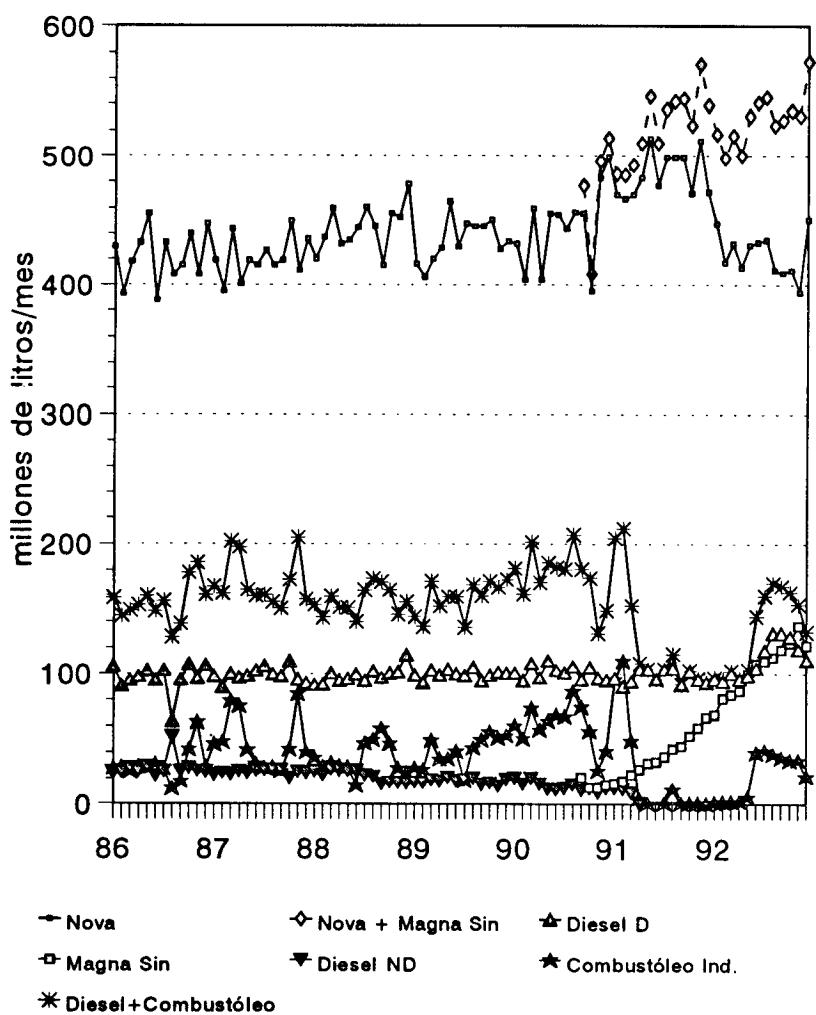


Figura 5. Paquete ecológico de proyectos. Inversión total: 1,200 MM de dólares.

El mejoramiento de las gasolinas se inicia de hecho en 1986 con una reducción considerable del contenido de plomo (PUE 1995). Esto se continúa en etapas sucesivas hasta alcanzar el rango de 0.1 -0.2 ml/gal de tetraetilo de plomo (TEP). Se introducen también aditivos detergentes y en el invierno de 1989 se empieza a mezclar compuestos oxigenantes en la gasolina destinada al Valle de México; se compensa así el déficit de oxígeno debido a la altitud y se logra una combustión más completa. Esto forma parte del programa de reformulación de gasolinas destinadas a las zonas críticas, donde además de los aditivos oxigenantes se buscan composiciones con un menor contenido de azufre así como con una menor proporción de los compuestos altamente reactivos a la atmósfera, que son precursores de la formación de ozono.

En 1990 se empieza a introducir además la gasolina sin plomo. Esto era necesario dado el decreto que requería, como parte del control ambiental, que a partir de 1991 todo automóvil nuevo comercializado en México debía estar equipado con convertidor catalítico. Este dispositivo reduce drásticamente la emisión por el escape de monóxido de carbono, de óxidos de nitrógeno y de hidrocarburos no quemados, pero el plomo destruye rápidamente su efectividad. A la fecha, la gasolina sin plomo constituye más del 45 por ciento del volumen total de gasolina consumida en el país.

Del consumo interno de diésel, alrededor del 70 por ciento se utiliza en el transporte y el 13 por ciento en la industria. Por este motivo, a partir de 1986 se inicia el proceso de reducir el contenido de azufre en el diésel, poniéndose en el mercado tres tipos: uno con un máximo de dos por ciento de azufre y los otros con uno por ciento; de estos últimos, el destinado a la ZMCM adicionalmente estaba formulado de manera a reducir emisiones de partículas y humos. En 1993, se introduce el diésel Sin, con un contenido máximo de 0.05 por ciento además de limitaciones en su contenido de aromáticos e índice de cetano, en respuesta a la normatividad más estricta para automotores a diésel en el Valle de México adoptada a fines de 1993. La figura 6 presenta la evolución del consumo de los distintos combustibles en la ZMCM.



Fuente: JQM, preparada con base en información de PEMEX, 1993.

Figura 6. Consumo de combustibles en la ZMCM 1986-1993.

#### IV. EVOLUCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN LA ZMCM

El mejoramiento de combustibles constituye un elemento esencial del Plan Integral de Control de la Contaminación Ambiental (PICCA), enunciado en 1990. En efecto, este plan contempla 42 acciones concretas agrupadas en cinco estrategias, a saber:

- combustibles más limpios,
- expansión del sistema de transporte público y control de las emisiones vehiculares,
- control de las emisiones industriales, incluyendo fuentes pequeñas y plantas generadoras de electricidad,
- reforestación de la ZMCM y, finalmente,
- investigación, educación y comunicación.

A lo anterior se añade un Plan de Contingencia Ambiental que contempla diversas medidas de emergencia dependiendo del nivel del Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA) alcanzado. Adaptado del US Pollutant Standard Index y con una escala de cero a quinientos, los niveles por debajo de 100 son admisibles de acuerdo a los estándares adoptados; por encima de 300, la situación se considera altamente peligrosa.

El conocimiento de la evolución de la contaminación del aire se deriva de la extensa red de monitoreo que opera en la ZMCM. La detección de partículas suspendidas totales (PST) y de metales pesados en la atmósfera se inició en 1976 con estaciones de operación manual. En 1986, con la instalación de 25 estaciones de la Red Automática de Monitoreo Ambiental, se empiezan a registrar sistemáticamente el ozono, el monóxido de carbono, los dióxidos de nitrógeno y de azufre, y las PST, así como parámetros metereológicos: velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad, altura de la capa de inversión. Zonas suburbanas adicionales fueron cubiertas con cinco estaciones más en 1993. Se han añadido monitores de la llamada fracción respirable de las PST, o sea, las partículas con diámetros menores a diez micrómetros (PM10).

Las figuras 7, 8, 9, 10 y 11 ilustran la evolución de las incidencias anuales de días con IMECA mayor de 100 y de los principales contaminantes.

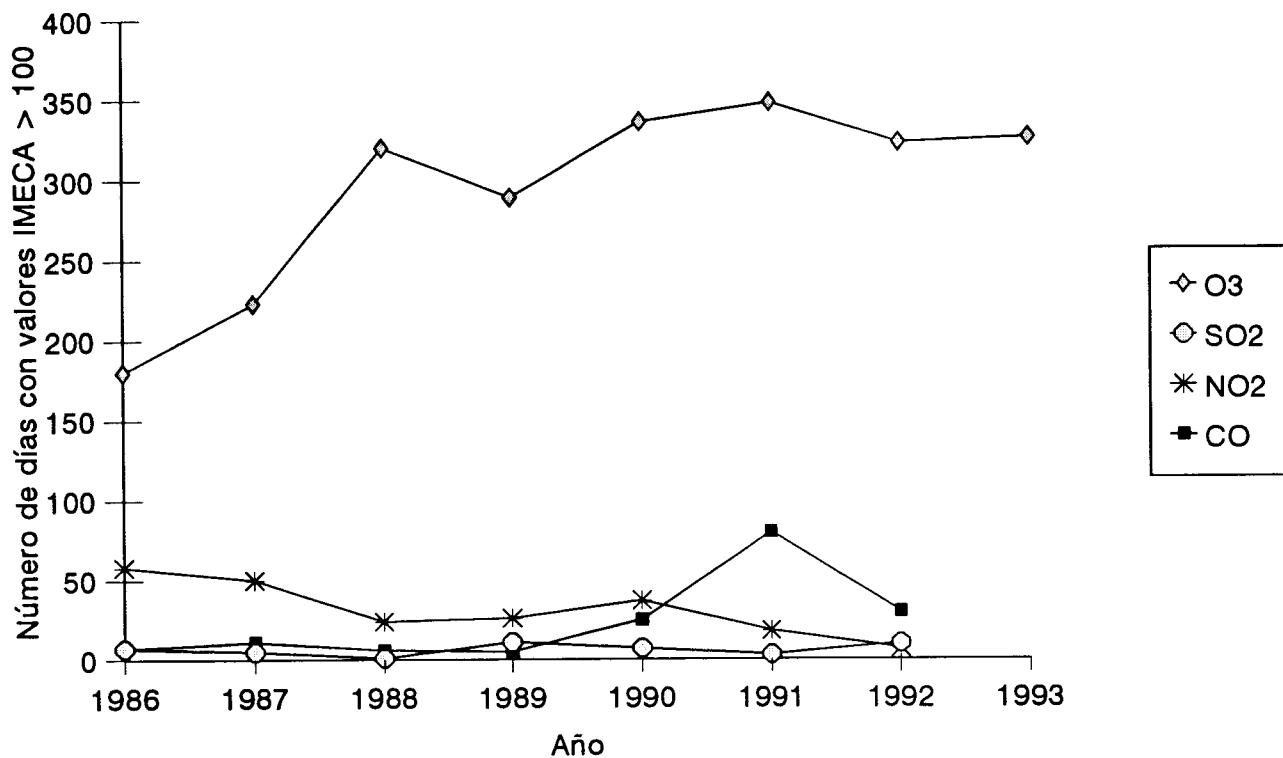


Figura 7. Calidad del aire en la ZMCM.

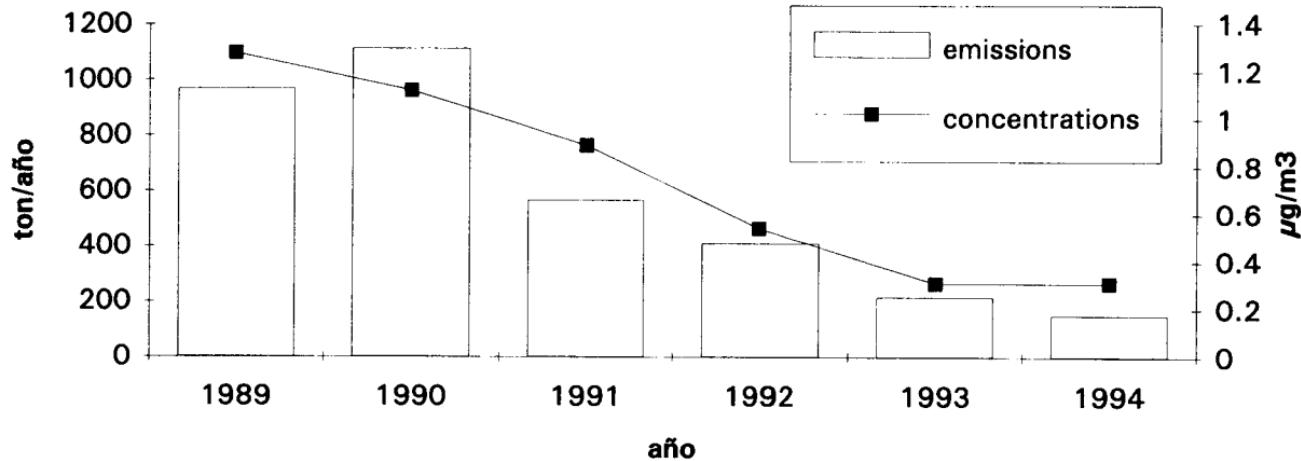


Figura 8. Emisiones y concentraciones de plomo.

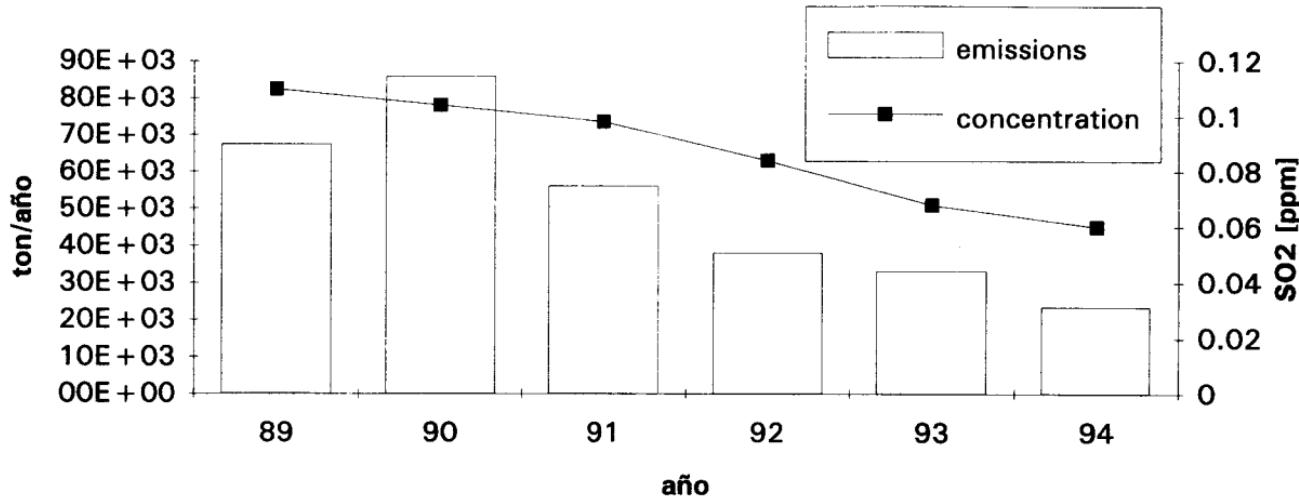


Figura 9. Emisiones y concentraciones de SO<sub>2</sub>.

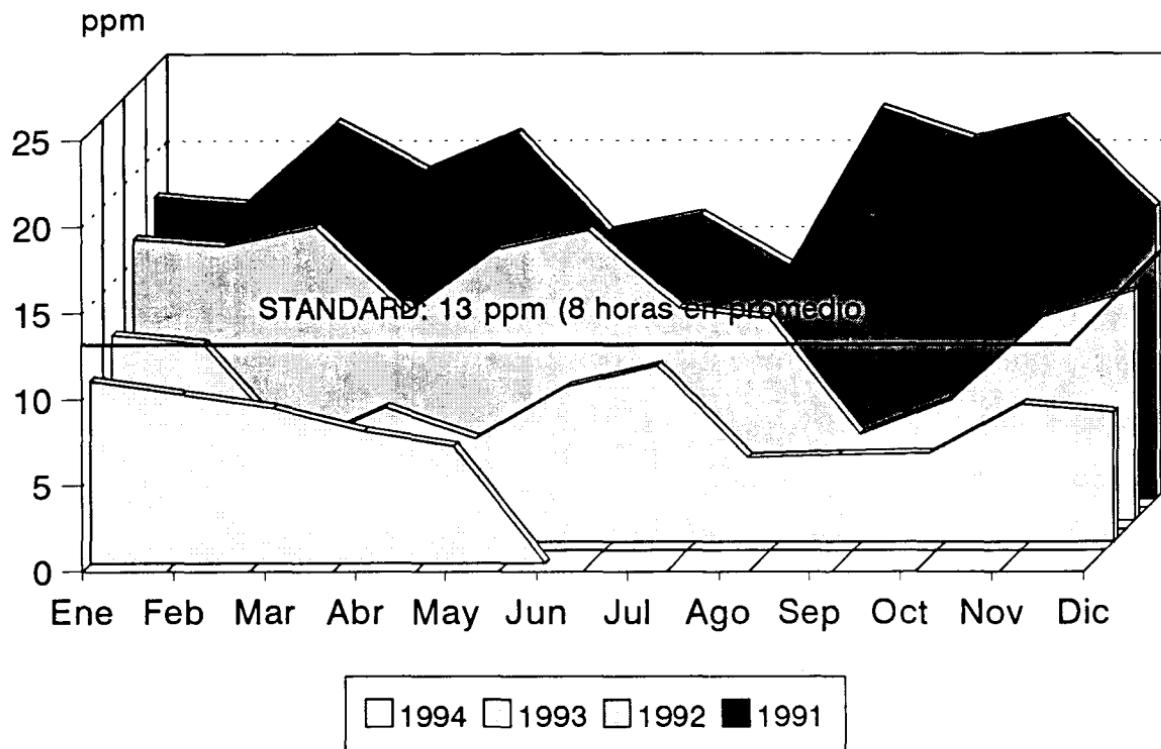


Figura 10. Monóxido de carbono. Máxima mensual en la Ciudad de México.

Pese al aumento considerable en el consumo de gasolinas, se puede constatar que el plomo y el dióxido de azufre han sido puestas por debajo de la norma. Esto puede considerarse resultado directo de la reducción del plomo en la gasolina Nova, y la introducción de la Magna Sin, así como la desulfuración del diésel y el combustóleo, y el uso de gas natural en las plantas de potencia.

En el caso de los contaminantes CO y NO<sub>2</sub>, inciden en la reducción constatada no solo la reformulación de las gasolinas y el uso de oxigenantes sino algunas de las otras medidas adoptadas en el PICCA. Específicamente deben resaltarse la introducción de los convertidores catalíticos, con la consecuente necesidad de utilizar gasolina sin plomo, y la verificación periódica obligatoria de las emisiones de los automotores. Sin embargo se estima que todavía el 56 por ciento de los HC en la atmósfera proviene de la evaporación de gasolinas (Riveros 1995).

Otras medidas sin embargo son contraproducentes. El “Hoy no circula”, al hacerse permanente, indujo a la compra de un segundo vehículo, en general más antiguo y por lo mismo más contaminante, como se pudo constatar en una experiencia de detección remota de las emisiones de vehículos circulantes llevada a cabo en el contexto de la Iniciativa de Investigación de la Calidad del Aire en la Ciudad de México, colaboración del Instituto Mexicano del Petróleo con Los Alamos National Laboratory de Estados Unidos. La figura 12 muestra los resultados de esa experiencia de campo, que a su vez ilustra la efectividad de los convertidores catalíticos (IMP 1994) introducidos a partir de 1991. Sin embargo el parque vehicular tiene una edad promedio de 8.5 años, con un 68 por ciento de modelos anteriores a 1991. Se estima que tardará 16 años para que todos los automotores en la ZMCM tengan convertidor catalítico, aunque este plazo podría acortarse si se implanta algún incentivo para retirar de circulación los vehículos más antiguos.

Lo mismo ocurre con la política de aumentar el transporte público por medio de microbuses de propiedad privada, independientemente de la exigencia de estar equipados con convertidores catalíticos y usar Magna Sin. Obviamente, este esquema si logró atraer inversión privada e incrementar el (auto) empleo en una época de crisis. Sin embargo, amen de no detectarse una disminución en el uso del automóvil particular, se incrementó la congestión vehicular lo cual incide significativamente en el volumen de las emisiones. Estos microbuses circulan a toda hora, independientemente de la demanda; no admiten una programación semejante a la que es posible con una línea de camiones, o el mismo Metro, en la cual se adecua el número de unidades en circulación de acuerdo a los picos de demanda. Lo que sí se notó fue un aumento considerable en la demanda de gasolina (figura 13).

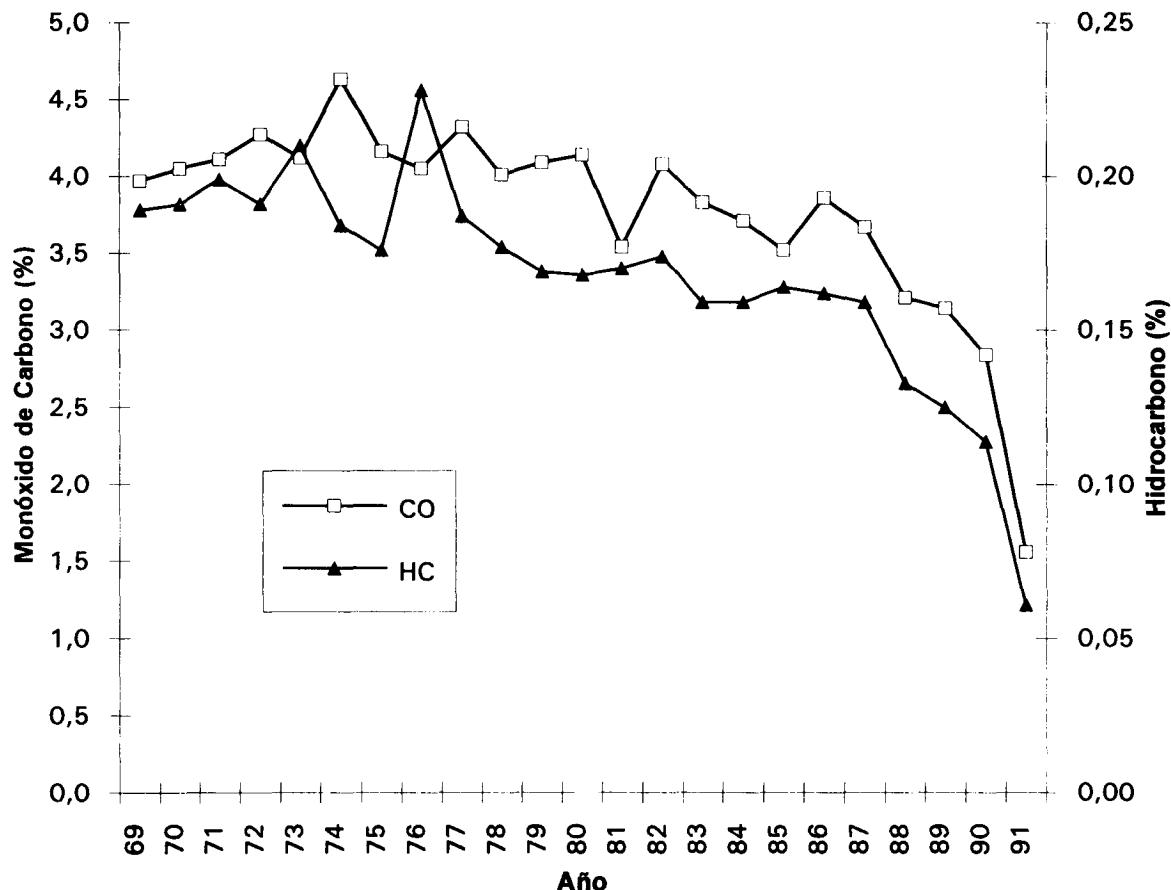


Figura 11. Emisiones de los tubos de escape en la Ciudad de México. Febrero de 1991.

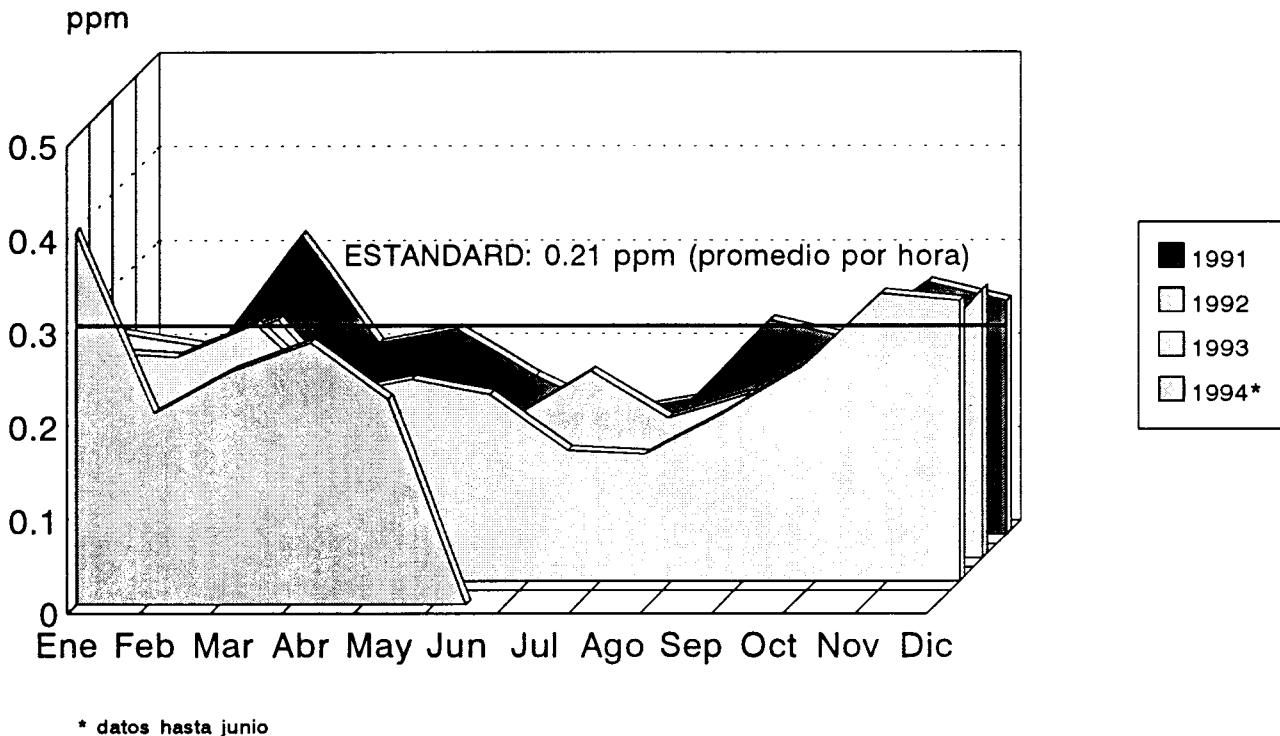


Figura 12. Bióxido de nitrógeno. Máximos mensuales en la Ciudad de México.

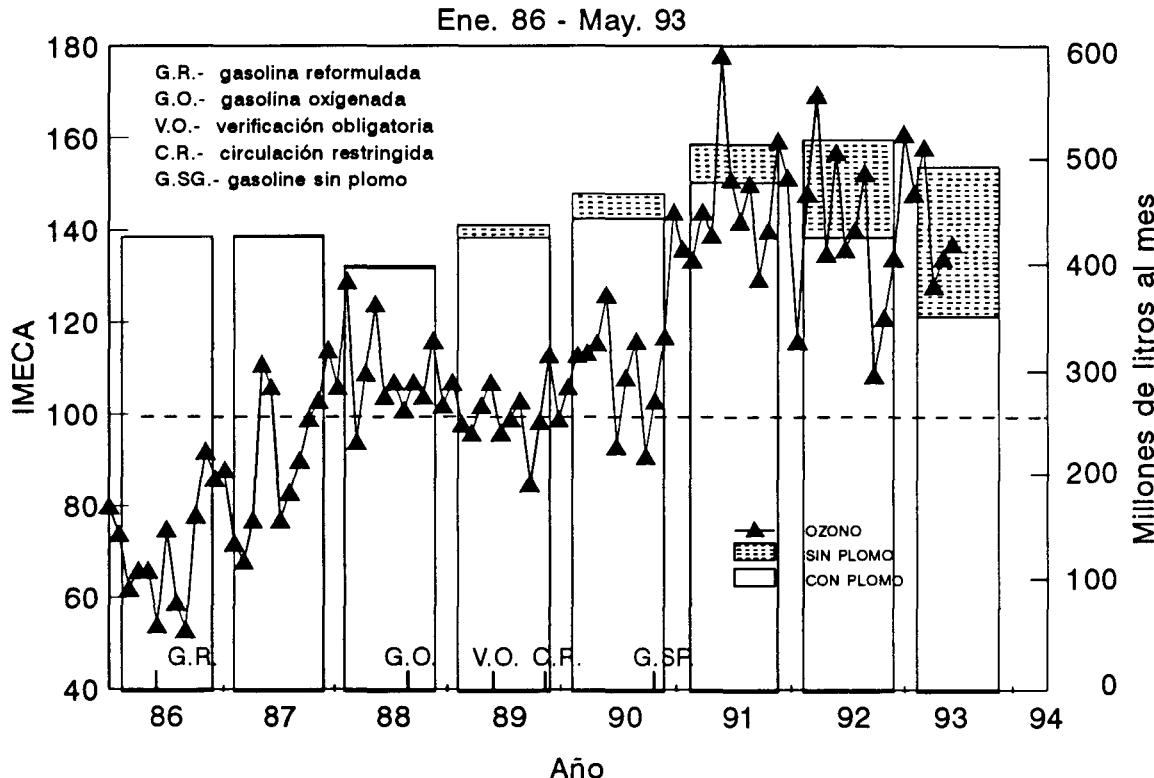


Figura 13. Consumo de gasolina y promedio mensual de los picos diarios de ozono en cinco puntos de la ZMCM.

En la figura 13 se constata que el problema del ozono ha ido en aumento, de acuerdo al creciente consumo de gasolinas. Parece ser, aunque esto requiere seguimiento, que la introducción de la gasolina sin plomo, reformulada, tiende a revertir la tendencia. Es de notarse que la introducción del “Hoy no circula” no moderó notablemente en el crecimiento del consumo, lo que puede asociarse con la adquisición del segundo vehículo y con la ampliación de recorrido de los vehículos en circulación.

## V. CONCLUSIONES

El transporte es la principal fuente de contaminación del aire en la ZMCM y en general en todas las concentraciones urbanas. Aunque el problema no ha sido resuelto en su totalidad, en parte debido a medidas contradictorias desde el punto de vista ambiental, hay que reconocer tanto el esfuerzo como el avance logrado. Plomo y azufre han sido controlados. Permanece el problema del ozono, al que se añade el de las partículas suspendidas y los aerosoles. Se puede decir que el perfil de la contaminación ha dejado de ser el de un país subdesarrollado para evolucionar al de un país industrializado.

Notable ha sido el avance en la reformulación de gasolinas, en la que PEMEX muestra liderazgo mundial ofreciendo gasolinas y diésel de óptima calidad ambiental en zonas críticas como es la Ciudad de México, aún antes de lo que ocurre en regiones de Estados Unidos con reglamentaciones estrictas.

Obviamente la solución óptima a la necesidad de transporte es un sistema eléctrico de transporte masivo. Aunque la generación de la electricidad necesaria se haga con hidrocarburos, se puede ubicar las plantas lejos de las zonas urbanas y controlar sus emisiones. Si por razones económicas no se puede de momento intensificar su desarrollo, es conveniente al menos contar con una planeación urbana que defina y preserve corredores con vistas a la construcción futura del sistema. Si el sistema es subterráneo, la superficie puede albergar vías rápidas para los vehículos automotores. Por otra parte, el transporte público de superficie debe proporcionarse con trolebuses de preferencia; en su defecto, con líneas de autobuses, privada o municipales, cuya afluencia pueda ser programada de acuerdo a la demanda, disminuyendo así el uso de combustible y los congestionamientos.

No de menor importancia son todas aquellas medidas que incidan en una gestión de la demanda. Los picos diarios pueden ser aligerados con el establecimiento de horarios escalonados o flexibles. La demanda total, y por lo tanto el consumo de combustibles y las emisiones consiguientes, puede reducirse con una extensión de la jornada laboral diaria para cumplir con la semana laboral con un día menos de asistencia al lugar de trabajo.

Lo anterior no excluye todas las acciones orientadas a las fuentes fijas —industria, comercio y servicios, sector residencial. Aunado a seguir proporcionando combustibles limpios a las industrias, deben intensificarse las auditorías energéticas y ambientales. Asimismo debe concientizarse a la población a adoptar individualmente toda medida de uso racional de la energía y de protección ambiental.

## VI. BIBLIOGRAFÍA

- BAUER 1995: “Urban air pollution and transport: The México City Metropolitan Area”, Mariano BAUER, Francisco GUZMÁN, Rodolfo LACY Y Sergio SÁNCHEZ, en *Local and Regional Related Environmental Issues*, ed. World Energy Council.
- IMP 1994: “México City Air Quality Research Initiative”, Final Report, IMP/LANL-12699; Los Alamos, NM-Mexico DF, 1994.
- PUE 1995: *Internalización de costos ambientales*, XII Curso sobre Planificación Energética, ed. Programa Universitario de Energía, UNAM, 1995; en particular 1) Manuel Viejo Zubicaray: “El paquete ecológico de PEMEX”; 2) Carlos H. MENA BRITO: “El consumo de hidrocarburos en México”.
- RIVEROS 1995: “Hidrocarburos en la atmósfera de la Ciudad de México: ¿quién los emite?”, Héctor RIVEROS ROTGE, *Ciencia y Desarrollo* (en prensa).
- Sedesol: *Boletín informativo de la calidad del aire*.