

III ESTADÍSTICAS DEL MEDIO AMBIENTE NATURAL, ASENTAMIENTOS Y ACTIVIDADES HUMANAS

Introducción

En el capítulo anterior se ha descrito el marco de referencia sobre los elementos y condiciones básicas—el *estado* del ambiente y sus recursos— que son el campo de acción, y resultado a la vez, de las actividades humanas. Ese escenario sirve ahora para presentar una visión descriptiva de las actividades humanas y socioeconómicas involucradas con la evolución de los recursos naturales y ambientales en los años recientes. Se trata de referenciar, de manera general, dos aspectos que pueden dar pautas del desempeño ambiental: por un lado, el conjunto de actividades humanas —las *presiones*—, que están determinando las transformaciones sobre los recursos naturales en términos de su agotamiento y/o deterioro y las repercusiones de ello en la calidad del ambiente, y por otro, en lo que respecta a las *respuestas*, cómo la sociedad está respondiendo ante esos cambios en términos de detener, controlar, restaurar y revertir los problemas de deterioro/agotamiento del ambiente.

III.1 ESTADÍSTICAS DEL MEDIO AMBIENTE NATURAL

III.1.1 Atmósfera

La calidad del aire en las zonas metropolitanas se explica en parte por la cantidad y calidad de los combustibles consumidos, por el tipo de tecnologías imperantes en la planta industrial, por la alta concentración de las actividades productivas y de población, así como por las condiciones meteorológicas existentes. El incremento de emisiones y, por tanto, las mayores concentraciones de contaminantes es particularmente ostensible en las zonas metropolitanas de las ciudades de México, Guadalajara y Monterrey. Los habitantes de estas metrópolis se exponen de manera crítica a los efectos de los contaminantes, particularmente a aquellos con un pronunciado gradiente de concentración espacial, como son los casos del monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno y el plomo.

Dos tópicos fundamentales son tratados en esta sección: por un lado, la calidad del aire en México, considerando las tres principales áreas metropolitanas del país, las ciudades fronterizas del norte (dentro de éstas el caso de ciudad Juárez) y otras ciudades de tamaño medio, y por otro lado, algunos aspectos generales sobre cambio climático, incluyendo el inventario nacional de gases de invernadero de México, estudios de vulnerabilidad y algunas acciones de mitigación.

Calidad del aire en México

Normas e índice de calidad del aire

El 23 de diciembre de 1994 la Secretaría de Salud publicó las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) para evaluar la calidad del aire con respecto a ozono, bióxido de azufre, bióxido de nitrógeno, monóxido de carbono, plomo, partículas suspendidas totales (PST), y partículas suspendidas con diámetro menor de 10 micras (PM-10), que representan la fracción respirable de las PST.

Actualmente, existen 20 NOM sobre calidad del aire, todas ellas relacionadas a máximos permisibles de contaminantes emitidos por fuentes fijas y móviles.

Las normas de calidad del aire establecen los niveles máximos permisibles de concentración de contaminantes que garantizan la protección de la salud de la población en general y también de los grupos más susceptibles, para lo cual las normas incorporan un margen de seguridad. Las normas son de observancia para las autoridades federales y locales que tengan a su cargo el desarrollo y la aplicación de los planes o programas de política ambiental. Cabe mencionar que las normas mexicanas de calidad del aire son similares a las de otros países, en particular a las de los Estados Unidos y Canadá (Cuadro III.1.1.1).

El Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA) consiste en una conversión de las concentraciones de contaminantes a un número adimensional que indica el nivel de contaminación de una manera accesible para la población (Cuadro III.1.1.2). Este tipo de índice se utiliza en todo el mundo, siendo uno de los más conocidos el Pollutant Standard Index (PSI), utilizado en los Estados Unidos.

Un IMECA de 100 puntos equivale a la norma de calidad del aire para un contaminante determinado; los múltiplos de 100 de los IMECA se han desarrollado por medio de algoritmos sencillos que toman en cuenta los criterios de salud ambiental. La calidad del aire no es satisfactoria si el IMECA se sitúa entre 100 y 200, mala entre 200 y 300 y muy mala por arriba de 300 puntos.

La calidad del aire de una región está asociada al volumen, calidad y tipo de combustibles consumidos, equipos de combustión de las plantas industriales y de servicios, tecnologías de control y combustión de emisiones en vehículos, ubicación y condiciones meteorológicas así como la interacción entre los diferentes contaminantes y los componentes del aire que modifican la química atmosférica.

La variación en las condiciones meteorológicas es una de las causas principales de los eventos de concentración

Valores normados para los contaminantes

Cuadro III.1.1.1

Contaminante	Valores límite		
	Exposición aguda ¹		Exposición crónica ²
	Concentración (tiempo promedio)	Frecuencia máxima aceptable	
Ozono (O ₃)	0.11 ppm (1 hora)	1 vez cada 3 años	-
Bióxido de azufre (SO ₂)	0.13 ppm (24 horas)	1 vez al año	0.03 ppm (media aritmética anual)
Bióxido de nitrógeno (NO ₂)	0.21 ppm (1 hora)	1 vez al año	-
Monóxido de carbono (CO)	11 ppm (8 horas)	1 vez al año	-
Partículas suspendidas totales (PST)	260 µg/m ³ (24 horas)	1 vez al año	75 µg/m ³ (media aritmética anual)
Partículas fracción respirable (PM-10)	150 µg/m ³ (24 horas)	1 vez al año	50 µg/m ³ (media aritmética anual)
Plomo (Pb)	-	-	1.5 µg/m ³ (media aritmética 3 meses)

¹ Para población en general.

² Para población susceptible.

FUENTE: Instituto Nacional de Ecología.

Niveles de contaminantes según múltiplos de 100 del IMECA

Cuadro III.1.1.2

IMECA	PST (24hr) µg/m ³	PM-10 (24hr) µg/m ³	SO ₂ (24hr) ppm	NO ₂ (1hr) ppm	CO (8hr) ppm	O ₃ (1hr) ppm
100	260	150	0.13	0.21	11	0.11
200	546	350	0.35	0.66	22	0.23
300	627	420	0.56	1.10	31	0.35
400	864	510	0.78	1.60	41	0.48
500	1 000	600	1.00	2.00	50	0.60

FUENTE: Instituto Nacional de Ecología.

de contaminantes. Por lo que debe considerarse su influencia local en el análisis del comportamiento de algún contaminante, cuando no presente cambios significativos.

Redes de monitoreo atmosférico a nivel nacional

Para evaluar periódicamente la calidad del aire y adoptar las medidas de protección necesarias, se han identificado ciudades prioritarias en las que se han instalado equipos de monitoreo atmosférico, tanto manual como automático, para medir contaminantes atmosféricos, tales como: partículas suspendidas totales, bióxido de azufre, bióxido de nitrógeno, ozono, hidrocarburos, plomo y partículas fracción respirable, además de parámetros meteorológicos.

Para cumplir este objetivo la Semarnap ha puesto en operación 68 estaciones de monitoreo atmosférico (EMA), distribuidas en ocho entidades federativas y el Distrito Federal (Cuadro III.1.1.3). De ese total, el 47%

se localiza en las 16 delegaciones del Distrito Federal y en 17 municipios del estado de México.

Características generales de las zonas metropolitanas de México, Guadalajara y Monterrey

Del conjunto de zonas metropolitanas del país, las del Valle de México (ZMVM), Guadalajara (ZMG) y Monterrey (ZMM) seguían siendo las más pobladas en 1995, pues concentraban el 25% de la población nacional, esto es, 18.3, 3.8, y 3.3%, respectivamente. El cuadro III.1.1.4 permite comparar a las tres ciudades en términos de su parque vehicular, planta industrial y número de estaciones de monitoreo atmosférico.

En términos demográficos, la ZMVM es la ciudad más importante de sistema urbano nacional; contiene 5 y 5.5 veces la población de las otras dos áreas metropolitanas que le siguen en importancia dentro de la escala urbana, es decir, la ZMG y ZMM. En 1993 las tres zonas metropolitanas concentraban el 18.2% de los establecimientos manufactureros, del cual el 74.4% se localizaba en la ZMVM, el 18.3% en la ZMG y el 7.3% en la ZMM.

La concentración de vehículos de automotor es más alta en estas tres ciudades que en las otras áreas urbanas del país, lo cual es evidente en la composición del parque vehicular, cuya mayoría lo constituyen los autos particulares, que representan el 71, 69 y 52% en la ZMCM, ZMG y ZMM respectivamente. Por tanto, también concentran el mayor número de EMA (45 de las 68 que funcionan en el país) (Cuadro III.1.1.5).

Características de los métodos continuos de monitoreo atmosférico a nivel nacional

Cuadro III.1.1.3

RAMA ¹	Entidad federativa	No. de EMA ²	Nombre de las EMA	Localidad y/o municipio	Fecha de instalación	Instancia responsable	Contaminantes monitoreados
Cananea-Nacozari	Sonora	4	- Nacozari - Aeropuerto - Planta de Cal - Esqueda	Nacozari	1987	Mexicana de Cobre S.A. de C.V. (Planta Fundición)	SO ₂ y algunos parámetros meteorológicos
Ciudad Juárez	Chihuahua	3	- Pestalozzi (2) ³ - Advance - Transformer ³	Ciudad Juárez	1983	Municipio de Ciudad Juárez	SO ₂ , NO _x , O ₃ , CO y parámetros meteorológicos
Guadalajara	Jalisco	8	- Miravalle - Las Águilas - Vallarta - Oblatos - Atemajac - Centro - Tlaquepaque - Loma Dorada	Guadalajara, Tlaquepaque, Zapopan y Tonalá	1993	Comisión Estatal de Ecología del estado de Jalisco (COESE)	SO ₂ , NO _x , O ₃ , CO, HC, Pb, PM-10 y parámetros meteorológicos
Manzanillo	Colima	3	- Manzanillo - Las Hadas - El Naranjo - El Vigía (únicamente meteorológica)	Manzanillo	1991	Comisión Federal de Electricidad (Central Termoeléctrica General Manuel Alvarez M.)	SO ₂ , NO _x , PM-10 y parámetros meteorológicos
Monterrey	Nuevo León	5 y una unidad móvil de monitoreo atmosférico	- La Pastora - Santa Catarina - El Obispado - San Bernabé - San Nicolás de los Garzas	Monterrey, Guadalupe, Santa Catarina, San Nicolás de los Garza	1992	Sistema Integral de Monitoreo Ambiental (SIMA) de la Subsecretaría de Ecología del estado de Nuevo León	SO ₂ , NO _x , O ₃ , PST, PM-10 y parámetros meteorológicos
San Luis Potosí	San Luis Potosí	5 y una unidad móvil de monitoreo atmosférico	- Tecnológico - Morales - Campestre - Lomas - Lomas II Dorada	Ciudad de San Luis Potosí	1987	Industrial Minera México, S.A. de C.V. (Estación Central)	SO ₂ y parámetros meteorológicos
Tijuana	Baja California	1	- ITT	Tijuana	1987	Instituto Tecnológico de Tijuana	SO ₂ , NO _x , O ₃ , CO y parámetros meteorológicos
Toluca	México	7 y una unidad móvil de monitoreo atmosférico	- Toluca Centro - San Mateo Oxtotitlán - San Lorenzo Tepatlán - Aeropuerto - San Cristóbal Huichochitlán - Metepec - San Mateo Atenco	Toluca, Metepec, Lerma, Zinacantepec y San Mateo Atenco	1993	Secretaría de Ecología del estado de México	SO ₂ , NO _x , O ₃ , CO, Pb, PST y parámetros meteorológicos
ZMVM	DF	32 y 2 unidades móviles de monitoreo atmosférico		17 municipios del estado de México, 16 delegaciones del DF	1986	CMPCCAVM ⁴	SO ₂ , NO _x , O ₃ , CO y parámetros meteorológicos

¹ Red Automática de Monitoreo Atmosférico.

² EMA: Estaciones de Monitoreo Atmosférico.

³ Dichas estaciones estuvieron a cargo del gobierno de El Paso Texas, hasta 1993.

⁴ Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental del Valle de México.

FUENTE: Instituto Nacional de Ecología, Semarnap, 1996.

Comparación del parque vehicular e industrial y estaciones de monitoreo entre la ZMVM, ZMG y ZMM, 1993

Cuadro III.1.1.4

	ZMVM	ZMG	ZMM
Parque vehicular ¹	2 720 000	638 442	644 819
Autos particulares	1 942 400	443 554	335 518
Pick-up		149 260	263 000
Taxis	145 800	11 206	17 482
Transporte de pasajeros	51 300	5 989	7 819
Transporte de carga	480 600	28 433	21 000
Otros	99 900		
Establecimientos industriales			
Industria grande ²	610	96	56
Industria pequeña y mediana ³	6 384	1 594	756
Industria Micro ⁴	37 588	9 283	3 555
Número de estaciones de monitoreo	32	8	5

¹ DDF, 1993; Secretaría de Vialidad y Transporte de Jalisco, 1993; Consejo Estatal de Transporte de N.L., 1993; Dirección General de Seguridad Pública y Tránsito del Estado de México, 1996; Dirección General de Vialidad de Cd. Juárez, 1993.

² 251 y más ocupados.

³ 16 a 250 ocupados.

⁴ 0 a 15 ocupados.

FUENTE: Elaborado con base en: INEGI, XIV Censo Industrial 1994, e Instituto Nacional de Ecología/CENICA (1997), *Primer Informe sobre la calidad del aire en ciudades mexicanas 1996*, México, 1997.

Inventario de emisiones de la ZMVM, 1994 (Toneladas/año)

Cuadro III.1.1.5

Sector	Total	%	PST	SO ₂	CO	NO _x	HC
Total	4 009 629	100.00	451 614	45 468	2 358 141	128 646	1 025 760
				Porcentaje			
Industria ¹	105 724	2.6	1.4	57.3	0.4	24.5	3.2
Servicios ²	413 013	10.3	0.2	15.9	0.1	4.2	38.9
Transporte ³	3 026 645	75.5	4.2	26.8	99.5	71.3	54.1
Vegetación y Suelos ⁴	464 246	11.6	94.2	-	-	-	3.8

¹ Instituto Nacional de Ecología, Sistema Nacional de Información de Fuentes Fijas, 1994.

² Departamento del Distrito Federal, 1994.

³ Departamento del Distrito Federal, 1994.

⁴ UNAM, Centro de Ciencias de la Atmósfera, Reporte final de cálculos y mediciones de hidrocarburos naturales en el Valle de México, 1994. Estudio de Emisión de Partículas Generadas por Fuentes Naturales, 1990.

FUENTE: Departamento del Distrito Federal, Gobierno del Estado de México, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Secretaría de Salud, *Programa para mejorar la calidad del aire en el Valle de México 1995-2000*, 1996.

Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM)

En 1990 se dio a conocer el Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica (PICCA), diseñado para el Valle de México y orientado a llevar a cabo una serie de estrategias para disminuir los niveles de contaminación atmosférica y proteger la salud de los habitantes.

Este programa incluía un inventario de las emisiones generadas por fuentes fijas y móviles, en el que se estableció que el 4.4% de las emisiones totales (4 356 391 toneladas/año) provenían de la industria y los establecimientos comerciales, el 77% era generado por las diversas formas del transporte, y el resto por la degradación ecológica.

En 1996 se publicó el Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México (PROAIRE), con el fin de incorporar nuevas medidas y reforzar las del programa anterior. En el nuevo programa se estimó que en 1994 las emisiones atmosféricas ascendieron a 4 009 629 toneladas/año, correspondiendo a la industria y los servicios el 12.9% del volumen total, en tanto que el transporte generó el 75.5% y el porcentaje restante los suelos y la vegetación.

Calidad del aire en la ZMVM

El Sistema de Monitoreo Atmosférico en la ZMVM está integrado en la actualidad por dos redes: una manual, con 19 estaciones para el muestreo y determinación de PST, así como cinco para monitorear

PM-10 y formaldehído; y otra automática, conformada por 32 estaciones de monitoreo, 19 estaciones micrometeorológicas, una torre meteorológica, un radar acústico y una ecosonda.

A partir de la segunda mitad de 1996 se incorporaron siete estaciones más a la red automática, con lo que alcanza un total de 39. La localización de las estaciones de monitoreo puede apreciarse en la figura III.1.1.1.

Gran parte de la contaminación en el Valle de México se debe al consumo de combustibles (diesel, gas, gasolina y gasóleo) en el transporte, industria, servicios y generación de electricidad. Su consumo promedio de 1992 a 1995 fue de 43.4 millones de litros diarios, mientras que en 1996 fue de 40.3 millones. Esta disminución del 7% se debió en mayor proporción al sector del gas LP y natural, al pasar su distribución de 20 millones de litros en 1995 a 17 millones en 1996.

Esta situación también ocurrió en el consumo de gasolina, ya que en 1996 se consumieron diariamente 17 millones de litros, mientras que en 1995 se utilizaron 17.5 millones, descenso que puede relacionarse con la renovación del parque vehicular y también con los aumentos en los precios de las gasolinas mejoradas en el Valle de México (al sustituirse la gasolina *nova* por la *magna sin*).

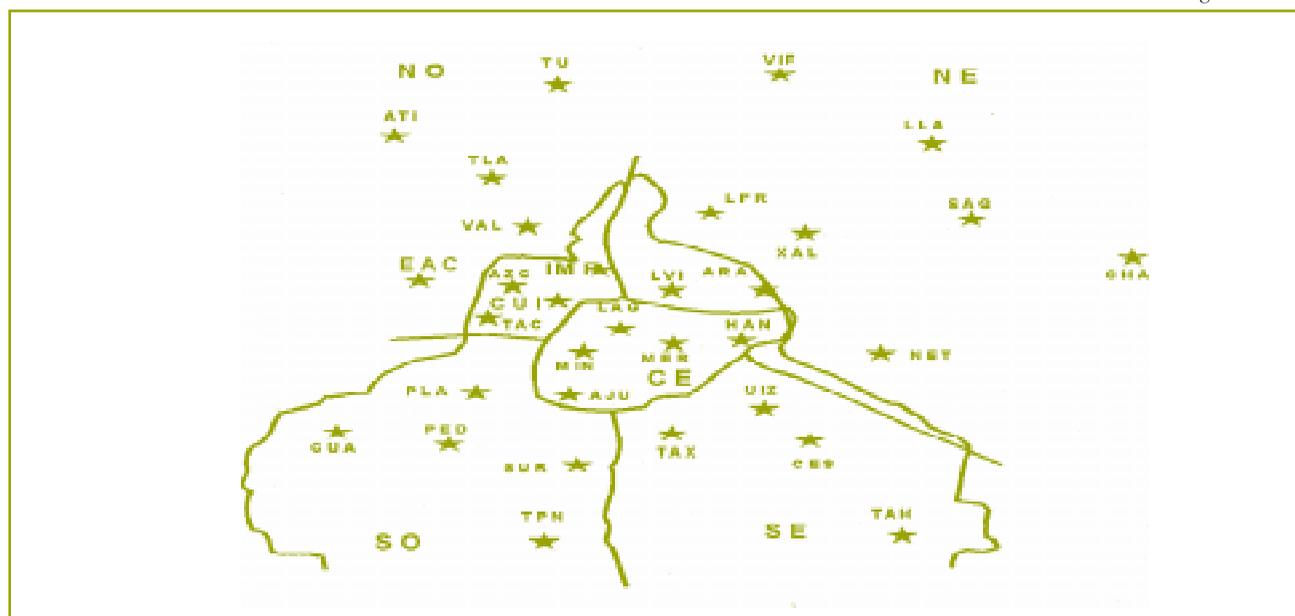
El análisis estadístico de la calidad del aire en la ZMVM se determina a partir de los contaminantes considerados como críticos, esto es, O_3 , CO , SO_2 y NO_2 . Para evaluar la tendencia histórica de estos contaminantes se utiliza el promedio de la segunda concentración máxima de todas las estaciones de monitoreo como un indicador basado en niveles críticos. A partir de estos promedios se calcula el promedio móvil trianual centrado, lo que permite observar una tendencia más suave.

Las tendencias de las PST y su fracción respirable PM-10 se evalúan a partir del promedio anual de los muestreos de 24 horas de las estaciones de una zona. Por la problemática que representan las PST, también se realiza un análisis por zonas, así como la evaluación de la frecuencia de las excedencias a la norma para su fracción respirable. En el caso del plomo, se evalúa la tendencia de cada estación con relación a la norma trimestral.

Considerando la problemática actual del ozono, se evalúa su tendencia en las cinco zonas del Valle de México, por medio de la frecuencia anual de excedencias a la norma y con el promedio de las 30 concentraciones máximas del año, conocida como TOP/30, indicador que permite reducir el efecto de la variación meteorológica anual. Finalmente, de cada estación se

Distribución del sistema de monitoreo atmosférico de la ZMVM

Figura III.1.1.1



Simbología:

ARA-Aragón; ATI-Atizapan; AZC-Azcapotzalco; BJU-Benito Juárez; CES-Cerro de la Estrella; CUA-Cuajimalpa; CUI-Cuitláhuac; CHA-Chapingo; EAC-ENEP Acatlán; HAN-Hangares; IMP-I.M.P.; LAG-Lagunilla; LPR-La Presa; LVI-La Villa; LLA-Laureles; MER-Merced; MIN-Insurgentes; NET-Netzahualcóyotl; PED-Pedregal; PLA-Plateros; SAG-San Agustín; SUR-Santa Úrsula; TAC-Tacuba; TAH-Tláhuac; TAX-Taxqueña; TLA-Tlalnepantla; TLI-Tultitlán; TPN-Tlalpan; UIZ-UAM Iztapalapa; VAL-Vallejo; VIF-Coacalco; XAL-Xalostoc.

FUENTE: INE, Semarnap / CENICA (1997), *Primer informe sobre la calidad del aire en ciudades mexicanas 1996*, México.

obtiene el tiempo diario con niveles superiores a la norma, como un indicador de exposición poblacional.

En términos generales, la calidad del aire en el Valle de México durante 1996 fue satisfactoria con respecto a los contaminantes: CO, SO₂ y Pb, manteniéndose la mayor parte del año por abajo de sus respectivas normas de calidad del aire y con una tendencia claramente descendente de sus niveles críticos. La gráfica III.1.1.1 muestra el comportamiento histórico de las variaciones por zona, durante los últimos cuatro años.

Del monitoreo en la ZMVM durante 1996, se tiene que la norma de calidad del aire fue rebasada en 91.2% de los días (333 días), registrándose 71 eventos (19.4% de los días) de más de 200 puntos IMECA. No obstante, por tercer año consecutivo, no se rebasaron los 300 puntos IMECA para ninguno de los contaminantes.

Las emisiones de HC y NO_x (este último principalmente como NO₂) son típicas de las ciudades con un elevado nivel industrial y tráfico vehicular. La emisión y permanencia de estos gases en capas inferiores de la atmósfera en presencia de energía solar, desencadenan reacciones fotoquímicas que forman ozono y otros contaminantes, lo cual se conoce como *smog* fotoquímico.

En el Valle de México se reconoce que la contaminación por ozono es crítica, ya que su nivel excede a la norma respectiva la mayor parte del año (Cuadro III.1.1.6 y Gráfica III.1.1.2).

La distribución de los niveles de ozono en el Valle de México se ha venido concentrando en la región suroeste. Durante 1996, esta zona continuó siendo la más afectada, ya que además de registrar los niveles más altos tuvo un aumento en los días con excedencias a la norma; mientras que en la zona noreste se presentaron los niveles críticos más bajos y una disminución significativa de los días de excedencia (Gráfica III.1.1.3).

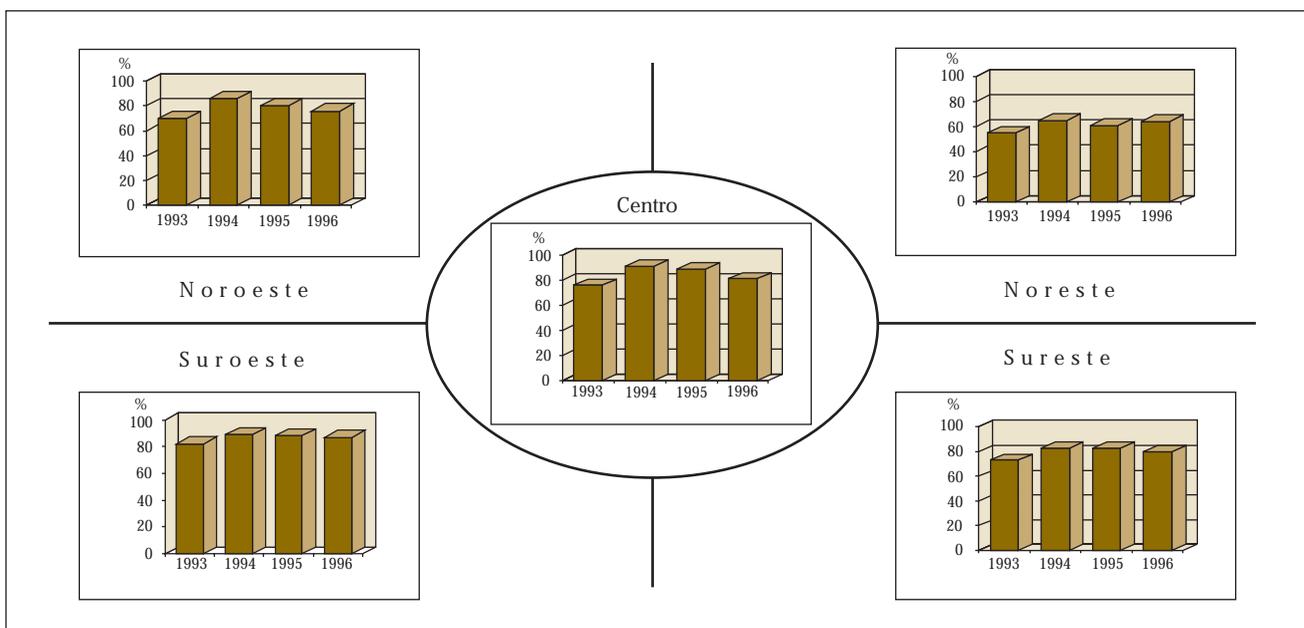
La tendencia histórica del CO (emitido en un 99% por el transporte), indica que en los últimos tres años sus niveles han sido inferiores a la norma. Entre 1995 y 1996 las violaciones al nivel permisible de 100 puntos IMECA se presentó en 5 y 7 días respectivamente, mientras que en 1993 y 1994 no se presentaron excedencias (Gráfica III.1.1.4).

La tendencia de los indicadores para niveles críticos de NO₂ mostró un aumento significativo en 1996 (Cuadro III.1.1.5). Este aumento se observa desde 1995, luego de que en años anteriores su tendencia había sido claramente descendente. En ambos años el valor de los indicadores considerados superó el de la norma horaria de 0.21 ppm.

Este aumento también se presentó en el número de días en los que se rebasó la norma de calidad del aire, presentándose en 80 días de 1996 (los valores más elevados se acercaron a los 160 puntos IMECA), mientras que en los tres años anteriores no se presentó en más de 34 días.

Porcentaje de días en que al menos uno de los contaminantes del aire rebasó su norma de calidad en la ZMVM, 1993-1996

Gráfica III.1.1.1



FUENTE: Instituto Nacional de Ecología.

Porcentaje y número de días por encima de los 100, 150, 200, 250 y 300 puntos IMECA de ozono en la ZMVM, 1990-1996

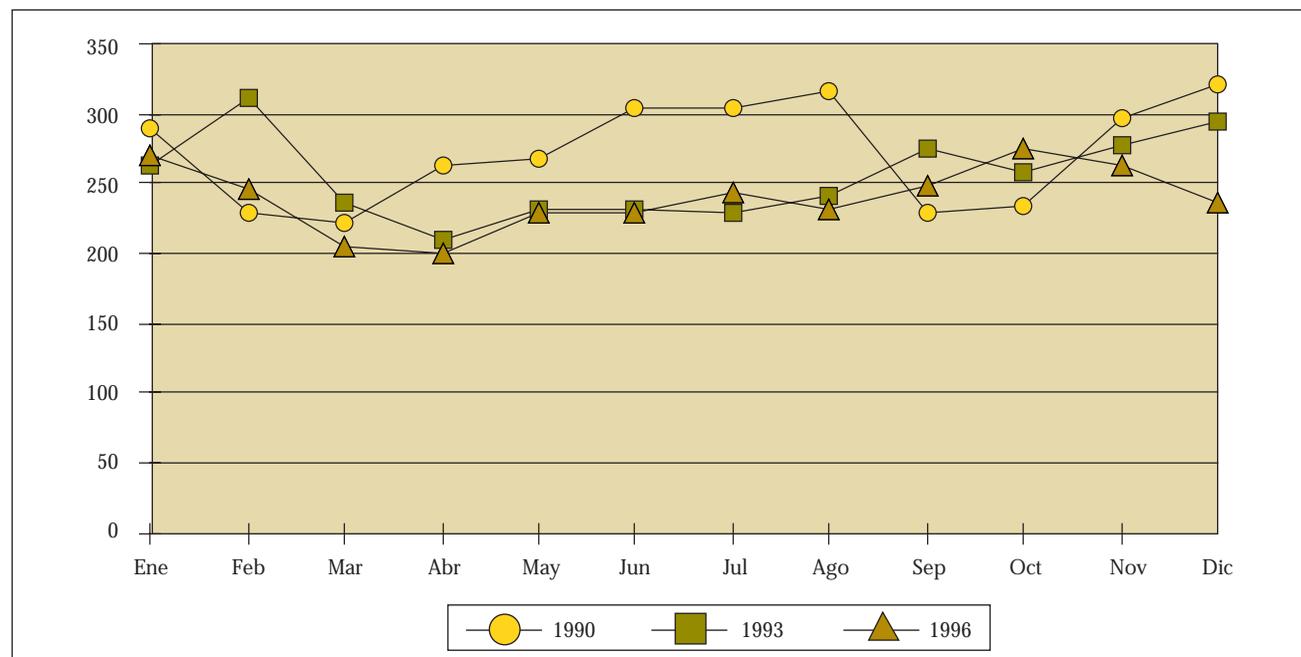
Cuadro III.1.1.6

	Mayor o igual a 100		Mayor o igual a 150		Mayor o igual a 200		Mayor o igual a 250		Mayor o igual a 300	
	%	días								
1990	93	341	64	235	26	94	8	28	1	4
1991	96	351	78	284	44	162	15	56	2	7
1992	92	335	72	264	34	125	11	39	3	12
1993	89	324	66	240	23	85	4	14	0.3	1
1994	95	346	72	263	28	101	1	4	0	
1995	89	325	72	263	26	94	2	7	0	
1996	91	333	65	238	19	71	1	5	0	

FUENTE: Instituto Nacional de Ecología.

ZMVM: IMECA máximo mensual de O₃, 1990, 1993 y 1996

Gráfica III.1.1.2



FUENTE: Instituto Nacional de Ecología.

La mayor parte de estas excedencias se presentan en los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre, coincidiendo con la inestabilidad atmosférica en la mayoría de los días, debido a la presencia de masas de aire polar sobre el Valle de México. La influencia de este contaminante fue más significativa en las zonas noroeste, suroeste y centro.

Para disminuir y controlar las emisiones del SO₂ en la ZMVM, se adoptaron medidas dirigidas a la industria, ya que ésta genera el 57% de la emisión total de este contaminante. El resultado de estas medidas puede observarse en el descenso generalizado que muestran sus niveles críticos desde 1992.

Esta tendencia también se observa en la disminución del número de excedencias al nivel permisible de 100 puntos IMECA (0.13 ppm de 24 horas), ya que prácticamente desde 1993 los niveles han estado por abajo de la norma durante todos los días (Gráfica III.1.1.6).

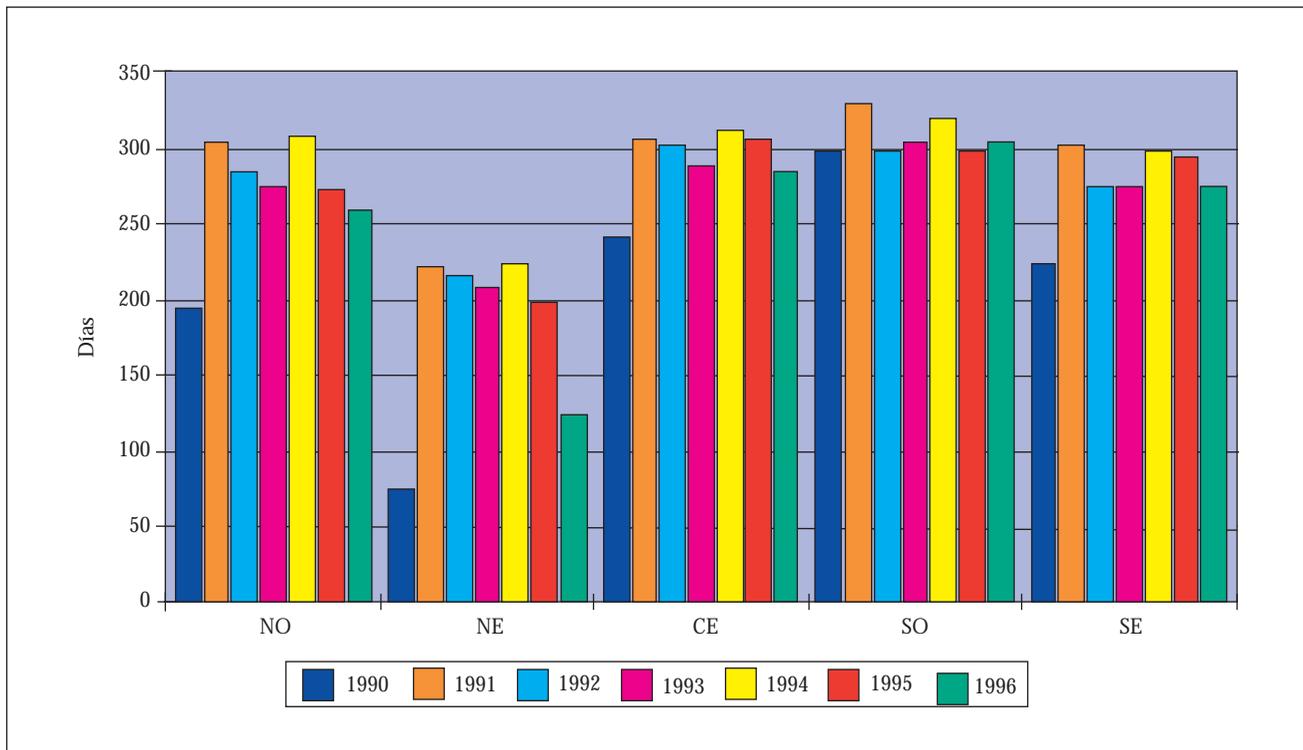
Al comparar los promedios anuales de PST obtenidos para cada estación de monitoreo en 1995, con los de 1996, se observa que los valores del segundo año fueron más altos en las zonas centro, suroeste y noreste; mientras que las zonas noreste y sureste tuvieron una disminución.

En cuanto a la emisión de PM-10, el número de excedencias en 1996 fue de 182 días (50% de los días), y no se presentaron eventos de más de 200 puntos IMECA (Gráfica III.1.1.7). La Red Manual de monitoreo reportó que solamente se presentó excedencia de partículas en la estación de Xolostoc en la zona noreste de la ZMVM al rebasar la norma en 157 días, mientras que las estaciones restantes no tuvieron incrementos.

El plomo, por su parte, ha mostrado una tendencia descendente dentro de las emisiones a la atmósfera, lo cual se asocia con la reducción del contenido de plomo en las gasolinas que se distribuyen en la ZMVM (Gráfica III.1.1.8).

Días de excedencia a la norma de ozono en las zonas del Valle de México, 1990-1996

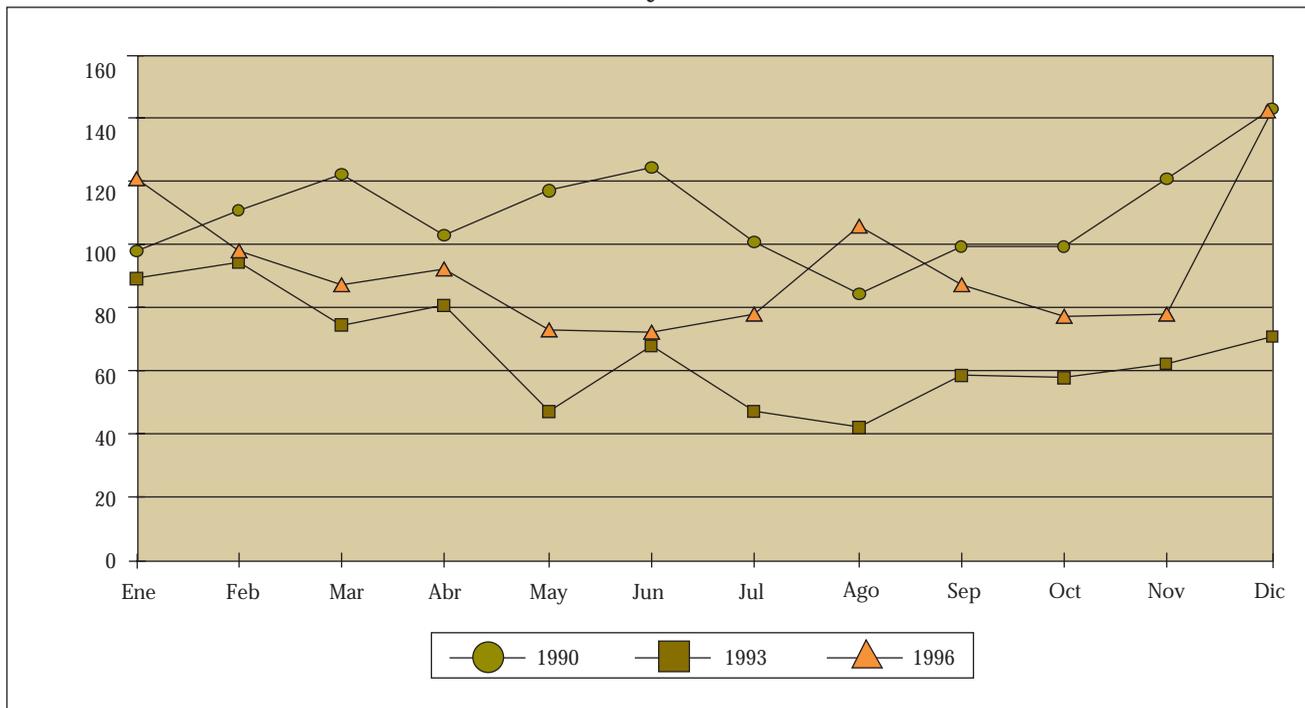
Gráfica III.1.1.3



FUENTE: Departamento del Distrito Federal, Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación, *Informe anual de la calidad del aire 1996, Zona Metropolitana de la Ciudad de México*, junio de 1997.

ZMVM: IMECA máximo mensual de CO, 1990, 1993 y 1996

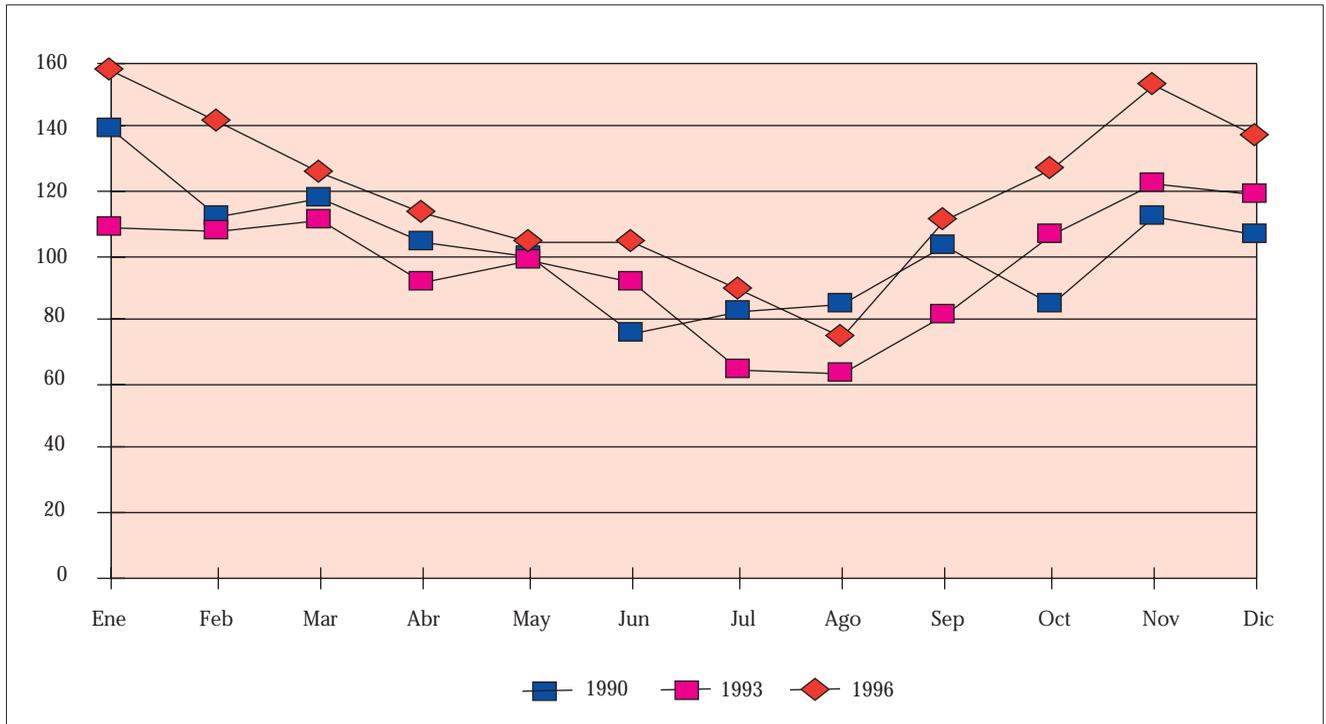
Gráfica III.1.1.4



FUENTE: Instituto Nacional de Ecología.

ZMVM: IMECA máximo mensual de NO₂, 1990, 1993 y 1996

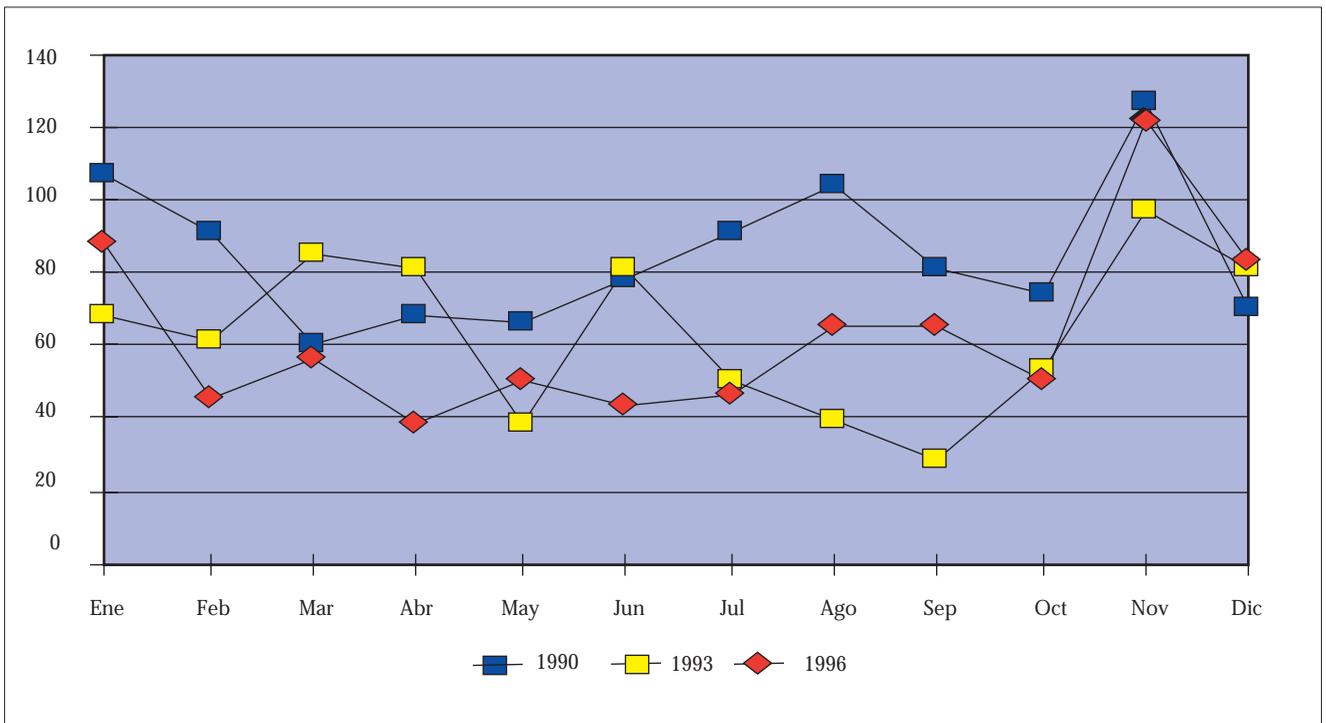
Gráfica III.1.1.5



FUENTE: Instituto Nacional de Ecología.

ZMVM: IMECA máximo mensual de SO₂, 1990, 1993 y 1996

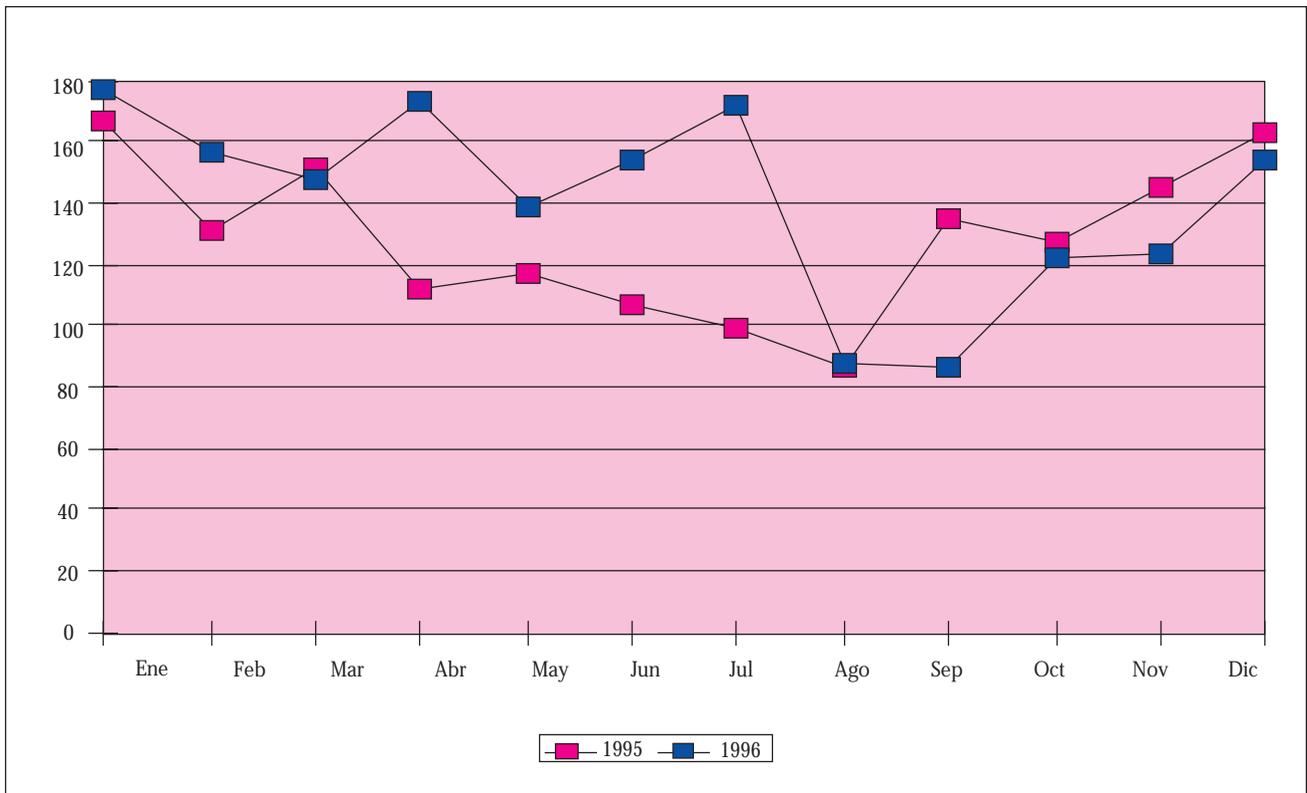
Gráfica III.1.1.6



FUENTE: Instituto Nacional de Ecología.

ZMVM: IMECA máximo mensual de PM-10, 1995-1996

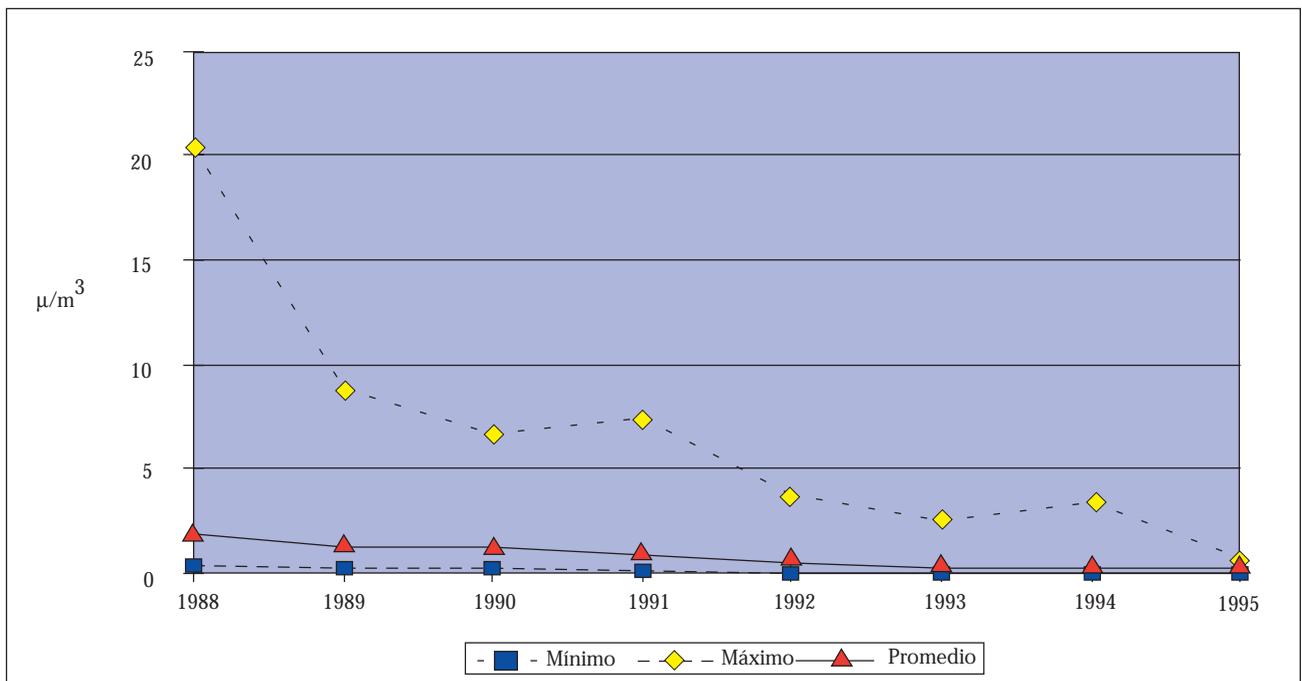
Gráfica III.1.1.7



FUENTE: Instituto Nacional de Ecología.

Comportamiento histórico de los niveles de plomo en la ZMVM, 1988-1995

Gráfica III.1.1.8



FUENTE: Instituto Nacional de Ecología.

Avances de los programas para Mejorar la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de México

Entre los logros más relevantes del Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (conocido como PICCA), está el mejoramiento de la calidad de los combustibles, destacando la aparición de la gasolina sin plomo y la reducción significativa del contenido de azufre en el combustóleo y en el diesel.

Dentro de los objetivos del PROAIRE se encuentra la reducción gradual, para el año 2000, de los niveles de contaminación atmosférica y tener menos contingencias al año como resultado de un abatimiento del 50% de las emisiones de HC, 40% de NO_x y 45% de PST. Esto será posible si se reduce la media del IMECA: de 170 puntos en la actualidad a un nivel de entre 140 y 150 puntos. En la medida que se abata, se reduciría en 75% la probabilidad de ocurrencia de contingencias que representen valores del IMECA por encima de 250 puntos.

Los avances del PROAIRE incluyen, entre otros: elaboración de nueva normatividad para emisiones de compuestos orgánicos volátiles provenientes de pinturas domésticas y del pintado automotriz; normatividad más estricta para las emisiones vehiculares y la composición del gas LP; estructura de precios favorable al gas natural: diferencial de 64% del precio de éste con respecto al de la gasolina Pemex-Magna; exención arancelaria de equipos para el control de la contaminación que no se fabriquen en México; reducción del contenido de compuestos tóxicos y reactivos en las gasolinas e introducción de la gasolina Pemex-Premium, 5% menos reactiva que la Magna en formación de oxidantes fotoquímicos; actualización de los programas de verificación y de contingencias ambientales; actualización del programa de restricción vehicular “Hoy no circula” cuya exención se da a vehículos ligeros modelos 1993 o posteriores que cumplan con emisiones de escape no mayores a 100 ppm de hidrocarburos y 1% de monóxido

de carbono; actualización del programa de restricción vehicular “Doble hoy no circula” cuya exención se da a vehículos que cuenten con sistemas de dosificación electrónica de combustible y/o de control de emisiones de escape, instalados de fábrica, y que cumplan con emisiones de escape no mayores a 200 ppm de hidrocarburos y 2% de monóxido de carbono.

Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG)

En esta ciudad la red de monitoreo empezó a funcionar en 1994, pero por fallas técnicas sólo se tienen datos para algunos meses de 1995, por lo que los datos que se pueden comparar corresponden a 1994 y 1996.

Inventario de emisiones a la atmósfera

El inventario de 1996 indica que en la ZMG el total de emisiones ascendió a 1 389 047 ton/año, de las cuales el 1% correspondió a la industria, el 74% al sector transporte, el 4% es emitido por las actividades de servicios, mientras que los suelos y la vegetación desprenden el 21%.

Dentro de las emisiones totales el CO contribuye con el 64.6%; de éste, casi el 100% es producido por el transporte. El otro contaminante que tiene una participación significativa son las PST, con 22% del total, de las cuales casi el 98% son emitidas por los suelos y la vegetación y aunque el porcentaje de partículas generadas por la industria y el transporte es menor (2.4%) su grado de toxicidad y exposición es mucho más elevado que el de las partículas provenientes de fuentes naturales (Cuadro III.1.1.7).

Calidad del aire en la ZMG

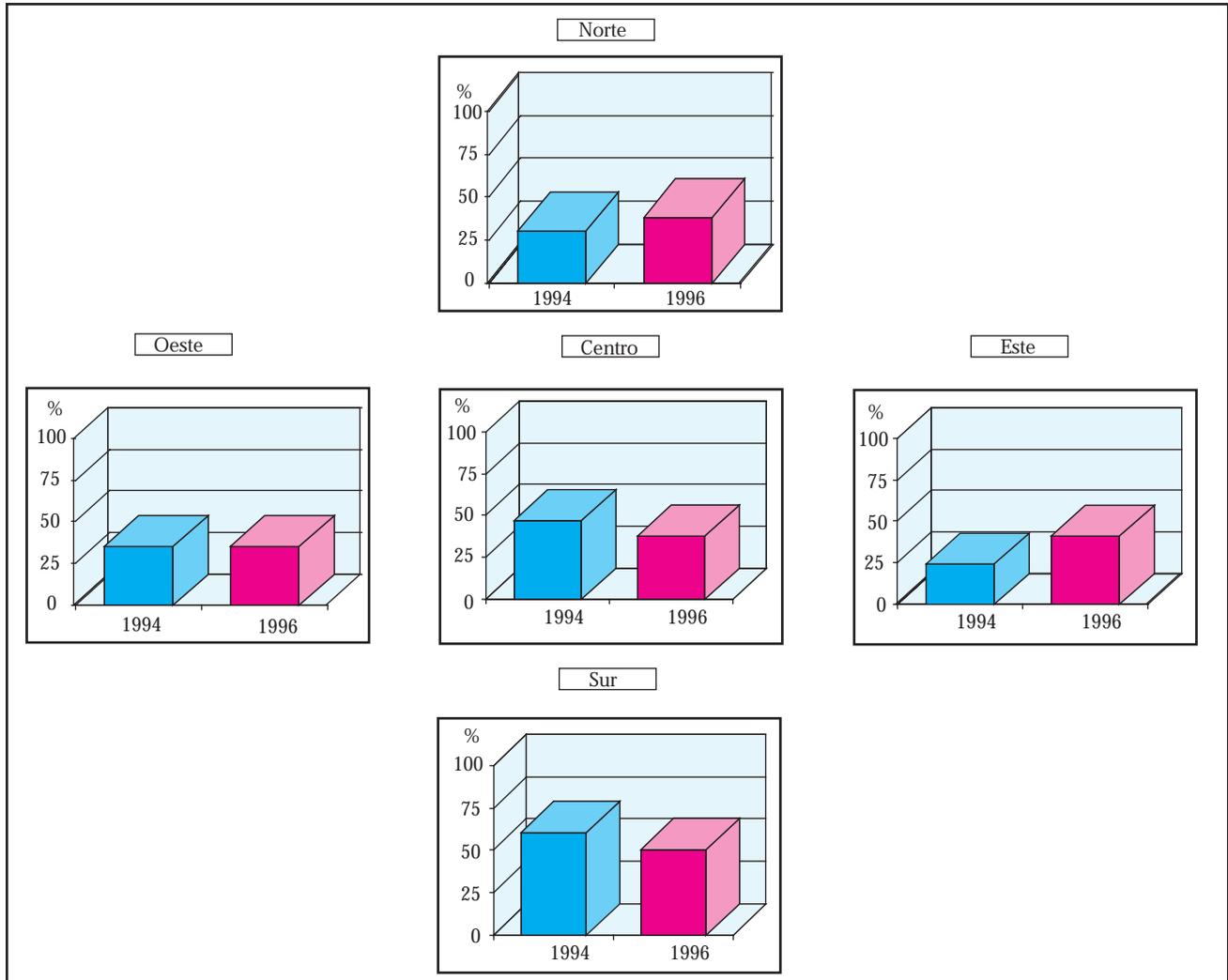
La red automática de monitoreo atmosférico de la ZMG está integrada por 8 estaciones que miden principalmente: O₃, NO_x, NO, NO₂, SO₂, CO, PM-10, PST y Pb, además de parámetros meteorológicos. También cuenta con seis pantallas informativas que se localizan en las

Inventario de emisiones de la ZMG, 1996 (Toneladas/año)								Cuadro III.1.1.7
Sector	Total	%	PST	SO ₂	CO	NO _x	HC	Pb
Total	1 389 047	100	301 784	8 085	898 042	37 186	143 835	115
			Porcentaje					
Industria	15 840	1	0.5	68.1	0.2	8.5	3.0	0.0
Servicios	58 353	4	0.1	1.5	0.1	0.5	39.8	0.0
Transporte	1 020 550	74	1.9	30.4	99.7	91.0	57.2	100.0
Suelos y Vegetación	294 304	21	97.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

FUENTE: Instituto Nacional de Ecología.

ZMG: Porcentaje de días en los que se rebasó alguna norma de calidad del aire por zona, 1994 y 1996

Gráfica III.1.1.9



NOTA: La composición incluye solamente los primeros cinco y los últimos dos meses de cada año.
FUENTE: Instituto Nacional de Ecología.

superado durante 3 días, mientras que en 1994 no se registró ningún día (Cuadro III.1.1.9).

La gráfica III.1.1.10 muestra el comportamiento de los valores IMECA máximos mensuales de ozono registrados de enero a diciembre 1994 y 1996, destacando los niveles más elevados de 1996, sobre todo los registrados en el mes de octubre.

También en 1996 el monóxido de carbono presentó valores cercanos a los 200 puntos IMECA, principalmente durante los meses invernales (Gráfica III.1.1.11).

En cambio, las emisiones de NO₂ y SO₂ no muestran un patrón definido, dado que durante algunos meses el valor máximo del NO₂ es superior a la norma

(en ocasiones cercano al nivel de 140 puntos IMECA); los niveles de NO₂, en general, fueron más altos en 1996 que en 1994. Además, para el SO₂ todos los niveles son inferiores a los 85 puntos IMECA (Gráficas III.1.1.12 y III.1.1.13).

Por su parte, los niveles de PM-10 rebasaron a la norma en varios meses de 1996, mostrando en general un comportamiento irregular durante el periodo 1994-1996 (Gráfica III.1.1.14).

Finalmente, en relación a las diferencias geográficas en el comportamiento de contaminantes atmosféricos, el número de días en que se rebasó la norma de O₃ durante 1996 es muy similar entre las distintas regiones de la ZMG. En cambio, en el caso del CO y de PM-10, la frecuencia con que en 1996 se rebasó la norma respectiva de calidad fue mayor en las regiones centro y oriente (Cuadro III.1.1.10).

Porcentaje y número de días en los que se rebasaron los 100, 150, 200 y 250 puntos IMECA 1994-1996 (Enero a mayo y noviembre a diciembre)

Cuadro III.1.1.8

Año	Mayor o igual a 100		Mayor o igual a 150		Mayor o igual a 200		Mayor o igual a 250	
	%	días	%	días	%	días	%	días
1994	75	270	38	135	3	9	0	-
1996	70	255	26	94	6	23	0.8	3

FUENTE: Semarnap, CENICA, *Primer informe de calidad del aire en ciudades mexicanas 1996*, México, 1997.

Porcentaje y número de días por encima de la norma de ozono en la ZMG, (Puntos IMECA)

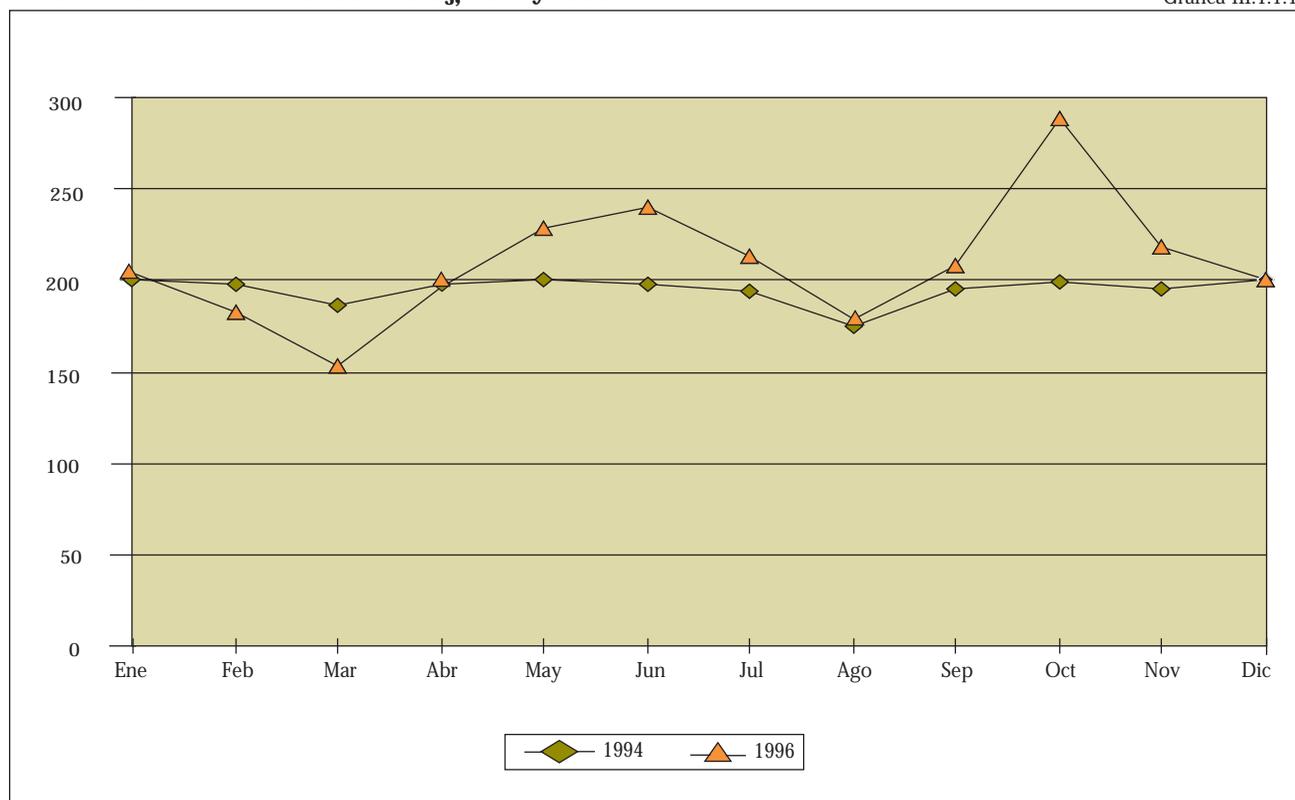
Cuadro III.1.1.9

	Mayor o igual a 100		Mayor o igual a 150		Mayor o igual a 200		Mayor o igual a 250	
	%	días	%	días	%	días	%	días
1994	64	230	29	103	3	9	-	-
1996	58	212	24	88	6	23	0.8	3

FUENTE: Semarnap, CENICA, *Primer informe de calidad del aire en ciudades mexicanas 1996*, México, 1997.

ZMG: IMECA máximo mensual de O₃, 1994 y 1996

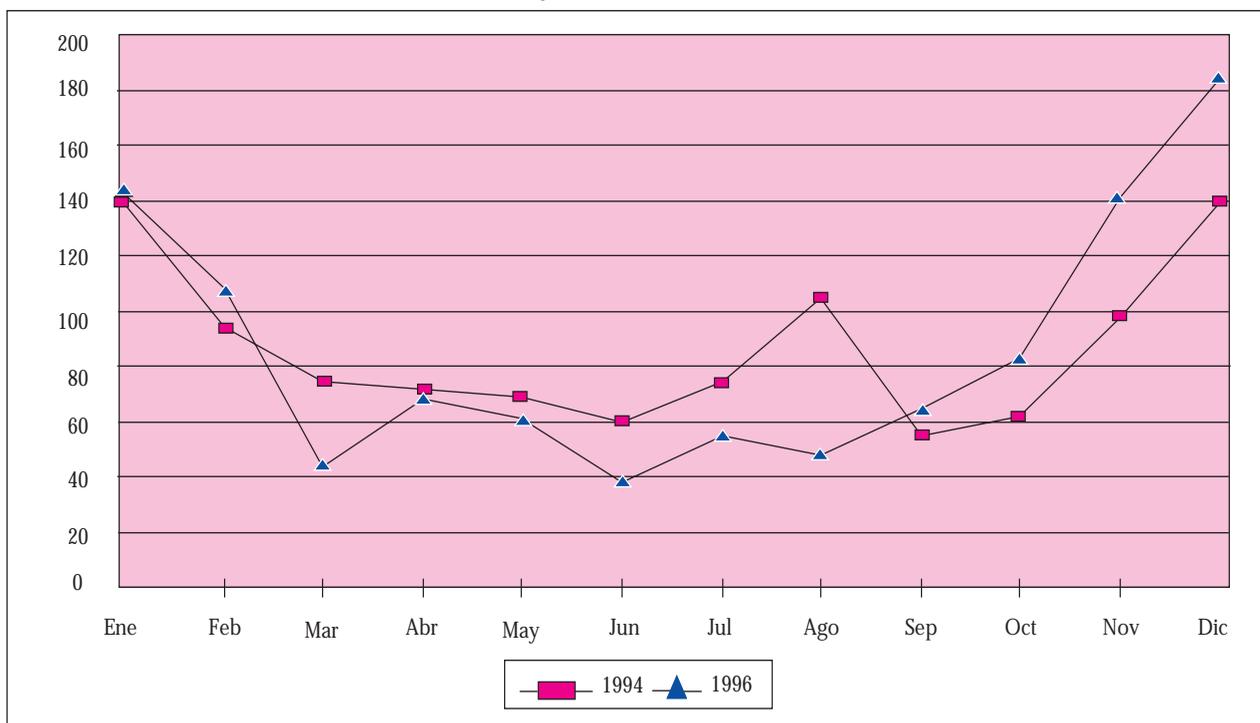
Gráfica III.1.1.10



FUENTE: Instituto Nacional de Ecología.

ZMG: IMECA máximo mensual de CO, 1994 y 1996

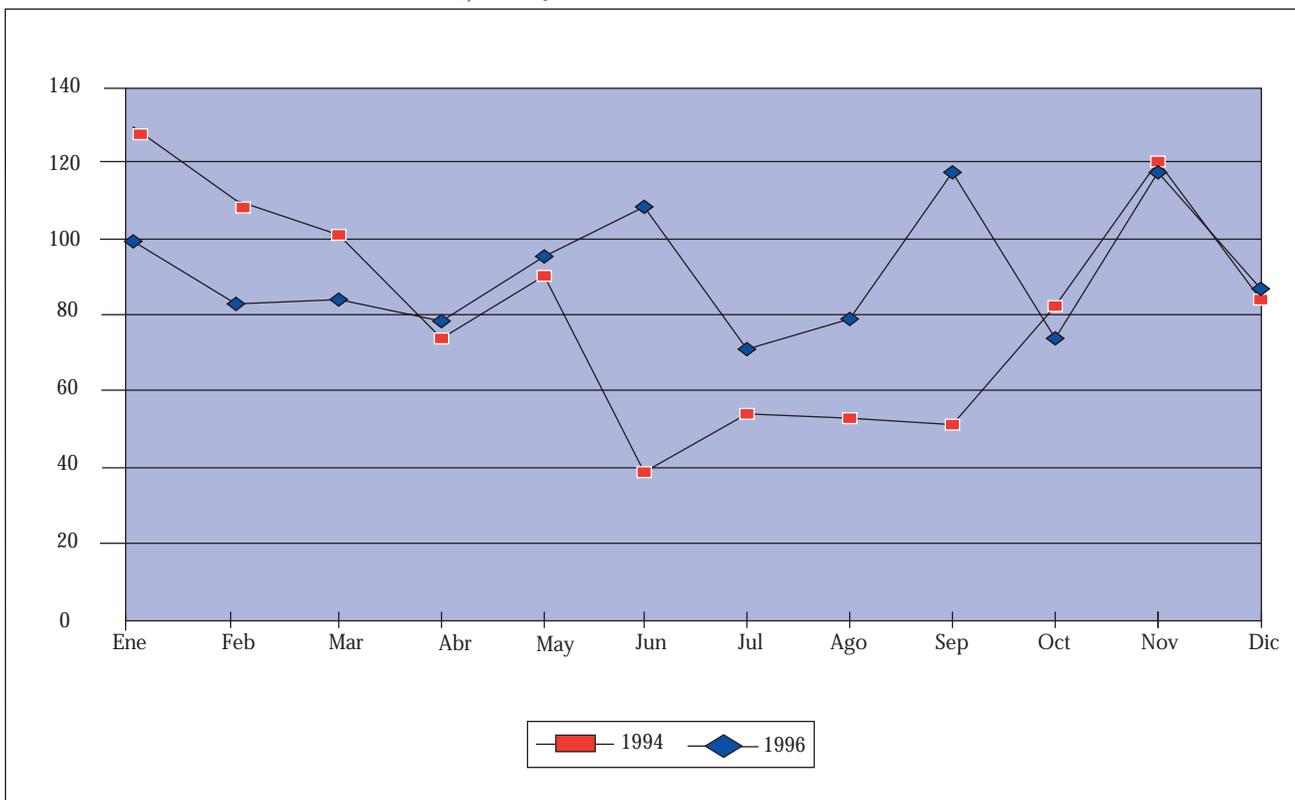
Gráfica III.1.1.11



FUENTE: Instituto Nacional de Ecología.

ZMG: IMECA máximo mensual de NO₂, 1994 y 1996

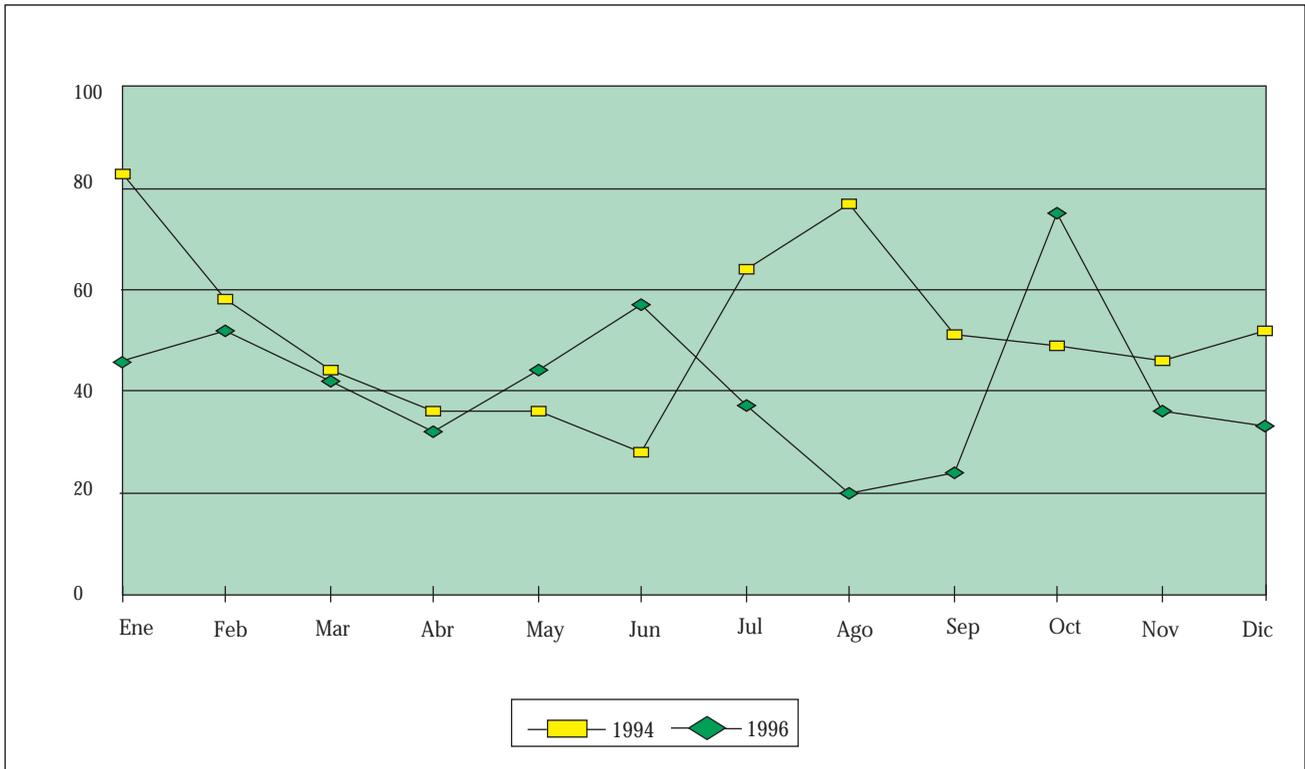
Gráfica III.1.1.12



FUENTE: Instituto Nacional de Ecología.

ZMG: IMECA máximo mensual de SO₂, 1994 y 1996

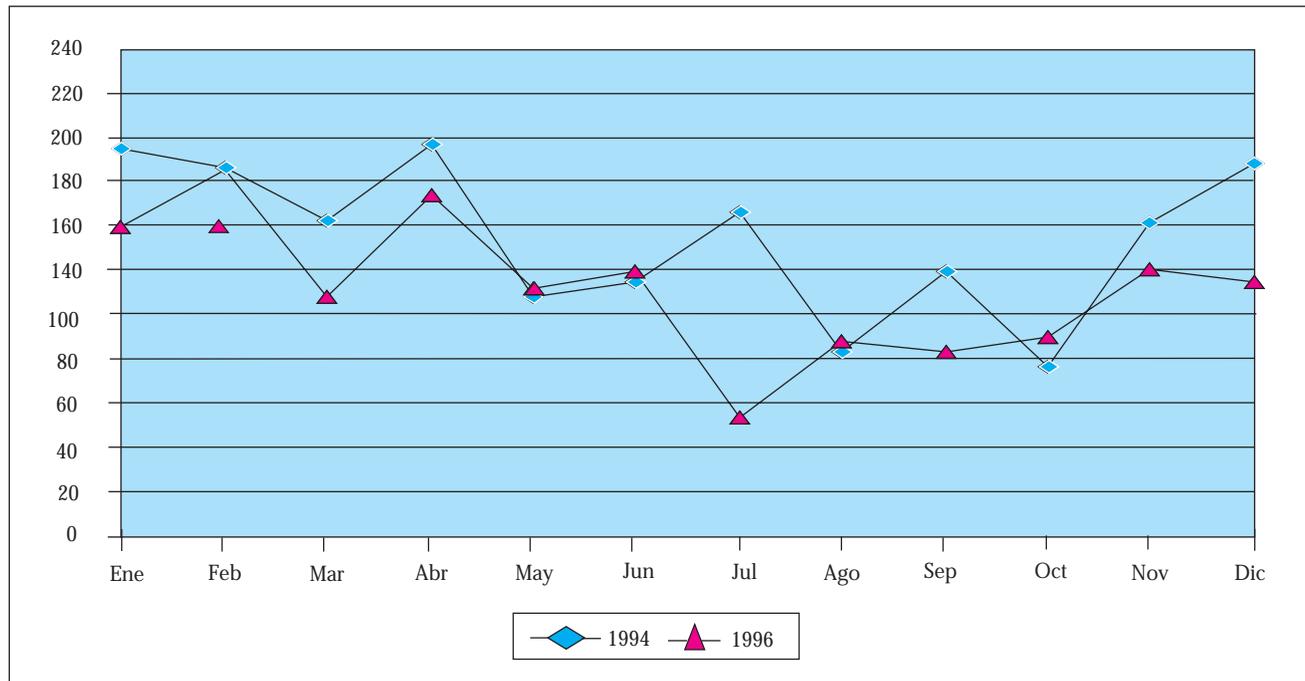
Gráfica III.1.1.13



FUENTE: Instituto Nacional de Ecología.

ZMG: IMECA máximo mensual de PM-10, 1994 y 1996

Gráfica III.1.1.14



FUENTE: Instituto Nacional de Ecología.

Porcentaje y número de días que se sobrepasan los 100, 150, 200 y 250 puntos IMECA en la ZMG, 1996

Cuadro III.1.1.10

	Mayor o igual a 100		Mayor o igual a 150		Mayor o igual a 200		Mayor o igual a 250		No. Total de días
	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	
Zona norte									
O ₃	37.2	136	10.7	39	1.6	6	0.5	2	366
PM-10	0.5	2	0.0	0	0.0	0	0.0	0	365
CO	1.1	4	0.0	0	0.0	0	0.0	0	365
NO ₂	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	173
SO ₂	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	197
Zona poniente									
O ₃	35.7	124	11.8	41	2.3	8	0.9	3	347
PM-10	1.4	5	0.0	0	0.0	0	0.0	0	363
CO	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	361
NO ₂	1.3	3	0.0	0	0.0	0	0.0	0	232
SO ₂	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	338
Zona centro									
O ₃	35.7	130	8.2	30	0.5	2	0.0	0	364
PM-10	2.2	8	0.0	0	0.0	0	0.0	0	366
CO	4.4	16	0.5	2	0.0	0	0.0	0	365
NO ₂	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	358
SO ₂	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	346
Zona oriente									
O ₃	32.7	118	10.8	39	1.4	5	0.0	0	361
PM-10	9.7	35	0.6	2	0.0	0	0.0	0	360
CO	0.3	1	0.0	0	0.0	0	0.0	0	360
NO ₂	0.7	1	0.0	0	0.0	0	0.0	0	139
SO ₂	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	362
Zona sur									
O ₃	33.2	119	9.8	35	2.8	10	0.3	1	358
PM-10	28.8	105	1.4	5	0.0	0	0.0	0	365
CO	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	365
NO ₂	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	251
SO ₂	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	325

FUENTE: INE, Semarnap / CENICA (1997), *Primer informe sobre la calidad del aire en ciudades mexicanas 1996*, México, 1997.

Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM)

El sistema de monitoreo atmosférico (SIMA) de la ZMM inició sus operaciones en 1993. Cuenta con una red conformada por cinco estaciones de monitoreo ambiental distribuidas en las cinco zonas en las que se ha dividido la ciudad, un sistema para la medición de variables meteorológicas y una unidad móvil de monitoreo (Figura III.1.1.3).

Inventario de emisiones a la atmósfera

En la ZMM, el inventario de emisiones de 1995 ascendió a 1 932 622 toneladas/año; el 53.3% de ellas fue generado por el transporte; el 7.2% lo produjeron la industria y los servicios; en tanto que el 39.5% restante las desprendieron los suelos y la vegetación (Cuadro III.1.1.11).

Por tipo de contaminante, el mayor volumen corresponde al CO, con 47% del total de emisiones; casi el total de éstas es generado por el transporte (99.7%),

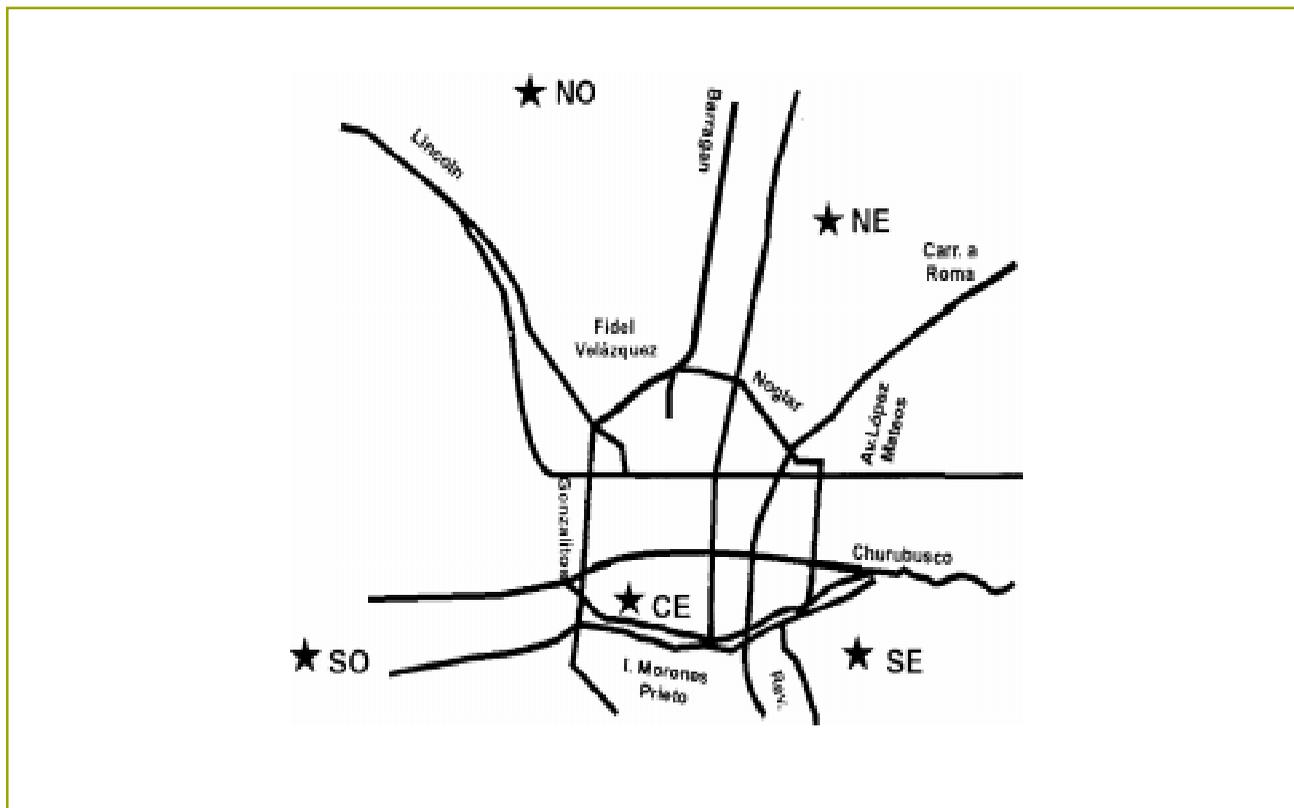
en tanto que la industria contribuye con el porcentaje más alto (91.9) de emisiones de SO₂, el cual representa el 1.6% de las emisiones totales.

Entre las fuentes contaminantes industriales destacan las termoeléctricas, que aportan aproximadamente 62% del total de NO_x y 18% del total de CO; de igual manera, la refinación de petróleo y petroquímicas aporta el 15% de emisiones de hidrocarburos en el sector.

Calidad del aire en la ZMM

Si bien durante 1994 hubo varios episodios en los que se presentaron niveles IMECA superiores a 150 puntos, durante 1996 éstos se redujeron notablemente; de hecho, la mayor parte de los niveles máximos del año se mantuvieron por debajo de la norma (Cuadro III.1.1.12).

En cuanto a la concentración espacial de la contaminación atmosférica de la ZMM, el monitoreo que se ha realizado de 1994 a 1996, indica que las emisiones



FUENTE: INE, Semarnap / CENICA (1997), *Primer informe sobre la calidad del aire en ciudades mexicanas 1996*, México, 1997.

Inventario de emisiones de la ZMM, 1995 Cuadro III.1.1.11
(Toneladas/año)

Sector	Total	PST	SO ₂	CO	NO _x	HC	Pb
Total	1 932 622	815 628	30 466	907 762	53 275	125 375	116
	Porcentajes						
Industria	101 351	6.0	91.9	0.3	36.00	5.0	*
Servicios	37 142	0.0	0.0	0.0	0.0	29.0	
Transporte	1 030 404	1.0	8.1	99.7	64.00	66.0	
Suelos y Vegetación	763 725	93.0	-	-	-	-	100

* Emisiones no estimadas.
FUENTE: Instituto Nacional de Ecología.

ZMM: Porcentaje y número de días por encima de 100, 150 y 200 puntos Cuadro III.1.1.12
IMECA, 1993-1996

	Mayor o igual a 100		Mayor o igual a 150		Mayor o igual a 200	
	%	días	%	días	%	días
1993	23	83	2.5	9	0	
1994	29	106	10.1	37	0.3	1
1995	9	33	1.4	5	0	-
1996	18	65	1.6	6	0.3	1

FUENTE: Instituto Nacional de Ecología.

de los contaminantes que rebasan su norma respectiva se han concentrado en la zona suroeste. Durante 1996, la excedencia a la norma en esta zona se presentó en más del 5% de los días, en tanto que en la región noroeste se registró en 10% de los días del año (Gráfica III.1.1.15).

En relación al comportamiento mensual de los niveles de contaminantes seleccionados, se puede señalar que, en el caso del ozono la mayor parte de 1996 rebasó su norma, particularmente en los meses del periodo otoño-invierno, (Gráfica III.1.1.16).

En cuanto al CO, generalmente los niveles más altos se registran en los meses invernales, aunque en ningún caso se excedieron los 120 puntos IMECA (Gráfica III.1.1.17).

Por su parte, el NO₂ presenta un comportamiento estacional con mayores concentraciones en el invierno que en el resto del año, aunque en su gran mayoría los valores más altos no rebasan los 100 puntos IMECA (Gráfica III.1.1.18).

El SO₂ muestra por lo general valores máximos mensuales inferiores a los 40 puntos IMECA, aunque de julio a septiembre, por un efecto estacional asociado con algunas fuentes puntuales de SO₂ los valores se incrementan al doble (Gráfica III.1.1.19).

Las PM-10 constituyen, junto con el O₃, el mayor problema de contaminación del aire en la ZMM. Durante 1996 se rebasó la norma de PM10 en 12% de los días del año. En cuanto a su distribución histórica, con excepción de 1994, en los otros tres años las PM-10 presentan en general sus valores más altos en los tres primeros y últimos cuatro meses del año, alcanzando niveles muy cercanos a los 200 IMECA (Gráfica III.1.1.20).

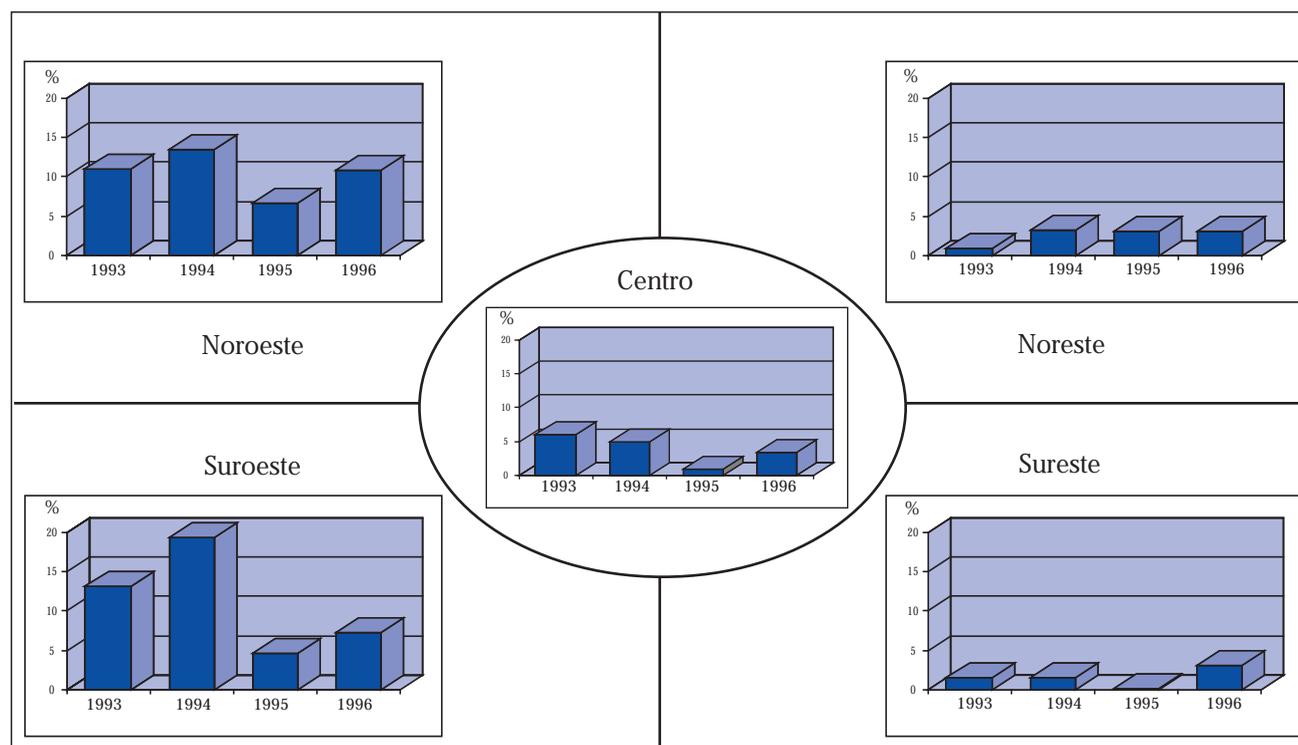
Finalmente, en relación a la variación geográfica por contaminante, durante 1996 se superó en mayor número de días la norma del O₃ en la zona suroeste, en tanto que, la mayor frecuencia con que se rebasó la norma de PM-10 se presentó en el noroeste de la ZMM (Cuadro III.1.1.13).

Zona fronteriza norte de México

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA) y el Instituto Nacional de Ecología (INE) de la Semarnap han desarrollado estrategias binacionales para mejorar la calidad del aire, para lo cual ambos países han establecido estándares de calidad del aire similares en relación con el CO, SO₂, NO₂, O₃, PM-10, y Pb.

Dentro del marco de Cooperación Binacional y a través del *Acuerdo de la Paz* se han desarrollado acciones de monitoreo de la calidad del aire, inventarios de emisiones, estudios específicos, modelación de la cali-

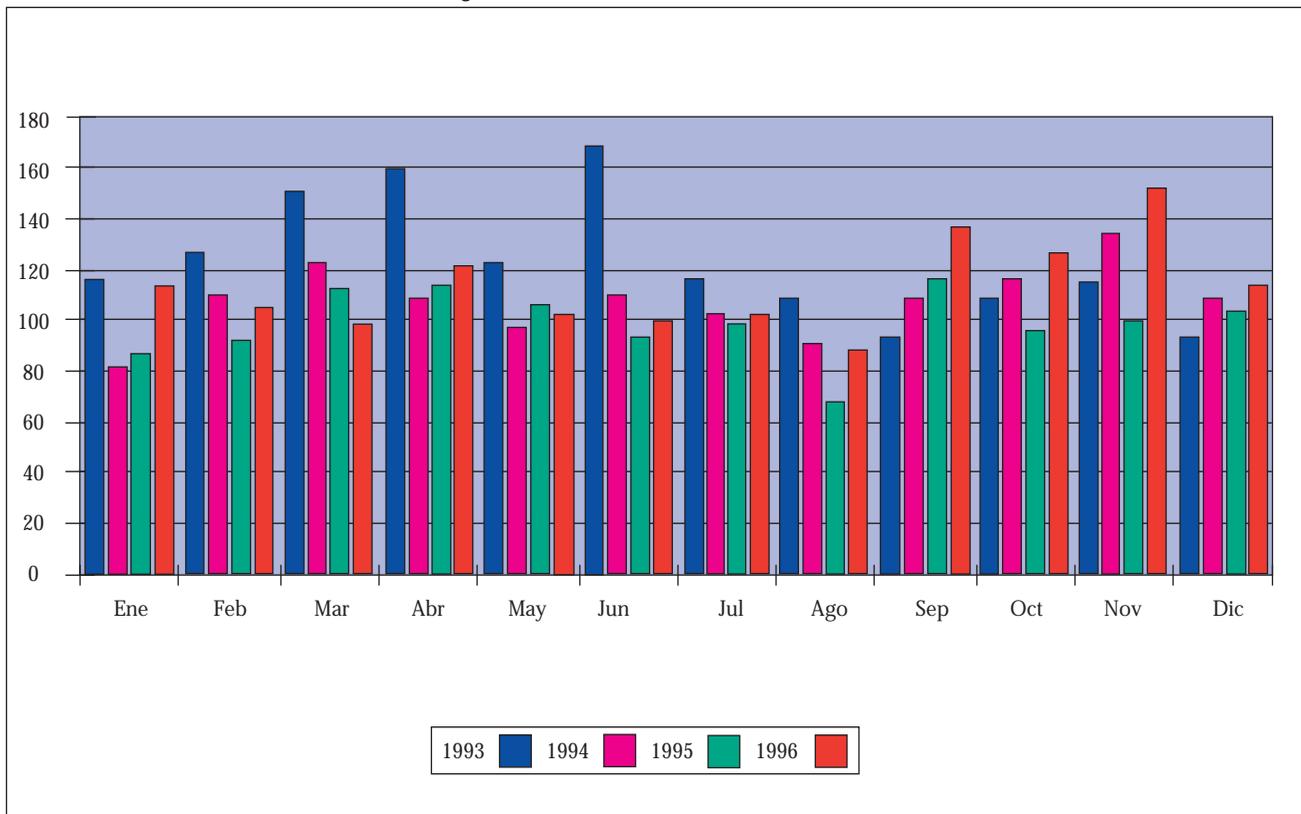
ZMM: Porcentaje de días en las que se rebasa alguna norma de calidad del aire por zona, 1993-1996 Gráfica III.1.1.15



FUENTE: Instituto Nacional de Ecología.

ZMM: IMECA máximo mensual de O₃, 1993-1996

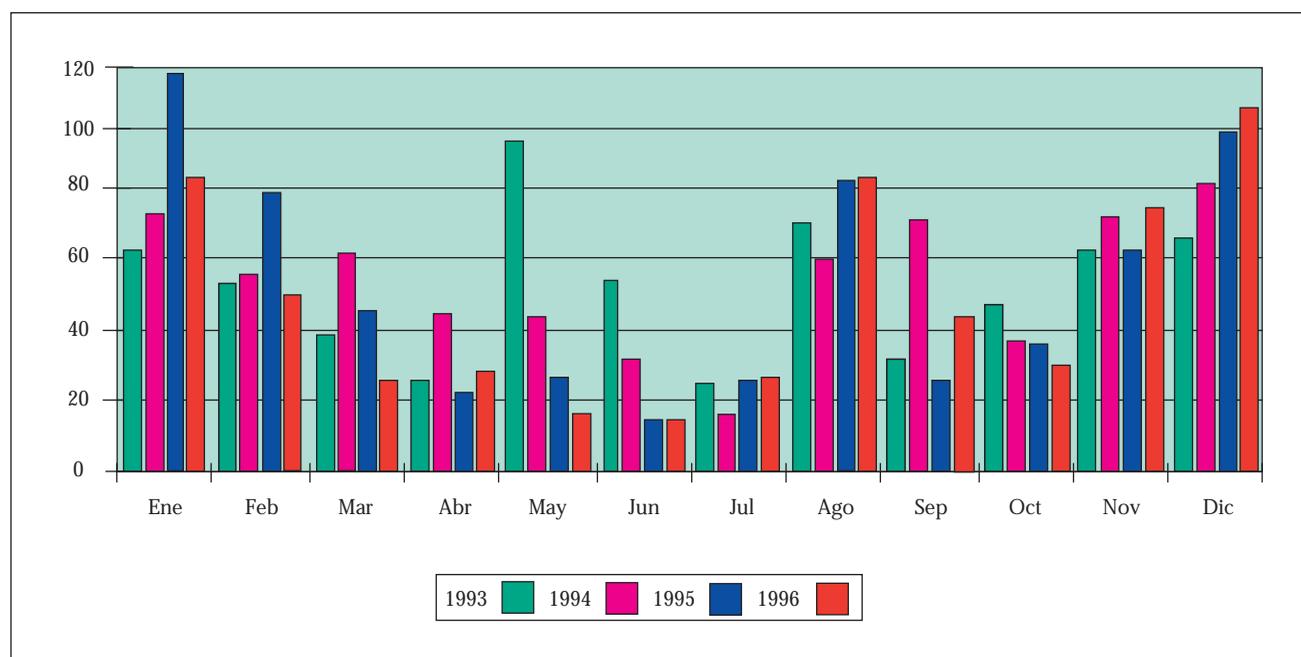
Gráfica III.1.1.16



FUENTE: Instituto Nacional de Ecología.

ZMM: IMECA máximo mensual de CO, 1993-1996

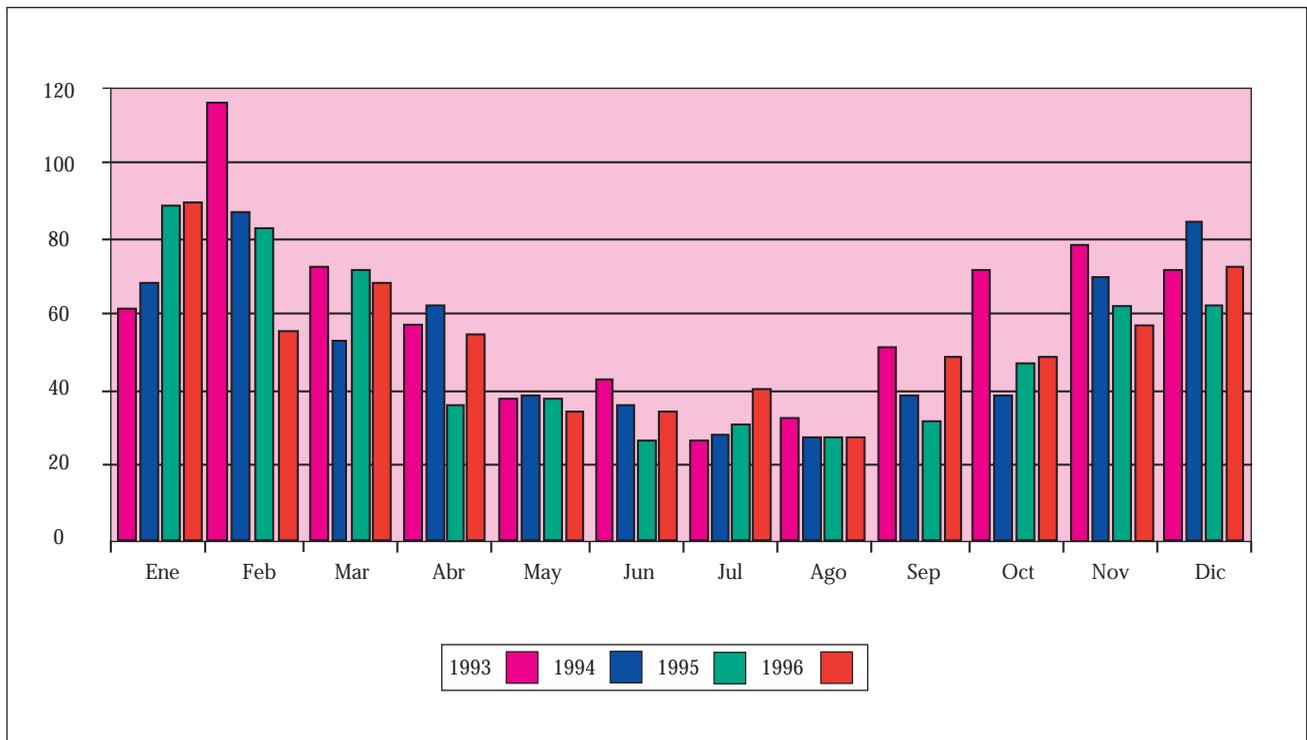
Gráfica III.1.1.17



FUENTE: Instituto Nacional de Ecología.

ZMM: IMECA máximo mensual de NO₂, 1993-1996

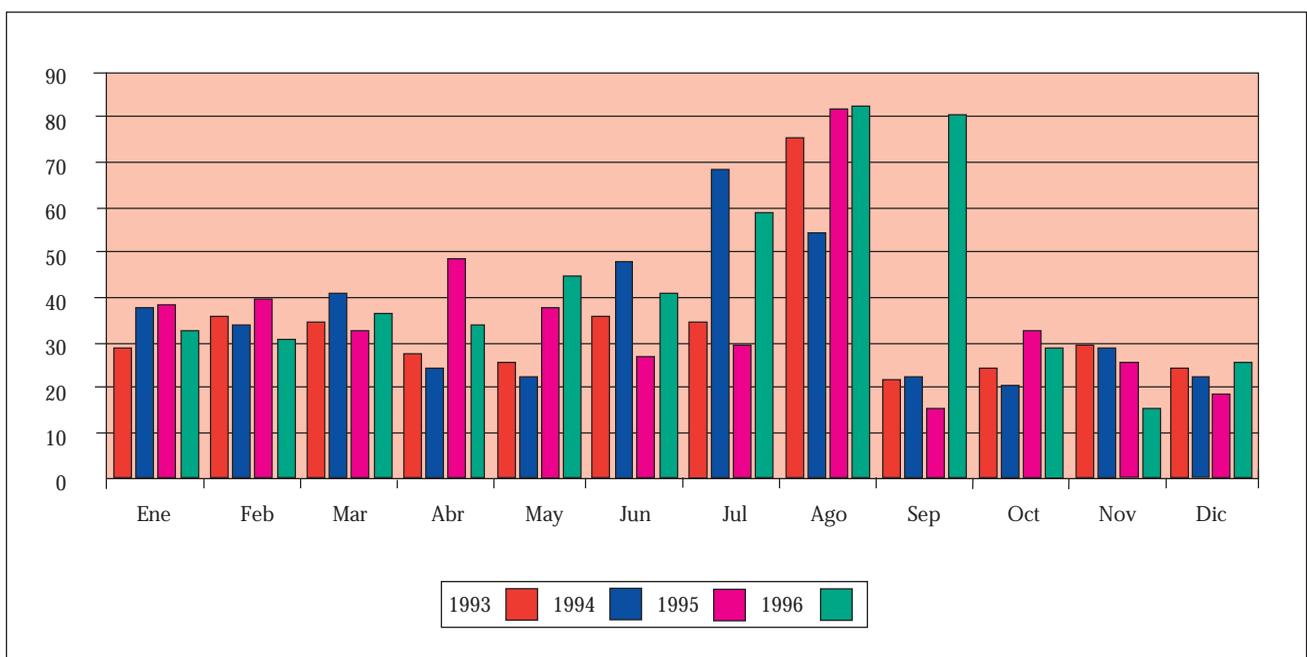
Gráfica III.1.1.18



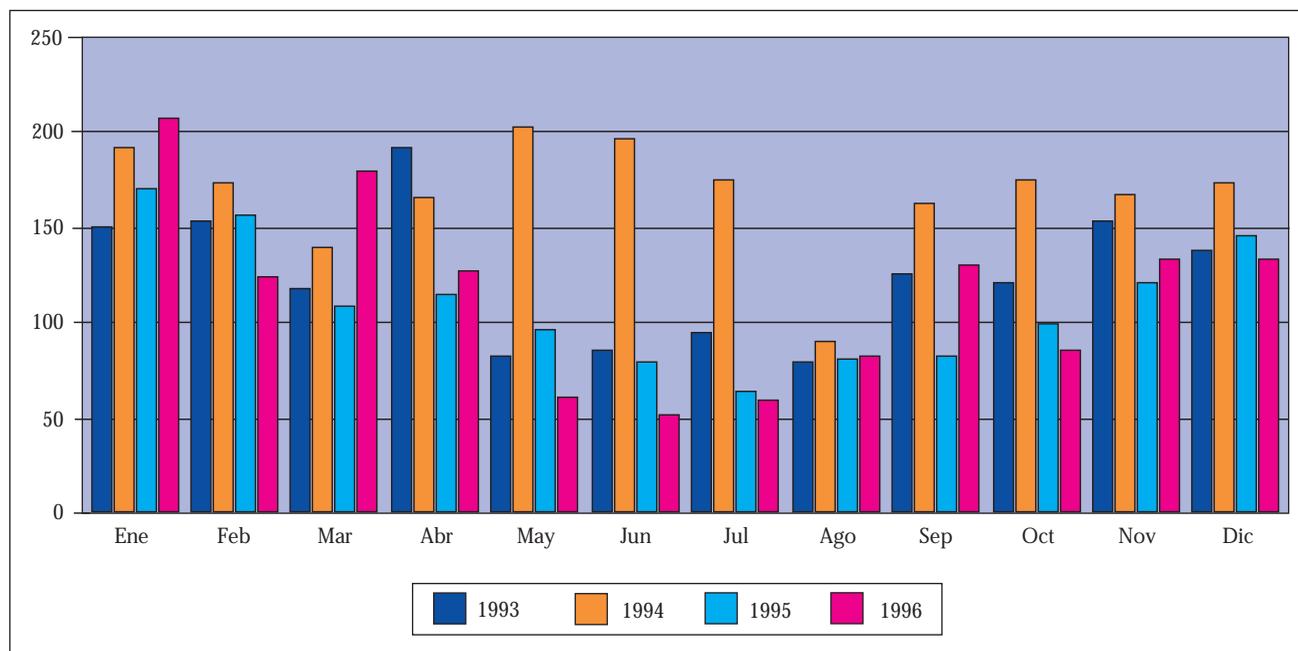
FUENTE: Instituto Nacional de Ecología.

ZMM: IMECA máximo mensual de SO₂, 1993-1996

Gráfica III.1.1.19



FUENTE: Instituto Nacional de Ecología.



FUENTE: Instituto Nacional de Ecología.

Porcentaje y número de días que sobrepasan los 100, 150, 200 y 250 puntos IMECA en la ZMM, 1996

Cuadro III.1.1.13

	Mayor o igual a 100		Mayor o igual a 150		Mayor o igual a 200		Mayor o igual a 250		N° total de días
	%	Núm.	%	Núm.	%	Núm.	%	Núm.	
Zona noroeste									
O ₃	0.6	2	0	0	0	0	0	0	356
PM-10	10.1	37	0.8	3	0.3	1	0	0	366
CO	0	0	0	0	0	0	0	0	362
NO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	363
SO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	357
Zona noreste									
O ₃	0.3	1	0	0	0	0	0	0	352
PM-10	3.6	10	1.4	4	0	0	0	0	281
CO	0.5	2	0	0	0	0	0	0	364
NO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	366
SO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	362
Zona centro									
O ₃	2.5	9	0.3	1	0	0	0	0	365
PM-10	1.1	4	0.3	1	0	0	0	0	362
CO	0	0	0	0	0	0	0	0	364
NO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	366
SO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	362
Zona suroeste									
O ₃	4.4	16	0	0	0	0	0	0	366
PM-10	2.7	10	0.8	3	0	0	0	0	364
CO	0	0	0	0	0	0	0	0	364
NO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	366
SO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	361
Zona sureste									
O ₃	2.5	9	0.3	1	0	0	0	0	366
PM-10	0.6	2	0.6	2	0	0	0	0	360
CO	0	0	0	0	0	0	0	0	364
NO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	366
SO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	358

FUENTE: INE, Semarnap/CENICA (1997), *Primer informe sobre la calidad del aire en ciudades mexicanas 1996*, México, 1997.

dad del aire, así como asesoría y capacitación en la materia en las ciudades de Tijuana y Mexicali, B. C.; Nogales, Nacozari y Agua Prieta, Son.; ciudad Juárez y Ojinaga, Chih.; Cd. Acuña y Piedras Negras, Coah.; Monterrey, N. L.; Nuevo Laredo, Reynosa y Matamoros, Tamps. Un ejemplo del monitoreo en las ciudades fronterizas es ciudad Juárez.

Calidad del aire en Ciudad Juárez

En 1993 se integró la red manual del monitoreo de ciudad Juárez, con el propósito de medir partículas finas; posteriormente se incorporaron analizadores automáticos para monitorear CO y O₃, para lo cual la ciudad fue regionalizada en cinco zonas. Hasta 1996 se han monitoreado esos tres contaminantes. La figura III.1.1.4 muestra la localización de las zonas de monitoreo en la ciudad.

Aunque la información aún es escasa para establecer un comportamiento completo y confiable de las condiciones de la calidad del aire en ciudad Juárez, los resultados del monitoreo para 1996, tanto manual como auto-

mático, revelan que durante 29 días de ese año no se cumplieron las normas de calidad del aire establecidos; en 12 de ellos la excedencia fue por O₃, en 13 por PM-10 y en 4 por CO (Gráfica III.1.1.21).

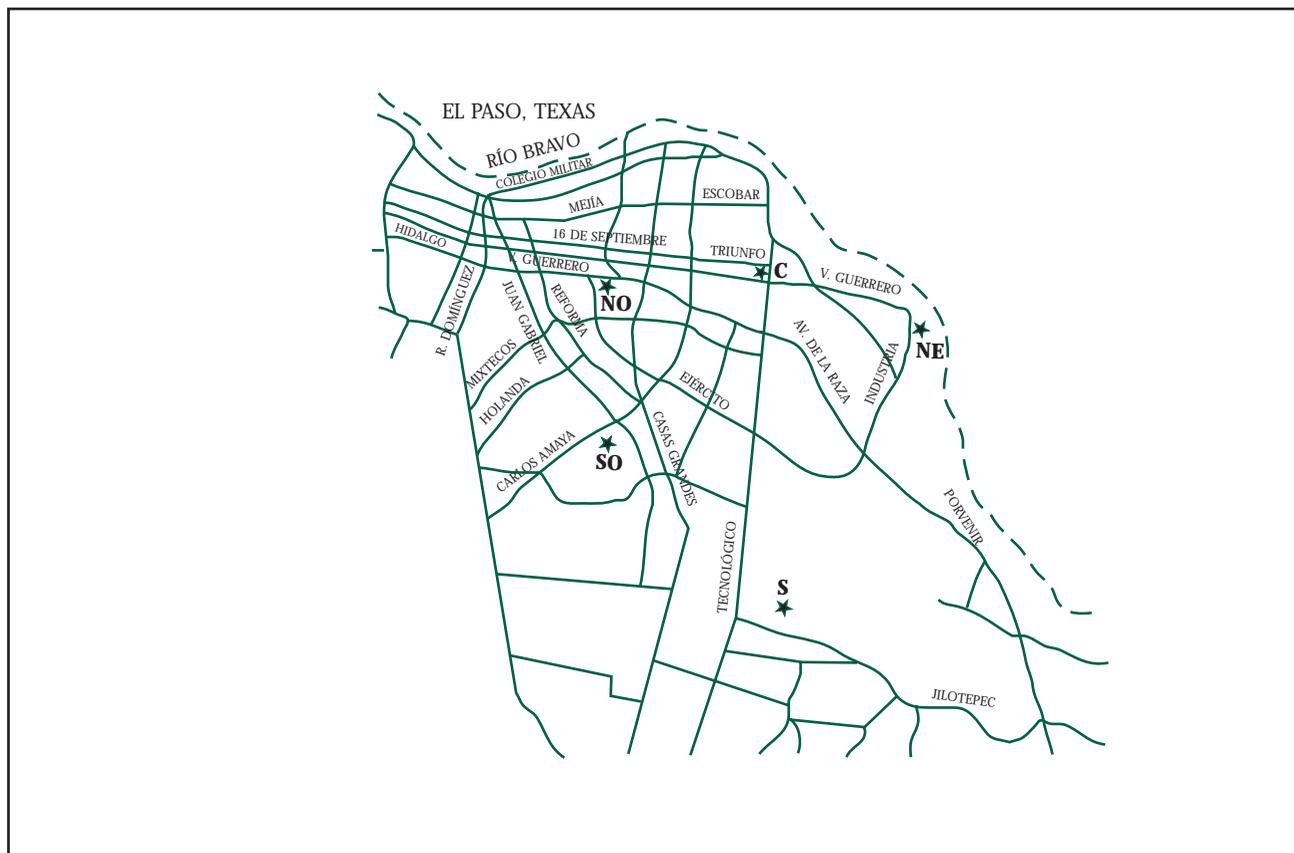
Por zonas, el mayor número de días en los que se infringe alguna de las normas de calidad del aire ocurre en el suroeste, con 6.5 % de los días; le siguen las zonas noreste y noroeste con 2.0 % de los días, en tanto que las zonas sur y centro registran menos del 1% de los días con excedencias (Gráfica III.1.1.22).

En cuanto a la concentración por contaminantes, el monitoreo indica que los niveles de O₃ alcanzaron los 160 puntos IMECA durante 1996, y en 9 de los 12 meses del año, en una ocasión por lo menos, se rebasó su norma de calidad (Gráfica III.1.1.23).

En relación a las partículas finas, sus niveles casi alcanzaron los 180 puntos IMECA; en 8 de los 12 meses, por lo menos en una ocasión se registró excedencia a la norma (Gráfica III.1.1.24).

Zonas de monitoreo de la calidad del aire de Ciudad Juárez

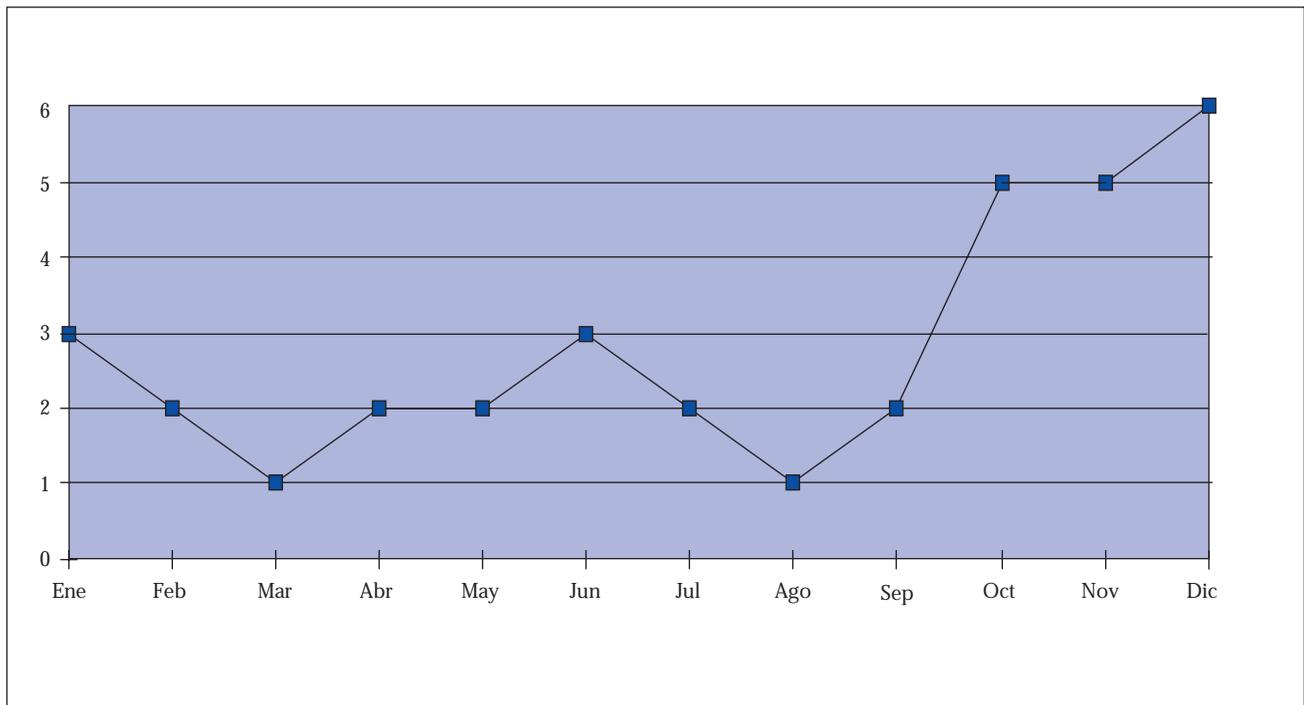
Figura III.1.1.4



FUENTE: INE, Semarnap/CENICA (1997), *Primer informe sobre la calidad del aire en ciudades mexicanas 1996*, México, 1997.

Ciudad Juárez: número de días de excedencia para cualquier contaminante, 1996

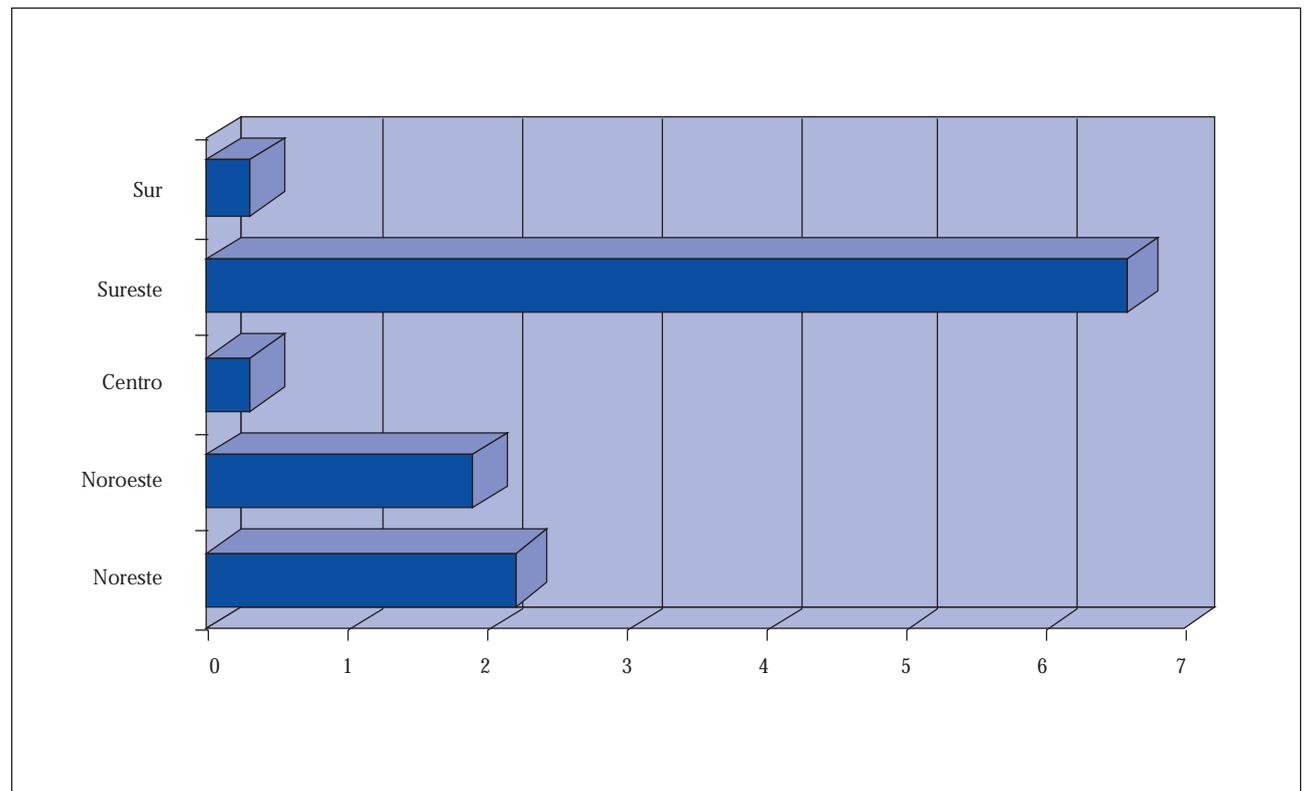
Gráfica III.1.1.21



FUENTE: Instituto Nacional de Ecología.

Ciudad Juárez: porcentaje de días en los que se rebasó alguna de las normas de calidad del aire, 1996

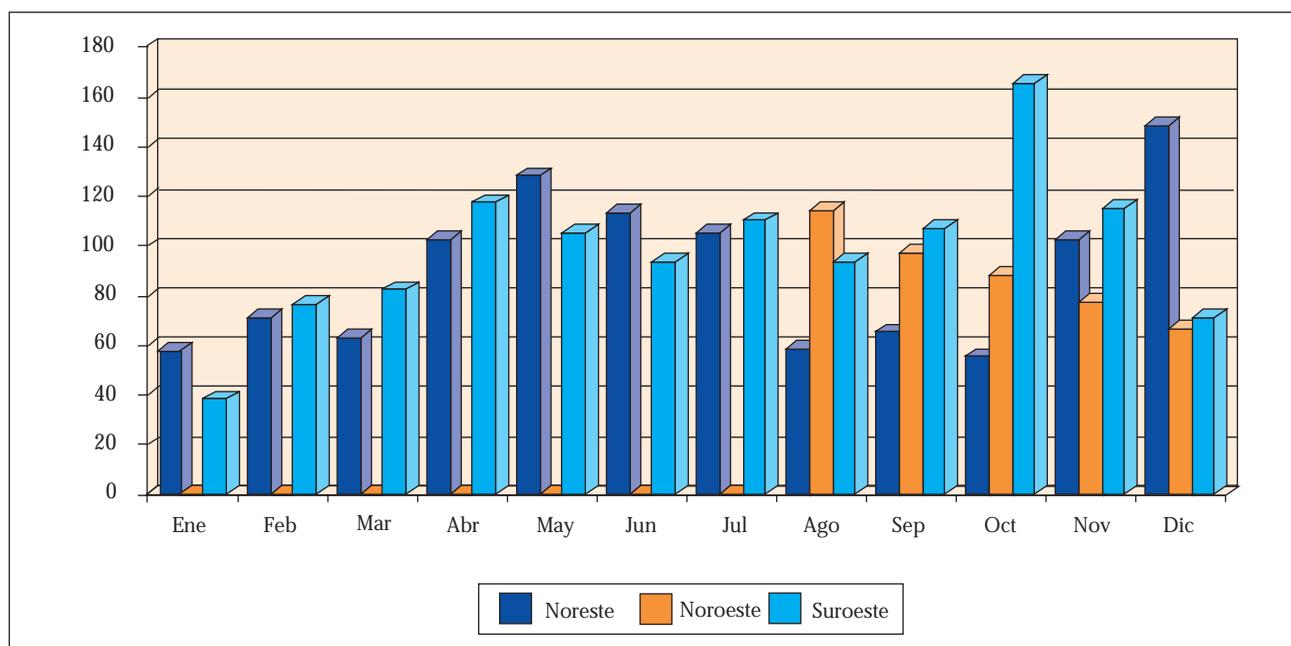
Gráfica III.1.1.22



FUENTE: Instituto Nacional de Ecología.

Ciudad Juárez: IMECA máximo mensual de O₃ por zona, 1996

Gráfica III.1.1.23



FUENTE: Instituto Nacional de Ecología.

El CO presentó el menor número de excedencias a los 100 puntos IMECA de los tres contaminantes monitoreados, aunque ocasionalmente se registraron valores superiores a este nivel (Gráfica III.1.1.25).

El cuadro III.1.1.14 muestra los valores máximos mensuales por contaminante y por zona. Las concentraciones máximas mensuales son más altas por O₃ en la zona suroeste, con valores de hasta 165 puntos IMECA. Para el CO los valores son en general más elevados en la zona suroeste y sólo en un mes se rebasó la norma de calidad del aire. Las PM-10 presentan valores superiores a los 160 puntos IMECA en la zona suroeste en octubre y noviembre, y en 8 de los 12 meses el valor máximo mensual de este contaminante fue superior a su norma.

En la actualidad, además de Cd. Juárez, se encuentran operando redes de monitoreo en las ciudades de Tijuana y Mexicali, Baja California. Por otra parte, en octubre de 1996 se creó el Comité Consultivo Conjunto para el Mejoramiento de la Calidad del Aire en la Cuenca Atmosférica de ciudad Juárez, El Paso Texas y el Condado de Doña Ana, Nuevo México. El objetivo de este comité es establecer recomendaciones, medidas y acciones para manejar la calidad del aire de la forma más eficaz y eficiente posible.

Campañas de monitoreo en otras ciudades

Para fortalecer la capacidad y aplicación de auditorías a los sistemas de monitoreo y estudios especiales, el INE

Ciudad Juárez: IMECA máximo mensual por tipo de contaminante, 1996

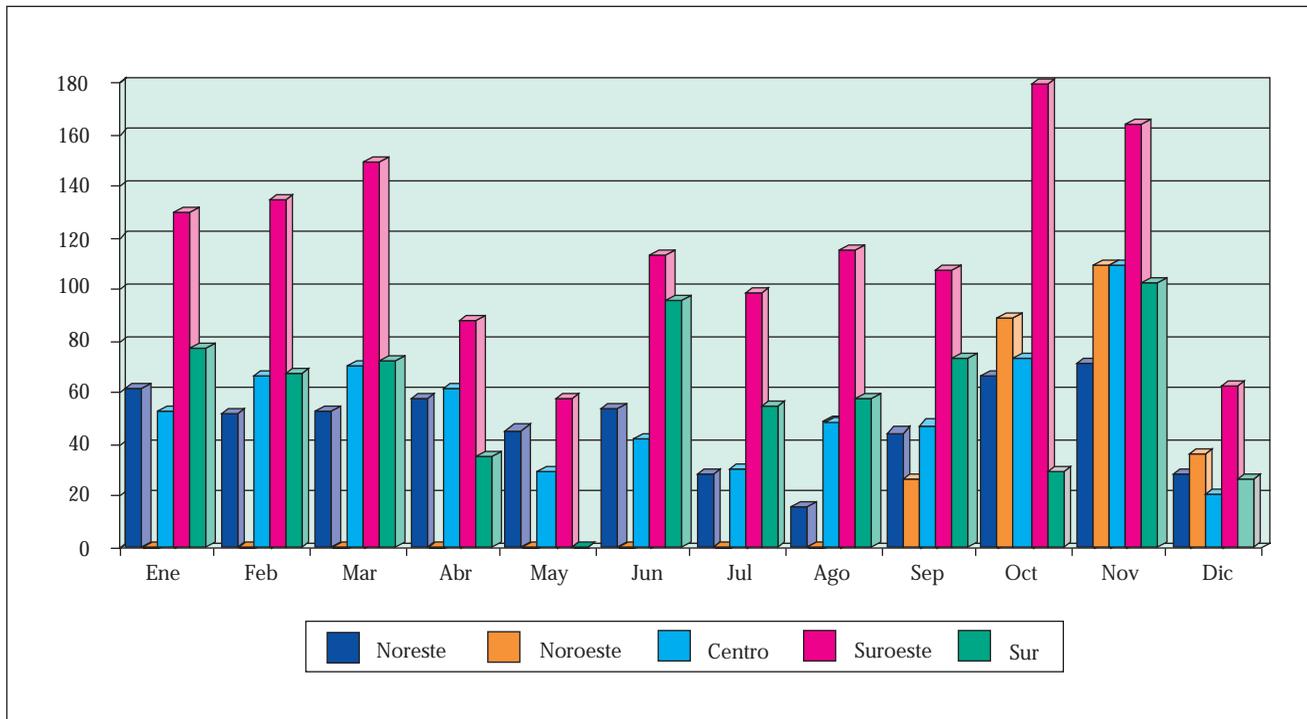
Cuadro III.1.1.14

Mes	O ₃		CO		PM-10			
	NE	SO	NE	SO	NE	SO	CE	S
Ene	57	38	43	74	61	129	52	77
Feb	71	76	29	51	51	134	66	67
Mar	63	82	31	59	52	149	70	72
Abr	102	117	13	37	57	87	61	35
May	128	105	42	32	45	57	29	-
Jun	113	93	20	49	53	113	42	95
Jul	105	110	10	-	28	98	30	54
Ago	58	93	10	-	15	115	48	57
Sep	65	107	18	33	44	107	47	73
Oct	55	165	63	48	66	179	73	29
Nov	102	115	71	102	71	163	109	102
Dic	148	71	56	62	28	62	20	26

FUENTE: Instituto Nacional de Ecología.

Ciudad Juárez: IMECA máximo mensual de partículas finas, 1996

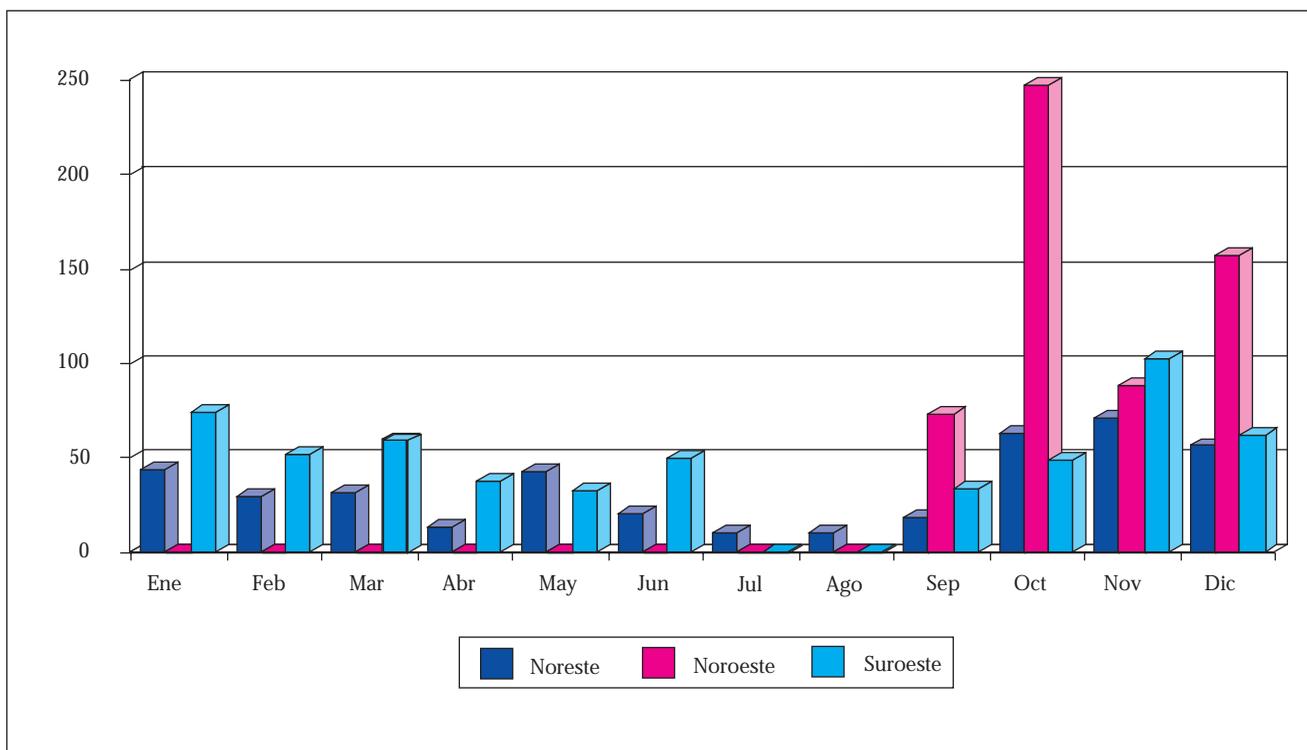
Gráfica III.1.1.24



FUENTE: Instituto Nacional de Ecología.

Ciudad Juárez: IMECA máximo mensual de CO, 1996

Gráfica III.1.1.25



FUENTE: Instituto Nacional de Ecología.

cuenta con dos unidades móviles dotadas de la misma tecnología que utilizan las estaciones fijas de monitoreo, con las cuales se efectúa monitoreo atmosférico de casi cualquier escenario de los contaminantes criterio (SO₂, CO₂, NO₂, O₃, PST y PM-10) y de otros parámetros meteorológicos que influyen o intervienen en sus tendencias.

Por ello, además de las principales ciudades que disponen de monitoreo atmosférico, otras 14 áreas urbanas de menor magnitud demográfica cuentan con registros atmosféricos.

En las campañas de monitoreo en estas ciudades se obtuvo información de parámetros meteorológicos tales como: dirección y velocidad del viento, temperatura ambiente y humedad relativa, así como de las concentra-

ciones de los contaminantes de O₃, NO_x, CO, PM-10, SO₂, obteniéndose los máximos y mínimos, la hora de ocurrencia y los periodos de monitoreo. No obstante, debido a la corta duración de las campañas, los resultados aquí presentados no deben considerarse representativos, sino más bien indicativos de la calidad del aire en estas ciudades. El cuadro III.1.1.15 es una síntesis de los resultados obtenidos.

Cambio climático

Los científicos estiman que la temperatura de la superficie de la Tierra podría incrementarse hasta un máximo de 3.5 grados centígrados en los próximos cien años. Como consecuencia de este cambio climático, existe la posibilidad de que los patrones de producción agrícola cambien, produciendo escasez en unas regiones del

Monitoreo por unidades móviles durante 1996 Cuadro III.1.1.15

Ciudad	Ubicación	Periodo de trabajo		Valores máximos registrados ¹					Número de excedencias a la norma
		Inicio	Término	CO (ppm)	SO ₂ (ppb)	NO ₂ (ppb)	PM-10 (µg/m ³)	O ₃ (ppb)	
Puebla	Zona centro en el Museo del Ferrocarril	12/02/96	16/02/96	5.6	28	79	111	75	0
Cd. Acuña	Zona centro frente al Palacio Municipal	28/03/96	2/04/96	2.9	5	47	44	57	0
Piedras Negras	Zona centro frente al Palacio Municipal	3/04/96	10/04/96	5.8	16	72	155	72	1
Monclova	Zona centro frente al Palacio Municipal	11/04/96	17/04/96	4.2	38	110	144	61	0
Saltillo	Zona centro en el Centro Comercial Soriana	17/04/96	24/04/96	4.1	15	81	70	89	0
Torreón	Zona norte en el deportivo Nazario	24/04/96	2/05/96	4.0	27	54	135	103	0
Gómez Palacio	Zona centro en el estacionamiento de la Coca Cola	3/05/96	9/05/96	5.3	40	43	129	77	0
Durango	Zona centro en el Instituto Tecnológico	10/05/96	17/05/96	2.6	18	29	124	90	0
Aguascalientes	Zona centro en las instalaciones de la Feria	17/05/96	25/05/96	2.2	19	50	54	79	0
Querétaro	Zona noroeste	26/05/96	1/06/96	3.9	3	34	84	104	0
Manzanillo	Zona hotelera	10/07/96	9/08/96	2.2	28	173	51	66	0
Atasta	Al suroeste de la unidad de recompresión de gas de Pemex	14/10/96	18/10/96	0.6	10	-	17	-	0
Dos Bocas	Al sur de los depósitos de combustibles de Pemex	19/10/96	21/10/96	1.9	3	-	111	-	0
Coatzacoalcos	Zona centro frente al Palacio Municipal	22/10/96	25/10/96	1.7	15	23	26	137	1

¹ Los valores de ozono y bióxido de nitrógeno son horarios, los valores de monóxido de carbono son promedios móviles de 8 horas y los valores de partículas suspendidas fracción respirable y de bióxido de azufre son promedios de 24 horas. Equivalencia de unidades: 1000 ppb = 1 ppm. El nivel de cada contaminante solamente se monitoreó durante uno de los días de trabajo mencionados en cada ciudad.

FUENTE: Semarnap, INE, CENICA, *Primer informe sobre la calidad del aire en ciudades metropolitanas, 1996*, México 1997.

planeta y aumento de la producción en otras (incluso en otras que ahora no tienen). Lo anterior acarrearía problemas de hambre en ciertos lugares y modificaría los patrones existentes en cuanto a abasto de alimentos, con una posible perturbación en las relaciones económicas entre los países. También se señala la posible elevación del nivel del mar y la amenaza que esto representaría para las zonas costeras bajas de muchos países, principalmente las densamente pobladas, que se verían seriamente afectadas y que en algunos casos podrían desaparecer. Es muy posible que, asociado con este fenómeno, la severidad de otros eventos —como las tormentas asociadas a los huracanes y *El Niño*— fuera mayor, acarreando mayor destrucción.

Si bien los problemas que origina el cambio climático surgen local o regionalmente, sus implicaciones trascienden estas escalas volviéndose problemas globales, no solamente en un sentido físico, sino también humano y político. Se puede dar el caso de «refugiados climáticos», es decir, personas que salgan de su lugar de origen en busca de regiones menos afectadas por los cambios del clima.

La descripción anterior es producto de los estudios que actualmente se realizan sobre los posibles impactos del cambio climático global en las actividades humanas. Algunas estimaciones indican que el impacto sobre la economía de los Estados Unidos de América sería del orden del 1% de su PNB, mientras que para China esta

cifra se situaría en 5%. Estas diferencias son ilustrativas de resultados globales que sugieren que los impactos serían más severos en los países en desarrollo que en los desarrollados.

El cambio climático es consecuencia del cambio de la temperatura atmosférica en la medida en que éste es uno de los factores que determinan las características de los climas; a su vez, la temperatura de la atmósfera depende, entre otros factores, de la radiación proveniente del Sol y de la concentración de gases de efecto invernadero presentes en la atmósfera.

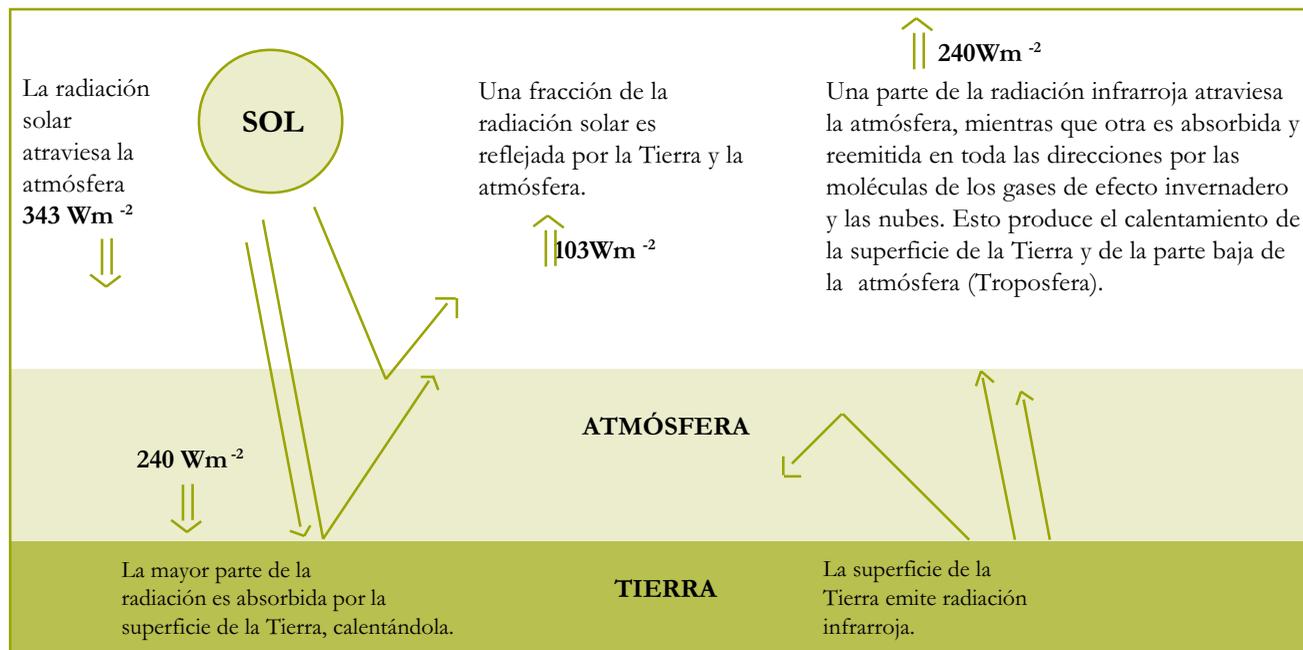
Efecto invernadero

La temperatura de la superficie de la Tierra se debe en gran medida al llamado efecto invernadero, que es un fenómeno natural que se presenta al existir en el planeta una atmósfera capaz de absorber radiación infrarroja por medio de los gases conocidos como gases de efecto invernadero: bióxido de carbono (CO_2), vapor de agua y ozono (O_3), en primer lugar, y también óxido nitroso (N_2O), metano (CH_4), clorofluorocarbonos (CFCs) y algunos de sus sustitutos como los hidrofluorocarbonos.

La Tierra capta la radiación proveniente del Sol, la cual penetra hasta la superficie. Ésta se calienta y, a su vez, emite radiación de onda larga que es absorbida por los gases de efecto invernadero de la atmósfera, produciendo el calentamiento de ésta (Figura III.1.1.5). Este

Efecto invernadero

Figura III.1.1.5



Wm^{-2} : Watts por metro cuadrado.

FUENTE: Parte del Informe Especial del PICC para la Primera Reunión de la Conferencia de las Partes de la Convención Marco sobre Cambio Climático, 1994.

proceso es el responsable de que la temperatura de la Tierra sea de unos 15 °C en promedio, muy conveniente para el desarrollo de la vida.

A partir de la radiación solar y de sus diversas transformaciones, se generan todos los procesos que afectan a la humanidad, desde la fotosíntesis hasta los huracanes, incluyendo a los combustibles fósiles.

Del aumento en las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero se puede esperar el incremento de la temperatura de la Troposfera, al haber mayor absorción de radiación infrarroja (Cuadro III.1.1.16). Este fenómeno conduce al Cambio Climático Global, dado que la temperatura es uno de los factores que determinan el clima.

Las concentraciones de CO₂ en la atmósfera siguen un patrón muy parecido al de la temperatura, de manera que un aumento o disminución de ésta coincide con aumentos o disminuciones de las primeras. De esta forma, dadas las tendencias actuales de emisión y concentración de CO₂ y de otros gases de efecto invernadero, se prevé un aumento promedio en la temperatura global de unos 2.5 °C en los próximos 100 años.

Actualmente se ha detectado que las concentraciones de CO₂ se incrementan año con año. Se estima que este aumento se debe principalmente a las emisiones producidas por la quema de combustibles fósiles, que no se equilibran con los sumideros forestales y marinos de CO₂, es decir, que no se equilibran con la absorción de CO₂ por parte de organismos fotosintéticos de ecosistemas forestales y marinos. En particular, la actividad industrial mundial está emitiendo del orden de 6 000 millones de toneladas de carbono por año, de las cuales alrededor de 3 000 millones permanecen en la atmósfera.

Se estima que el incremento de CO₂ se ha dado de manera exponencial desde la mitad del siglo pasado, con la revolución industrial, aumentando desde entonces aproximadamente 25%. Este aumento es de una magnitud similar a los cambios que se han registrado entre eras glaciales e interglaciales, pero que toman decenas de miles de años en ocurrir. Las actividades humanas (quema de combustibles fósiles y de biomasa, actividades industriales y agrícolas, deforestación) pueden producir en unos cuantos decenios cambios en el planeta que a la naturaleza le llevaría miles de años realizar.

Principales gases de efecto invernadero

Cuadro III.1.1.16

Gas	Principales fuentes	Concentraciones preindustriales	Concentraciones en 1992	Potencial de calentamiento atmosférico ¹ (años)			Tasas recientes de incremento de la concentración (durante el decenio de 1980)	Vida atmosférica (años)
				20	100	500		
Bióxido de Carbono (CO ₂)	Quema de combustibles fósiles, producción de cemento, cambios en uso de suelo tropical	280 ppmv ²	355 ppmv	1	1	1	1.5 ppmv/año 0.4%/año	50 a 200
Metano (CH ₄)	Cultivo de arroz bajo agua, rellenos sanitarios, ganadería, combustión de biomasa, producción y consumo de combustibles fósiles	700 ppbv ³	1714 ppbv	62	24.5	7.5	13 ppbv/año 0.8%/año	12-17
Oxido Nitroso (N ₂ O)	Agricultura (pastoreo en regiones tropicales), quema de biomasa, procesos industriales (producción de ácido adípico y ácido nítrico)	275 ppbv	311 ppbv	290	320	180	0.75 ppbv/año 0.25%/año	120

¹ El potencial de calentamiento atmosférico expresa la importancia relativa de los gases de efecto invernadero con relación al CO₂ en un horizonte de tiempo determinado. Esto es así, pues los gases permanecen en la atmósfera tiempos diferentes, por lo que el potencial de calentamiento es función de cuán eficiente es el gas para absorber radiación infrarroja y cuánto tiempo permanece en la atmósfera. Por ejemplo, en un horizonte de tiempo de 20 años, un kilogramo de metano puede producir un calentamiento equivalente al de 62 kg de CO₂ y un kilogramo de óxido nitroso tiene un potencial de calentamiento equivalente a 290 kg de CO₂.

² Partes por millón en volumen.

³ Partes por mil millones en volumen.

FUENTE: Parte del Informe Especial del PICC para la primera Reunión de la Conferencia de las Partes de la Convención Marco sobre Cambio Climático, 1994.

Ante esta situación, en 1992, durante la Cumbre de Río, se firmó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, con el fin de evitar una intervención antropogénica peligrosa en el sistema climático.

México firmó la Convención Marco en esa ocasión, y la ratificó a principios de 1993. Desde entonces ha mantenido un esfuerzo por cumplir con los compromisos ahí adquiridos, los cuales, entre otros incluyen: realizar y publicar inventarios de emisiones; tomar medidas de protección; promover la conservación de los sumideros y depósitos de gases de efecto invernadero (Artículo 4.1 de la Convención). De esta manera, dentro del *Estudio de País: México* (financiado por el US Country Studies Program y con el apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y el gobierno de Canadá) se han llevado a cabo varios estudios, entre ellos el *Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero*, por fuentes y sumideros; investigaciones sobre escenarios de emisiones futuras y escenarios climáticos, así como estudios sobre la vulnerabilidad del país ante el cambio climático lo mismo que análisis de posibles medidas de mitigación y adaptación. Algunos resultados de estas investigaciones se mencionan a continuación.

Medidas de protección

Las medidas de protección frente a los efectos del cambio climático se centran en dos enfoques: uno previniendo, la mitigación, y el otro de respuesta, la adaptación.

Mitigación

El objetivo de toda medida de mitigación es reducir la emisión de gases de efecto invernadero, previniendo una mayor concentración de éstos en la atmósfera y sus repercusiones sobre la temperatura de la Tierra.

Un primer paso hacia medidas efectivas de mitigación es hacer un inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero, dado que permite estimar emisiones de manera sistemática y consistente a nivel nacional e internacional, lo que es un requisito previo para evaluar su factibilidad y el costo-efectividad de instrumentar posibles estrategias de mitigación y adoptar tecnologías para la reducción de emisiones.

Además, el inventario proporciona un mecanismo común y consistente que le permite a todos los países signatarios de la Convención Marco estimar sus emisiones y comparar las contribuciones relativas de las diferentes fuentes al cambio climático.

La actualización de las estimaciones de emisiones de gases de efecto invernadero, realizada por México en 1996 con base en información de 1990, incluye gases de efecto directo: bióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), así como gases de efecto indirecto (éstos contribuyen al calentamiento global a través de la formación atmosférica de ozono): monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles distintos al metano (COVNM). Las fuentes emisoras que más contribuyen al total nacional son: el uso de combustibles para la generación de energía y el cambio de uso de suelos con el 66.7% y 30% respectivamente. En relación a la contribución relativa por gas, destaca sobremanera el bióxido de carbono con el 96.4% del total de emisiones (Cuadro III.1.1.17; Gráfica III.1.1.26).

Con base en la información antes mencionada, se puede destacar lo siguiente respecto de los gases de efecto directo que mayor contribución aportan al total nacional.

Bióxido de Carbono (CO_2)

En 1990 las emisiones totales de bióxido de carbono fueron de 444 489 miles de toneladas, de acuerdo con la metodología de uso total de combustibles. La fuente más importante es el sector energético (consumo de combustibles para producción de energía), cuya emisión representó el 66.8% del total nacional, seguida por la correspondiente a cambio de uso de suelo y silvicultura, la cual llegó a 30.6 por ciento (Cuadro III.1.1.17; Gráfica III.1.1.27).

Metano (CH_4)

El metano es un gas de efecto invernadero con un potencial de calentamiento 24.5 veces superior al del CO_2 en un horizonte de 100 años (Cuadro III.1.1.16). De acuerdo con las estimaciones actualizadas de las emisiones de 1990, éstas llegaron a 3 641.65 miles de toneladas. La agricultura y la ganadería son sus principales fuentes, con una participación de 49.2% (1 793.30 miles de toneladas), seguidas por las emisiones debidas a fugas asociadas a la producción de petróleo y gas y una pequeña contribución de la explotación de carbón, que en conjunto aportan el 28.6% (1 039.58 miles de toneladas). Por otra parte, los desechos aportan el 14.4%, los cambios de uso del suelo el 6.6% y, finalmente, la quema de combustibles el 1.2 por ciento.

Si se toma en consideración el potencial de calentamiento del metano antes indicado, estas emisiones equivalen a la capacidad de calentamiento atmosférico de una cantidad de CO_2 que representa el 20.1% del

**Resumen del inventario nacional de gases de efecto invernadero
(Miles de toneladas)¹**

Cuadro III.1.1.17

Categoría de fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero	CO ₂ top/down ²	CO ₂ bottom/up ³	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	COVNM
Total nacional de emisiones y captura	459 278.333	444 488.970	3 641.655	11.779	1 012.874	11 032.531	800.770
1 Total de energía (combustibles+fugas)	311 800.000	297 010.637	1 081.358	3.962	962.792	8 725.420	800.770
A Consumo de combustibles	311 800.000	297 010.637	41.778	3.962	962.792	8 725.420	800.770
1 Industria de transformación y energía		108 473.181	3.441	0.063	298.351	281.464	
2 Industria (ISIC ₄)		64 971.198	1.794		111.547	20.692	
3 Transporte		94 705.603	36.060	2.228	521.675	8 420.319	800.770
4 Residencial y comercial		23 558.679	0.459	1.671	20.918	1.861	
5 Agricultura y acuicultura		5 301.976	0.023		10.301	1.084	
B Emisiones por fugas en la producción y manejo de combustibles			1 039.580				
1 Combustibles sólidos			70.270				
2 Petróleo y gas natural			969.310				
2 Procesos industriales		11 621.000	11 621.000				
3 Agricultura			1 793.297	5.817	11.082	195.111	
A Fermentación entérica		1 700.905					
B Administración de abono			48.101				
C Cultivo de arroz			35.000				
D Suelos agrícolas				5.510			
E Quema <i>in situ</i> de residuos agrícolas			9.291	0.307	11.082	195.111	
4 Cambio de uso de suelo y silvicultura	135 857.333	135 857.333	241.000	2.000	39.000	2 112.000	
A Captura/emisión en bosques administrados	-31 551.667	-31 551.667					
B Tala de bosques	217 734.000	217 734.000	241.000	2.000	39.000	2 112.000	
C Captura en tierras abandonadas	-50 325.000	-50 325.000					
5 Desechos			526.000				
A Tiraderos de desechos sólidos			468.000				
B Tratamiento de aguas residuales (urbano)							

¹ Estimaciones de 1996 con base en información de 1990. Las diferencias que existen en los subtotales de CH₄ correspondientes a Consumo de combustibles y Agricultura, respecto de los resultados que se obtienen con sus sumandos, se deben a redondeo de las cifras.

² Método de estimación basado en datos globales de consumo aparente de combustibles. Este enfoque se basa en la contabilización del carbono contenido en los combustibles suministrados a la economía de un país. Esto implica la estimación de la producción de combustibles de cada país, así como de los que fluyen dentro y fuera del país por medio de importaciones y exportaciones. No es necesario contar con información acerca del consumo real de combustibles a nivel sectorial o nacional.

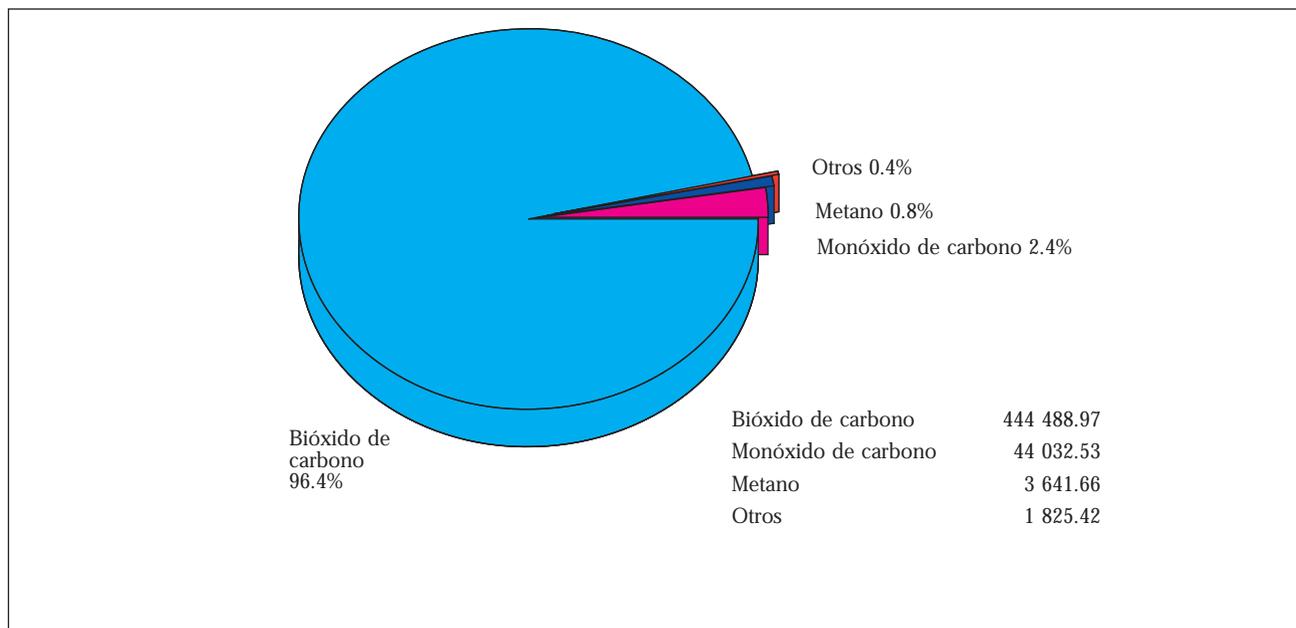
³ Método de estimación basado en datos de consumo nacional de energía en cada sector de la economía del país; provee mayor detalle de emisiones de CO₂ por subsector.

⁴ Industrial Sector International Classification.

FUENTE: Instituto Nacional de Ecología, Semarnap / U.S. Country Studies Program (en prensa), *Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero* (versión actualizada de 1996), México.

Mayores emisiones de gases de efecto invernadero en México, 1990*
(Miles de toneladas)

Gráfica III.1.1.26

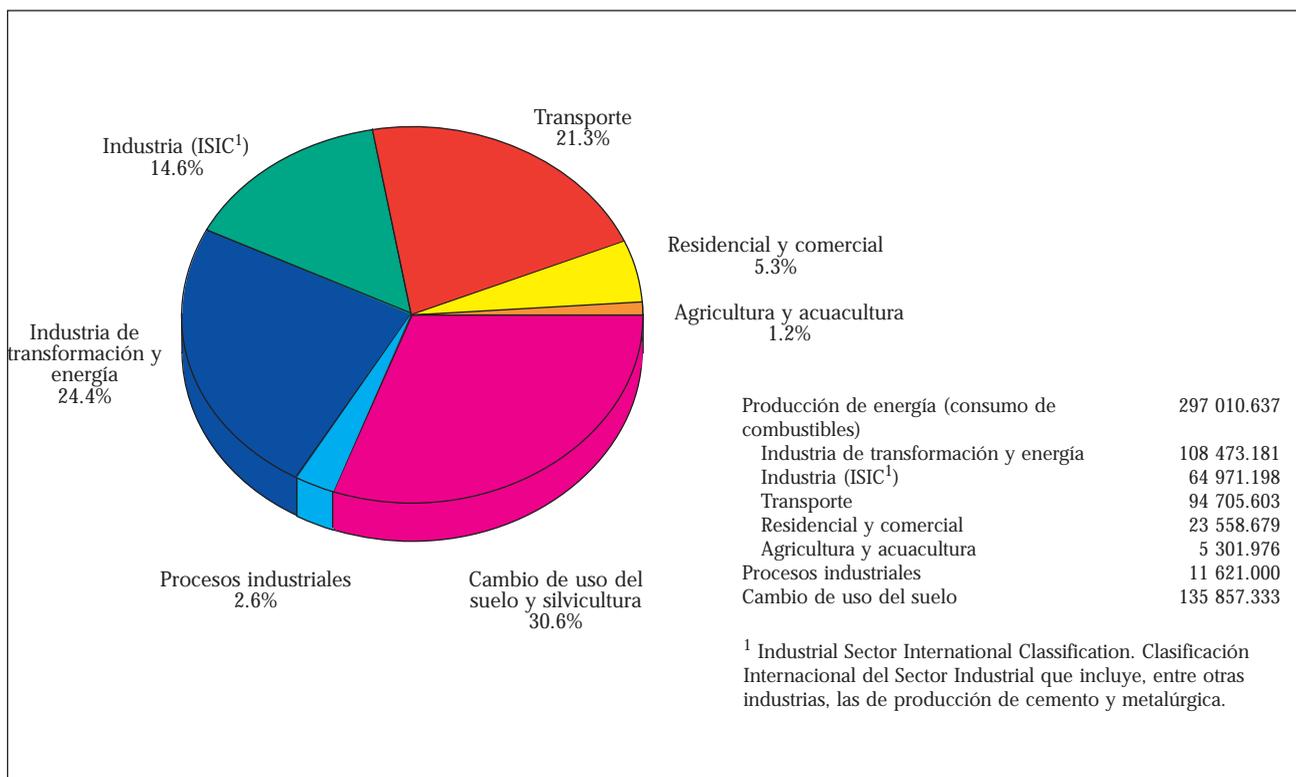


* Estimaciones de 1996 con base en información de 1990.

FUENTE: Instituto Nacional de Ecología, Semarnap.

Emisiones de bióxido de carbono, 1990*
(Miles de toneladas)

Gráfica III.1.1.27



* Estimaciones de 1996 con base en información de 1990.

FUENTE: Instituto Nacional de Ecología, Semarnap.

total de emisiones de este gas y 19.4% del total de todos los gases incluidos en el inventario (Cuadro III.1.1.17).

Por otra parte, atendiendo a las principales fuentes emisoras, es importante destacar lo siguiente:

Energía e Industria

Las emisiones del sector energético (es decir, emisiones debidas al uso de combustibles para producción de energía) son la fuente antropogénica más importante de México. El 89.3% de la energía de uso final —energía disponible para ser utilizada— y el 79.7% de la electricidad generada se producen por medio de combustibles fósiles (ver subcapítulo de Energía). Lo que resta de la producción de electricidad se obtiene por generación hidroeléctrica, geotérmica y por combustión de leña y bagazo.

En 1990, México emitió 297 millones de toneladas de CO₂ debido al consumo de combustibles fósiles (ver cuadro III.1.1.17) y 40.5 millones de toneladas por el uso de combustibles basados en biomasa (no incluidos en los totales del inventario debido a que son secuestrados o absorbidos durante el siguiente ciclo de crecimiento de plantaciones forestales dedicadas a la producción de biomasa para generación de energía). Las emisiones de CO₂ asociadas con el uso de energía aumentaron 14.1% entre 1987 y 1993, tasa de crecimiento similar a la del consumo de energía de uso final, incluyendo a la producción de electricidad y al sector energético. El bióxido de carbono, como producto intermedio de procesos industriales no generadores de energía, fue calculado únicamente en el caso de la producción de cemento, resultando una emisión de 11 621 miles de toneladas en 1990.

Las emisiones de NO_x, CO y CH₄ se incrementaron en 19.8, 35.6 y 30.7%, respectivamente, mientras que las emisiones de N₂O aumentaron en 6% debido al decreciente consumo de combustóleo en los sectores industrial y del transporte. De 1987 a 1993 las emisiones *per capita* de CO₂ decrecieron en 7.2% al pasar de 3.8 a 3.5 toneladas. La intensidad de las emisiones de CO₂, medidas como emisiones por Producto Interno Bruto (PIB) se redujo en 6.1%, pasando de 798.0 a 749.3 toneladas de CO₂ por millón de dólares constantes de 1993.

En el caso de las emisiones por sector, el de los transportes representa el 32% de las emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles, seguido por el de la generación de electricidad (23%) y la industria (22%). El sector del transporte es también el principal contribuyente a las emisiones de NO_x, CH₄, N₂O y CO (Cuadro III.1.1.17).

Agricultura y cambio de uso de suelos

Las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de la agricultura (sin incluir las derivadas del uso de combustibles) surgen principalmente del abono y la fermentación entérica del estiércol del ganado (1 749 miles de toneladas de metano), de cultivos específicos (35 mil toneladas de metano producidos por arrozales), del uso de fertilizantes (5.55 mil toneladas de N₂O) y de una familia de gases de efecto invernadero originados por la quema prescrita de desechos de cultivos *in situ* (ver cuadro III.1.17). Las emisiones de gases de efecto invernadero diferentes del CO₂ provenientes de la quema prescrita de desechos de cultivos ya se incluyen en el inventario.

Las emisiones actualizadas de bióxido de carbono producidas por el cambio de uso de suelos y la silvicultura para 1990 son de 135 857.33 miles de toneladas, lo que representa un incremento de 21.5% en relación con el Inventario Preliminar, debido al mejor conocimiento de las tasas de deforestación y del secuestro de carbono en tierras administradas y abandonadas. Éstas representan 30.6% del total de emisiones de CO₂. Si se considera un potencial de calentamiento del metano de 21 -dato más reciente dado por el IPCC- en un horizonte de 100 años, las emisiones de CO₂ y de CH₄ equivalentes a CO₂ (en su capacidad de calentamiento) debidas a cambio de uso de suelos, representaron 26.8% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero; asimismo, la participación de la agricultura fue de 7.1%. En conjunto, ambas fuentes contribuyeron con 33.9 por ciento.

Rellenos sanitarios

En México, los rellenos sanitarios contribuyen con 468 mil toneladas, lo que representa el 12.9% de las emisiones de metano del país. De esto, el 41.6% se concentra en el Distrito Federal y 58.4% se distribuye en el resto del país.

Emisiones de gases de efecto invernadero de México en el contexto mundial

México se clasifica entre los 15 países con mayores emisiones de gases de efecto invernadero. Al mismo tiempo, al compararse con los países no pertenecientes al Anexo I de la *Convención Marco sobre Cambio Climático*, es decir, al compararse con el grupo de países en vías de desarrollo al que pertenece México, solamente es superado por las emisiones de China, India, Brasil e Indonesia.

En 1990, México contribuyó con menos del 2% de las emisiones globales, mientras que Estados Unidos

produjo el 19% y la ex-Unión Soviética el 13%. Por lo que toca al bióxido de carbono, las emisiones por consumo de combustibles ascendieron en 1990 a 297 010.64 miles de toneladas (ver cuadro III.1.1.17), lo que representó una emisión *per capita* de CO₂, en México de 3.7 toneladas de CO₂/persona.

Escenarios de emisiones futuras

Dentro de la evaluación de posibles medidas de mitigación de gases de efecto invernadero, es imprescindible contar con una línea de base que sirva como parámetro para evaluar la efectividad de las posibles medidas de mitigación que pudieran instrumentarse.

Con el fin de contar con una posible línea base de emisiones futuras para México, fundada en la relación existente entre el crecimiento económico, la demanda de energía y las emisiones resultantes, se realizaron proyecciones de demanda de energía a nivel nacional, sectorial y subsectorial utilizando un modelo de demanda de energía primaria y final desarrollado por el Programa Universitario de Energía de la UNAM (PUE-UNAM).

Este modelo permite estimar la demanda de energía del periodo de 1995 a 2010 para diferentes escenarios de crecimiento económico y poblacional. Para este estudio se consideraron tres escenarios de crecimiento económico: i) escenario de crecimiento alto, con una tasa de crecimiento anual promedio de 4.8%; ii) escenario de crecimiento bajo: tasa de 2%; y iii) escenario de referencia: tasa de 3.4%. Asimismo, se consideró un crecimiento poblacional de 1.4% a lo largo del periodo de estudio y dos opciones de intensidades energéticas (energía empleada por peso producido): una constante, basada en valores promedio de acuerdo con los datos históricos disponibles; y una “opinión experta”. Fue necesario incluir esta última para establecer expectativas aceptables sobre el comportamiento futuro de las intensidades energéticas, pues la gran escasez de información estadística en algunos subsectores de la economía hace que los comportamientos de las intensidades constantes sean cuestionables.

Los resultados muestran que las emisiones de CO₂ para el año 2010 se encontrarían entre un mínimo de 130 y un máximo de 210 millones de toneladas de carbono, dependiendo del escenario a considerar, lo que significa entre 50 y más del 100% de las emisiones de 1990.

Por lo que respecta a las emisiones por habitante, en 1982 se presentó el máximo histórico de emisiones de CO₂, 1.1 toneladas de carbono; el valor de estas emisiones han estado siempre, excepto en los años 1991 y 1992, muy próximas a una tonelada de carbono por habitante.

Asimismo, se observa que para 1995 y bajo cualquiera de los escenarios antes indicados, las emisiones se ubicarían en la vecindad del valor de 1990. Sin embargo, a partir de 1996 se incrementarían, y para el año 2000 se ubicarían entre un máximo de 1.2 y un mínimo de 1.1 toneladas de carbono por habitante, excediendo el valor de las emisiones de 1990 entre un 2.0 y 19.4 por ciento.

Propuestas de acciones de mitigación

El estudio llevado a cabo por el PUE-UNAM, incluyó también el análisis de los efectos de implementar diferentes alternativas de aplicación de tres tecnologías de eficiencia energética: cogeneración en 5 ramas industriales; uso de lámparas compactas fluorescentes en el sector residencial; y alumbrado eficiente en el sector comercial.

Los resultados de esta parte del estudio, que aún están siendo analizados, mostrarán los posibles costos e impactos sobre las emisiones de gases de invernadero para cada una de estas alternativas de mitigación.

Adaptación

Las medidas de adaptación surgen como respuesta a los efectos que se prevé que el cambio climático global pudiera tener tanto sobre el ser humano y sus actividades como sobre el ambiente.

En el marco de la primera fase del *Estudio de país: México*, se han realizado estudios de vulnerabilidad a los efectos posibles del cambio climático en las áreas de agricultura, asentamientos humanos, zonas costeras, desertificación y sequía meteorológica, ecosistemas forestales, recursos hidrológicos y los sectores energéticos e industrial. Para poder realizar este análisis, fue necesario elaborar escenarios climáticos regionales actuales y de cambio (Cuadro III.1.1.18).

Medidas de adaptación propuestas

Para la segunda fase del *Estudio de país: México*, actualmente en desarrollo, se ha integrado un grupo de trabajo con investigadores, técnicos y estudiantes de diferentes líneas de investigación. Durante esta fase se actualizarán los escenarios estadísticos de cambio climático, se establecerá un criterio de selección de los estudios de caso más relevantes dentro de las regiones centro y norte del país (las más vulnerables de acuerdo con los estudios de la fase 1, Cuadro III.1.1.18), así como los mecanismos de integración de las bases de datos y la utilización de un Sistema de Información Geográfica, y los mecanismos de retroalimentación con investigadores de otras instituciones, en especial en el análisis de viabilidad de las medidas de adaptación.

Agricultura

Muy vulnerable, compitiendo con ecosistemas forestales. Las regiones identificadas como más vulnerables son el norte y el centro del país

Asentamientos humanos

Regiones de mayor vulnerabilidad:
Centro (Distrito Federal, Estado de México, Guanajuato, Jalisco)

Desertificación

48.21% de la superficie del país tiene altos índices de vulnerabilidad
Estados más vulnerables:
Aguascalientes, Baja California, Coahuila, Jalisco, Colima, Nayarit, Querétaro, Guanajuato, Michoacán, Sonora e Hidalgo

Sequía meteorológica

Aumentaría hacia el norte. La erosión (lluvia) se incrementaría al norte

Recursos hidrológicos

Las zonas más vulnerables son:
La cuenca del Pánuco
La cuenca del Lerma-Chapala-Santiago
La Península de Baja California

Industria y energía

Sectores de alta vulnerabilidad:
Industria petrolera
Industria eléctrica
Industria petroquímica

Zonas costeras

Zonas de mayor vulnerabilidad:
Tabasco (Complejo Deltaico)
Tamaulipas (Laguna Deltaica del río Bravo)
Veracruz (Laguna de Alvarado, río Papaloapan)
Tabasco (Complejo Deltaico Grijalva-Mezcapala-Usumacinta)
Yucatán (Los Petenes)
Quintana Roo (Bahía de Sian Ka'an y Chetumal)

Ecosistemas forestales

El 50% se vería afectado
Los bosques templados son muy vulnerables

FUENTE: Elaborado por el Instituto Nacional de Ecología, con base en los resultados del estudio de vulnerabilidad de la primera fase del *Estudio de país: México, 1995*.

De esta forma, el estudio propondrá las posibles medidas de adaptación en las regiones centro y norte del país y evaluará su viabilidad.

Esta segunda fase contempla también el proyecto *Utilización de Pronósticos Climáticos en Actividades Agrícolas en Tlaxcala*, con el fin de evaluar un modelo de producción agrícola para definir el tipo más conve-

niente de cultivo para una temporada, analizando las posibles medidas de adaptación aplicables para la agricultura de la entidad y estimar la relación costo-beneficio asociada a la utilización de información climática en la agricultura regional de esta entidad. Este proyecto servirá también como mecanismo de interacción entre los centros de investigación y los productores del campo.