

**Primer Informe
Sobre la
Calidad del Aire
en Ciudades Mexicanas
1996**



INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA
SEMARNAP

CENICA
Centro Nacional de Investigación
y Capacitación Ambiental

M. en C. Julia Carabias Lillo
Secretaria de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca

Ing. Gabriel Quadri de la Torre
Presidente del Instituto Nacional de Ecología

Dr. Adrián Fernández Bremauntz
Director General de Gestión e Información Ambiental

Dr. Victor Hugo Páramo Figueroa
Director de Administración de la Calidad del Aire

Mat. Jorge Martínez Castillejos
Director de Análisis de Datos

La publicación del *Primer Informe sobre la Calidad del Aire en Ciudades Mexicanas* fue realizada con el apoyo del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (CENICA), se terminó de imprimir en los talleres de CENTER PRESS INTERNATIONAL, S.A. DE C.V. el 1 de septiembre de 1997

La edición estuvo a cargo de la Dirección General de Gestión e Información Ambiental del Instituto Nacional de Ecología de la SEMARNAP

Esta publicación se puede consultar en World Wide Web de internet
http://www.ine.gob.mx/documentos/cal_aire/reporte/portada.html

CONTENIDO

Síntesis	5
1. Presentación	11
2. Calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México	25
3. Calidad del aire en la Zona Metropolitana de Guadalajara.....	37
4. Calidad del aire en la Zona Metropolitana de Monterrey	43
5. Calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca.....	51
6. Calidad del aire en Ciudad Juárez.....	57
7. Campañas de monitoreo en otras ciudades	63
8. Análisis comparativo en las tres grandes zonas metropolitanas.....	67
9. Conclusiones sobre la calidad del aire	71
Anexos.....	75

SÍNTESIS

El Instituto Nacional de Ecología (INE) tiene entre sus tareas fundamentales el obtener, reunir y dar a conocer a la población la información del estado que guarda la calidad del aire en la República Mexicana. El presente informe describe y analiza las tendencias de calidad del aire en las zonas metropolitanas de México (ZMVM), de Guadalajara (ZMG), Monterrey (ZMM) y del Valle de Toluca (ZMVT), y presenta información generada en Ciudad Juárez, Ciudad Acuña, Piedras Negras, Monclova, Saltillo, Torreón, Gómez Palacio, Durango, Aguascalientes, Querétaro, Manzanillo, Atasta, en Dos Bocas y Coatzacoalcos, durante 1996. Así mismo, incorpora los inventarios de emisiones de las principales zonas metropolitanas y describe sus programas de mejoramiento de la calidad del aire que fueron dados a conocer recientemente.

Este informe anual es el primero de una serie que elaborará el INE para dar a conocer el estado de la calidad del aire en ciudades del país. El informe es una respuesta a lo establecido en las Normas Oficiales Mexicanas publicadas por la Secretaría de Salud el 23 de diciembre de 1994, que estipulan la evaluación de la calidad del aire ambiente con respecto a ozono, bióxido de azufre, bióxido de nitrógeno, monóxido de carbono, partículas suspendidas totales, partículas menores a 10 micrómetros de diámetro (PM10) y plomo.

Las normas de calidad del aire establecen los niveles máximos permisibles de concentración de contaminantes que protegen la salud de la población en general y también de los grupos más susceptibles, para lo cual se incorpora un margen de seguridad. Las normas son de observancia obligatoria para las autoridades estatales y municipales que tengan a su cargo el desarrollo y la aplicación de los planes o programas de política de calidad del aire.

Los datos presentados en este informe se manejan con base en las normas de calidad del aire, poniendo especial atención a la distribución espacial y temporal de los valores de contaminación que sobrepasan estos parámetros. La calidad del aire a su vez guarda una directa, aunque compleja, relación con el volumen de contaminantes que son emitidos a la atmósfera. Por este motivo se presentan también en el informe los inventarios de emisiones para las ciudades de México, Guadalajara, Monterrey y Toluca, únicos disponibles hasta el momento.

El inventario de emisiones es un instrumento estratégico de gestión ambiental ya que permite identificar quiénes son los agentes productores de contaminación y evaluar el peso específico de cada uno de los sectores. En términos generales, existe una relación entre el volumen de emisión de contaminantes y la calidad del aire en una ciudad, pudiéndose presentar variaciones bruscas en los niveles de contaminación entre un día y otro, debido principalmente a cambios en las condiciones meteorológicas más que a cambios significativos en la emisión de contaminantes de un día a otro.

En conjunto, en la ZMVM se emiten 4 millones de toneladas de contaminantes al año, le sigue Monterrey con casi 2 millones, Guadalajara con 1.4 millones y Toluca con casi medio millón de toneladas anuales. En términos relativos la participación de la industria y los servicios es mayor en Monterrey con un 17% de las emisiones, en la ZMVM es de 13%, en Toluca de 7% y en Guadalajara de 6%. La contribución del sector transporte es del orden del 75% en la ciudad de México y Guadalajara, de cerca del 70% en Toluca y del 50% en Monterrey.

Destaca la contribución mayoritaria de emisiones por el sector transporte y, como resultado de las particularidades de cada ciudad, una participación de la industria y los servicios en mayor o menor proporción dependiendo de la intensidad de sus procesos urbano-industriales. Así mismo, y con base en sus inventarios desagregados, es posible aseverar que los vehículos particulares son los más numerosos dentro del sector transporte y representan la fuente de emisión de contaminantes más importante en estos centros urbanos, reflejando con ello el gran potencial que existe para la ejecución de programas de transporte masivo no contaminante y la importancia que tienen los programas de verificación vehicular como un medio para reducir sus emisiones.

Programas para el mejoramiento de la calidad del aire

Como se mencionó anteriormente, la gestión de la calidad del aire en México se basa primordialmente en el cumplimiento de las normas para la protección de la salud de la población. Para ello, las autoridades de los tres ordenes de gobierno tienen la responsabilidad de elaborar y proponer los planes y programas para la verificación, seguimiento y control de los valores establecidos en las normas.

A la fecha, el Instituto Nacional de Ecología en colaboración con autoridades ambientales estatales y municipales han elaborado: el *Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 1995-2000 (PROAIRE)*; el *Programa de Administración de la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Monterrey 1997-2000 (PACADAMM)*; el *Programa para el Mejoramiento de la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana de Guadalajara 1997-2001*; y el *Programa para el Valle de Toluca 1997-2000 (Aire Limpio)*; se encuentra en desarrollo el de Ciudad Juárez que se dará a conocer a finales de 1997. Los programas establecen los compromisos concretos a los que se sujetan los participantes y se identifican las metas de reducción de las emisiones y los plazos y costos respectivos. A continuación se presentan los principales objetivos de los programas hasta ahora publicados.

El *PROAIRE* busca alcanzar gradualmente menores niveles de contaminación y reducir el número de contingencias anuales como resultado de un abatimiento del 50% de las emisiones de hidrocarburos, 40% de óxidos de nitrógeno y 45% de partículas suspendidas de origen antropogénico. Esto se puede presentar de manera gráfico-estadística como el desplazamiento hacia la izquierda de la media de la distribución de frecuencias del IMECA, pasando de 170 puntos en la actualidad a un nivel de alrededor de 140 puntos, para el año 2000. Además, se espera reducir en un 75% la probabilidad de ocurrencia de contingencias (valores superiores a los 250 puntos). El programa está formado por 94 acciones y proyectos concretos.

Con la aplicación y cumplimiento de las 31 medidas del *PACADAMM* se estima que el porcentaje de días con problemas de calidad del aire en la ZMM pasará de un 18% actual a alrededor del 11%, además se reducirá notablemente la probabilidad de que se alcancen niveles que requieran la aplicación de un programa de respuesta a contingencias ambientales. Se estima que dejarán de emitirse más del 30% de las emisiones de partículas y polvos, cerca del 10% de hidrocarburos y más del 30% de los óxidos de nitrógeno.

El *Programa para el Mejoramiento de la Calidad del Aire en la ZMG* incorpora 32 medidas. Se estima que con su aplicación, el porcentaje de días con problemas de calidad del aire pasará de un 70% actual a alrededor del 50% y el valor promedio del índice IMECA de 125 a 105 puntos, para el año 2001. Además, se reducirá notablemente la probabilidad de que se alcancen niveles de contingencia ambiental. Se estima que dejarán de emitirse cerca del 50% de las emisiones de partículas y de los óxidos de nitrógeno, y alrededor del 25% de hidrocarburos.

Aire Limpio está formado por 6 subprogramas que comprenden 45 proyectos, con cuya aplicación se estima que el porcentaje de días con problemas de calidad del aire en la ZMVT pasará de un 15% actual a alrededor del 10% para el año 2000. Se estima que se reducirán 40% de las emisiones de partículas, 40% de hidrocarburos y 50% de óxidos de nitrógeno.

Calidad del aire en las principales ciudades

La instalación y operación de redes de monitoreo en el país ha avanzado en los últimos años; la ciudad de México, Guadalajara, Monterrey, Toluca y Ciudad Juárez poseen sistemas modernos de medición que permitirán en los próximos años contar con bases de datos abundantes y confiables. Así mismo, se encuentran en su etapa de inicio de operaciones las redes de Tijuana y Mexicali, entre otras. Una característica común a las redes en operación, es que son administradas y operadas por las autoridades locales, permitiéndoles generar la información que requieren para el diseño de sus programas de mejoramiento de la calidad del aire.

De acuerdo a los resultados de los análisis realizados, las ciudades de México y de Guadalajara presentan problemas muy severos de contaminación del aire. La situación de Monterrey, Toluca y Ciudad Juárez es sin duda menos grave, pero puede agudizarse con el tiempo, si no se emprenden acciones para prevenir un mayor deterioro de la calidad del aire.

En la ZMVM se presentan violaciones a alguna de las normas de calidad del aire en cerca del 90% de los días. Esta frecuencia no ha variado sensiblemente en los últimos cuatro años, pero han disminuido los eventos de más de 250 puntos IMECA y los de 300 puntos no se han presentado en los últimos tres años. El ozono es el contaminante que con mayor frecuencia alcanza niveles por arriba de la norma, rebasándola casi en el 90% de los días. En cuanto a frecuencia de excedencias a la norma, las PM10 son el segundo contaminante en importancia, rebasando su norma en un 50% de los días, aunque debe subrayarse que por sus posibles impactos a la salud este contaminante es el de mayor preocupación.

En la Zona Metropolitana de Guadalajara se viola alguna de las normas de calidad del aire en el 70% de los días, presentándose algunos episodios de contaminación de más de 200 y 250 puntos. Al igual que en la ciudad de México, en Guadalajara el ozono es el contaminante que con mayor frecuencia rebasa la norma de calidad del aire (60% de los días); seguido por las partículas menores a 10 micrómetros en algo más del 30% de los días.

En Monterrey la frecuencia de violaciones a alguna de las normas de calidad del aire es cercana al 20% de los días y sólo esporádicamente se presenta un evento de más de 200 puntos IMECA. El contaminante que sobresale son las partículas menores a 10 micrómetros, cuya frecuencia de excedencias a la norma es del 12% de los días del año. Le sigue en segundo término el ozono con un 7% de los días.

En la Ciudad de Toluca la frecuencia con la que se rebasa alguna de las normas de calidad del aire es cercana al 20% de los días, aunque no se han alcanzado los 200 puntos IMECA. El ozono rebasa la norma en un 15% de los días, seguido por el bi-

óxido de nitrógeno, con un 3% de los días. El monitoreo manual de las partículas suspendidas totales indica que la norma se rebasa de vez en cuando.

Ciudad Juárez presenta excedencias significativas a las normas de calidad del aire; aún cuando no se puede precisar la magnitud del problema por falta de información, si se puede aseverar que se exceden frecuentemente las normas de ozono y partículas finas y ocasionalmente la de monóxido de carbono.

Campañas de monitoreo móvil

Con respecto a las mediciones de corta duración efectuadas en otras ciudades, aunque estas deben considerarse como indicativas y no como representativas, pues corresponden a campañas de monitoreo de corta duración, por otro lado permiten detectar condiciones extremas de contaminación y/o vigilar fuentes puntuales que emitan grandes volúmenes de contaminantes.

De los resultados de estas campañas destacan los niveles de ozono en Coatzacoalcos donde se presentó una violación a la norma, y los registrados en las ciudades de Torreón y Querétaro, donde los valores registrados se acercaron mucho a la norma. En cuanto a las partículas fracción respirable estas se manifestaron en Piedras Negras, con un valor sobre la norma, y con valores cercanos a ella en Puebla, Monclova, Torreón, Gómez Palacio, Durango y Dos Bocas.

Estos resultados indican que en lo que se refiere al bióxido de azufre y al monóxido de carbono no se presentan al menos de manera muy preliminar serios problemas en las localidades visitadas y que los niveles que se registran son aun bajos, debido a que el volumen de emisión de contaminantes es pequeño o bien a que existen condiciones favorables para su dilución y dispersión. Por otra parte, en los centros urbano-industriales pudieran presentarse niveles elevados de partículas finas, ozono y bióxido de nitrógeno, producto de las actividades industriales y de las emisiones de los vehículos automotores.

Por ello, resulta de suma importancia el papel que juegan las normas de emisión para la industria y los vehículos, como un medio para regular los aportes de contaminantes de tal forma que se evite rebasar la capacidad de asimilación de las cuencas atmosféricas. Así mismo, es también importante que se refuercen los programas de verificación de las emisiones vehiculares, ya que sin duda alguna, es una de las formas más costo-efectivas de prevenir y reducir las emisiones que en conjunto se producen en los centros urbanos.

Será necesario continuar con la medición de la calidad del aire en los sitios identificados con problemas potenciales de contaminación, ya que, como se mencionó, las campañas que se llevaron a cabo fueron de corta duración y además varias de las localidades se encuentran en una etapa de rápido crecimiento.

Los análisis aquí presentados muestran la alta vulnerabilidad de ciudades como Guadalajara, en donde a pesar de tener tan sólo una quinta parte de los vehículos y una cuarta parte de la industria de la ciudad de México, puede sufrir serios problemas de contaminación si las condiciones meteorológicas son desfavorables.

La calidad del aire promedio o típica de una cuenca atmosférica depende básicamente de las emisiones contaminantes pero puede presentar enormes variaciones de día a día, debido a la variación en los parámetros meteorológicos que determinan la dispersión de dichos contaminantes. Por otro lado, los análisis también muestran la importancia que tiene el contar con un plan de contingencias que incida efectivamente, en reducir las emisiones de los contaminantes.

Los niveles actuales de contaminación en ciudades medias parecen no ser tan agudos como en las zonas metropolitanas. Esto significa que existen oportunidades para que en esas ciudades se desarrollen y apliquen programas de carácter preventivo, con buena viabilidad en el corto plazo y mucho más costo-eficientes que los aplicados de manera correctiva en las grandes zonas metropolitanas, donde la magnitud de los problemas dificulta considerablemente la solución de los mismos.

1. PRESENTACIÓN

Una tarea fundamental del Instituto Nacional de Ecología (INE) consiste en obtener, reunir y dar a conocer a la población la información del estado que guarda la calidad del aire en la República Mexicana.

Este informe anual es el primero de una serie que elaborará el INE para dar a conocer periódicamente los niveles de contaminación del aire en ciudades del país. Para su elaboración se consideraron los datos de las redes de monitoreo con estaciones fijas y los resultados de las campañas de medición que llevó a cabo la unidad móvil del INE en diferentes localidades durante 1996.

El documento presenta la situación de la calidad del aire en las zonas metropolitanas del Valle de México, Guadalajara, Monterrey y del Valle de Toluca, y de Ciudad Juárez, Ciudad Acuña, Piedras Negras, Monclova, Saltillo, Torreón, Gómez Palacio, Durango, Aguascalientes, Querétaro, Manzanillo, Atasta, Dos Bocas y Coatzacoalcos.

La información que aquí se presenta se elaboró a partir de las bases de datos de las redes de monitoreo, proporcionadas al INE por las siguientes dependencias:

- Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación, Secretaría de Medio Ambiente del Departamento del Distrito Federal.
- Comisión Estatal de Ecología del Gobierno del Estado de Jalisco.
- Subsecretaría de Ecología de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Obras Públicas del Gobierno del Estado de Nuevo León.
- Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de México.
- Dirección de Desarrollo Urbano y Ecología del Municipio de Cd. Juárez.

Las bases de datos fueron revisadas, procesadas y analizadas para elaborar las tablas y gráficas que se presentan en este documento y su interpretación, por las áreas de Administración de la Calidad del Aire y de Análisis de Datos, ambas pertenecientes a la Dirección General de Gestión e Información Ambiental del INE. La elaboración de este informe constituye parte del desarrollo del Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire de México, el cual permitirá la consulta ágil y fácil de la información sobre la calidad del aire a través de medios electrónicos y magnéticos.

Normas e índices de calidad del aire

El 23 de diciembre de 1994 la Secretaría de Salud publicó las Normas Oficiales Mexicanas para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto a ozono, bióxido de azufre, bióxido de nitrógeno, monóxido de carbono, partículas suspendidas totales, partículas menores de 10 micrómetros (PM10) y plomo, las cuales se resumen en la tabla siguiente.

Valores normados para los contaminantes

Contaminante	Valores límite		
	Exposición aguda		Exposición crónica
	Concentración y tiempo promedio	Frecuencia máxima aceptable	(Para protección de la salud de la población susceptible)
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 (*)
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 (*)
Partículas fracción respirable (PM10)	150 µg/m ³ (24 horas)	1 vez al año	50 µg/m ³ (*)
Plomo (Pb)	-	-	1.5 µg/m ³ (**)

(*) Promedio aritmético anual

(**) Promedio aritmético de 3 meses

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 se incorpora un margen de seguridad. Las normas son de observancia para las autoridades estatales y municipales que tengan a su cargo el desarrollo y la aplicación de los planes y programas de política ambiental y en particular de calidad del aire. Cabe mencionar que las normas de calidad del aire mexicanas son similares a las de otros países, en particular a las de los Estados Unidos y Canadá.

En nuestro país se ha desarrollado un índice de calidad del aire, el IMECA, que consiste en una transformación de las concentraciones de contaminantes a un número adimensional que indica el nivel de contaminación de una manera fácil de entender. Este tipo de índices se utiliza en todo el mundo, siendo de los más comunes el Pollutant Standard Index (PSI), utilizado por el gobierno de Estados Unidos. Un IMECA de 100 puntos equivale a la norma de calidad del aire para un contaminante determinado y los múltiplos de 100 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 cuando el valor del IMECA se sitúa entre 100 y 200, mala entre 200 y 300 y muy mala por arriba de 300.

Puntos de quiebre del IMECA

IMECA	PST (24hr) µg/m ³	PM10 (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	1.1	31	0.35
400	864	510	0.78	1.6	41	0.48
500	1000	600	1.00	2.0	50	0.60

Aspectos demográficos, urbanos y ambientales de carácter general

Entre las ciudades más pobladas del país se encuentran la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG), la Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM), la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT) y Ciudad Juárez (CJ). A continuación se compara la información existente entre las 5 ciudades en términos de su población, parque vehicular, planta industrial y capacidad instalada para el monitoreo atmosférico.

Comparación de la población, parque vehicular y número de industrias entre la ZMVM, ZMG, ZMM, ZMVT y CJ

	ZMVM	ZMG	ZMM	ZMVT	CJ
Población(1), millones de habitantes	15.4	3.1	2.6	0.8	0.8
Parque vehicular (2)	2,720,000	638,000	645,000	225,000	380,000
Industria grande	1,750	240	660	103	135
Industria pequeña y mediana	33,250	8,260	8,840	2,263	243
Número de estaciones de monitoreo	32	8	5	7	5

1) CONAPO para 1990.

2) 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.

La ciudad de México posee una población 5 veces mayor a la de Guadalajara, 6 veces a la de Monterrey y casi 200 veces a la de Toluca y Ciudad Juárez. Esta megalopolización se refleja también en el tamaño de su parque vehicular,

superior en casi 5 veces al de Guadalajara y Monterrey y de 7 y 11 veces el de Ciudad Juárez y Toluca, respectivamente.

En relación con la actividad industrial, la ZMVM cuenta con un mayor número de industrias grandes, si bien, en términos relativos a la población que soporta, se tienen cerca de 650 industrias por millón de habitantes, valor superior al de Guadalajara que tiene 380 industrias por millón de habitantes e inferior al que se tiene en Monterrey donde existen 1,020 industrias por millón de habitantes. Por otra parte, la cantidad de industrias pequeñas y medianas, que en muchos casos forman parte de las cadenas productivas de la industria grande o apoyan la actividad del sector de servicios y comercio, relativa a la población de estas urbes es muy similar siendo de 12,200 industrias por millón de habitantes en la ZMVM, de 12,900 en la ZMG y de 13,700 en la ZMM.

En la tabla siguiente se muestra un desglose de la composición del parque vehicular, en ella se aprecia la preponderancia que tiene el automóvil particular sobre los otros tipos de vehículos, reflejándose esto en las emisiones contaminantes.

Composición del parque vehicular⁽¹⁾

Tipo de vehículo	ZMVM (%)	ZMG (%)	ZMM (%)	ZMVT (%)	CJ (%)
Autos particulares	1,942,400 (71.4)	443,554 (69.5)	335,518 (52.0)	151,211 (67.0)	375,950 (99.3)
Pick-up	-	149,260 (23.4)	263,000 (40.8)	57,800 (26.0)	-
Taxis	145,800 (5.4)	11,206 (1.8)	17,482 (2.7)	10,145 (4.5)	984 (0.3)
Transporte Pasajeros	51,300 (1.9)	5,989 (0.9)	7,819 (1.2)	3,709 (1.6)	-
Transporte de carga	480,600 (17.7)	28,433 (4.4)	21,000 (3.3)	721 (0.3)	870 (0.2)
Otros	99,900 (3.6)	-	-	1,258 (0.6)	795 (0.2)
Total	2,720,000 (100)	638,442 (100)	644,819 (100)	224,844 (100)	378,599 (100)

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.

El inventario de emisiones es un instrumento estratégico de gestión ambiental ya que permite identificar quiénes son los agentes productores de contaminación y evaluar el peso específico de cada uno de los sectores. En términos generales, existe una relación entre el volumen de emisión de contaminantes y la calidad del aire en una cuenca atmosférica. Sin embargo, debemos recordar que en las grandes ciudades pueden presentarse variaciones bruscas en los niveles de contaminación de un día a otro, debido principalmente a cambios en las condiciones meteorológicas más que a cambios significativos en la emisión diaria de contaminantes.

A continuación se presenta la información disponible del inventario agregado de emisiones para las 5 ciudades y en el Anexo A se incluyen los inventarios desagregados correspondientes a las cuatro zonas metropolitanas.

**Inventario de emisiones de la ZMVM 1994
(ton/año y porcentaje en peso por contaminante)**

	Partículas		SO ₂		CO		NO _x		HC		Total	
	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%
Industria	6,358	1.4	26,051	57.3	8,696	0.4	31,520	24.5	33,099	3.2	105,724	3
Servicios	1,077	0.2	7,217	15.9	948	0.1	5,339	4.2	398,433	38.9	413,014	10
Transporte	18,842	4.2	12,200	26.8	2,348,497	99.5	91,787	71.3	555,319	54.1	3,026,645	75
Suelos y vegetación	425,337	94.2							38,909	3.8	464,246	12
Total	451,614	100.0	45,468	100.0	2,358,141	100.0	128,646	100.0	1,025,760	100.0	4,009,629	100

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.

**Inventario de emisiones de la ZMG 1995
(ton/año y porcentaje en peso por contaminante)**

	Partículas		SO ₂		CO		NO _x		HC		Total	
	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%
Industria	2,687	0.9	6,594	71.9	2,396	0.3	4,175	11.0	4,848	3.4	15,840	2
Servicios	26	0.0	118	1.3	263	0.0	87	0.2	57,241	39.6	58,353	4
Transporte	5,845	1.9	2,461	26.8	895,991	99.7	33,820	88.8	82,318	57.0	1,020,435	73
Suelos	294,304	97.2									294,304	21
Total	302,862	100.0	9,173	100.0	898,650	100.0	38,082	100.0	144,407	100.0	1,393,059	100

Fuente: Gobierno del Estado de Jalisco, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Secretaría de Salud, *Programa para el Mejoramiento de la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana de Guadalajara 1997-2001*, 1997.

**Inventario de emisiones de la ZMM 1995
(ton/año y porcentaje en peso por contaminante)**

	Partículas		SO ₂		CO		NO _x		HC		Total	
	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%
Industria	45,946	6.0	27,997	91.9	3,281	0.3	18,549	36.0	5,578	5.0	101,351	5
Servicios	16	0.0	0	0.0	8	0.0	458	0.0	36,660	29.0	37,142	2
Transporte	5,941	1.0	2,469	8.1	904,473	99.7	34,268	64.0	83,137	66.0	1,030,288	53
Suelos	763,725	93.0									763,725	40
Total	815,628	100.0	30,466	100.0	907,762	100.0	53,275	100.0	125,375	100.0	1,932,506	100

Fuente: Gobierno del Estado de Nuevo León, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Secretaría de Salud, *Programa de Administración de la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Monterrey 1997-2000*, 1997.

**Inventario de emisiones de la ZMVT 1996
(ton/año y porcentaje en peso por contaminante)**

	Partículas		SO ₂		CO		NO _x		HC		Total	
	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%	ton/año	%
Industria	1,253	1.0	8,667	82.4	203	0.1	2,188	10.2	3,406	7.3	15,717	3
Servicios	15	n.s.	206	2.0	159	0.1	62	0.3	16,108	34.7	16,550	4
Transporte	2,396	2.0	1,649	15.6	268,380	99.8	19,139	89.5	26,967	58.0	318,531	68
Suelos	119,711	97.0									119,711	25
Total	123,375	100.0	10,522	100.0	268,742	100.0	21,389	100.0	46,481	100.0	470,509	100

Fuente: Gobierno del Estado de México, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, *Aire Limpio: Programa para el Valle de Toluca 1997-2000*, 1997.

En conjunto, en la ZMVM se emiten 4 millones de toneladas de contaminantes al año, le sigue Monterrey con casi 2 millones, Guadalajara con 1.4 millones y Toluca con casi medio millón. La participación de la industria y los servicios es mayor en Monterrey con un 17% de las emisiones, en la ZMVM es de 13%, en Toluca de 7% y en Guadalajara de 6%. La contribución del sector transporte es del orden del 75% en la ciudad de México y Guadalajara, de cerca del 70% en Toluca y del 50% en Monterrey.

En Ciudad Juárez se elaboró un inventario preliminar en 1995, al cual se incorporó las emisiones de las fuentes industriales y vehiculares, estimándose que el total de fuentes en conjunto emiten 685,300 ton/año de contaminantes, correspondiendo 6% al sector industrial y 94% a los vehículos automotores. En este inventario no se incluyeron las emisiones de los servicios ni de los suelos.

Como se puede apreciar, en estas ciudades existe en general un mayor aporte de emisiones por el sector transporte y, como resultado de las peculiaridades de cada ciudad, una mayor o menor participación de la industria y los servicios dependiendo de la intensidad de sus procesos urbano-industriales. Así mismo, y con base en los inventarios detallados de la ciudad de México, Guadalajara, Monterrey y Toluca, es posible aseverar que los vehículos particulares son muy numerosos y representan la fuente de emisión más importante de dichos centros urbanos, reflejando con ello el gran potencial que existe para la ejecución de programas de transporte masivo no contaminante y la importancia que tienen los programas de verificación vehicular como un medio para reducir sus emisiones.

Programas para mejorar la calidad del aire

De acuerdo con las competencias establecidas tanto en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente como en la Ley General de Salud, la elaboración de programas de calidad del aire incumbe tanto a las autoridades federales como a las estatales y municipales.

Como se mencionó al inicio del capítulo, la gestión de la calidad del aire en México se fundamenta primordialmente en el cumplimiento de las normas para la protección de la salud de la población. En efecto, las normas de calidad del aire, publicada en diciembre de 1994, indican que los valores establecidos en ellas son de observancia para las autoridades federales y locales que tengan a su cargo la vigilancia y evaluación de la calidad del aire, con fines de protección a la salud de la población. Asimismo, establecen que dentro del plazo de 180 días naturales posteriores a su publicación, los gobiernos de las entidades federativas propondrán los planes y programas para la verificación, seguimiento y control de los valores establecidos, para buscar paulatinamente el cumplimiento de los valores establecidos en las normas.

Por lo anterior, la elaboración y ejecución de programas de mejoramiento de la calidad del aire son de responsabilidad compartida, involucrando además, la participa-

ción de otras autoridades a cargo de sectores tales como transporte, energía y desarrollo urbano, entre otros, y, de manera más amplia, a la sociedad civil. Bajo esta óptica, los programas que resultan son de carácter integral y con metas de solución a alcanzarse en el mediano y largo plazos.

A continuación se presenta una síntesis de los programas de calidad del aire de la ZMVM, ZMG, ZMM y ZMVT y el avance en el desarrollo del de Ciudad Juárez.

Zona Metropolitana del Valle de México

En la Zona Metropolitana del Valle de México se han realizados esfuerzos por mejorar la calidad del aire desde hace varios años. En octubre de 1990, se presentó el Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (conocido como PICCA). Este programa tuvo sus mayores logros en el mejoramiento de la calidad de los combustibles, destacando el suministro amplio de una gasolina adecuada para vehículos dotados de convertidor catalítico y la reducción significativa del contenido de azufre en el combustóleo y en el diesel. Más recientemente, en marzo de 1996, se dio a conocer el Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-20001 (PROAIRE).

El PROAIRE tiene como objetivo lograr gradualmente menores niveles de contaminación y tener un menor número de contingencias al año. Este programa incorpora 94 medidas concretas cuya aplicación se espera que elimine el 50% de las emisiones de hidrocarburos, 40% de óxidos de nitrógeno y 45% de partículas suspendidas de origen antropogénico, para el año 2000. Esto se traduce en desplazar hacia la izquierda la distribución de frecuencias del IMECA, logrando que la media de esta distribución se reduzca de 170 puntos en la actualidad a un nivel entre 140 y 150 puntos; y que se abata en un 75% la probabilidad de ocurrencia de contingencias por encima de los 250 puntos, para el año 2000.

Se espera que con la aplicación de las medidas del Programa, prácticamente se duplicará el número de días en que se cumple la norma (100 IMECA). En forma consecuente, se lograrán importantes beneficios para la salud de la población de la ZMVM, especialmente la de niños y grupos sensibles. Tan sólo en épocas invernales, se espera para el año 2000, una disminución de más de 300,000 casos de enfermedades respiratorias agudas. El PROAIRE contempla cuatro metas:

- I. *Industria Limpia*: Reducción de Emisiones en la Industria y Servicios
- II. *Vehículos Limpios*: Disminución de las Emisiones por Kilómetro
- III. *Transporte Eficiente y Nuevo Orden Urbano*: Regulación del Total de Kilómetros Recorridos por Vehículos Automotores

¹ 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.

IV. *Recuperación Ecológica*: Abatimiento de la Erosión.

Las estrategias propuestas en el PROAIRE son las siguientes:

- Mejoramiento e incorporación de nuevas tecnologías en la industria y los servicios
- Mejoramiento e incorporación de nuevas tecnologías en vehículos automotores
- Mejoramiento y sustitución de energéticos en la industria y los servicios
- Mejoramiento y sustitución de energéticos automotrices
- Oferta amplia de transporte público seguro y eficiente
- Integración de políticas metropolitanas (desarrollo urbano, transporte y medio ambiente)
- Incentivos económicos
- Inspección y vigilancia industrial y vehicular
- Información y educación ambientales y participación social.

Conjugando estrategias y metas se genera un juego de 94 instrumentos, acciones y proyectos, entre los cuales destacan, en forma agregada, los que se muestran en la tabla siguiente.

Instrumentos y acciones del PROAIRE

- Nueva normatividad de óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles para la industria y los servicios (incluyendo distribución y uso de gas LP y recuperación de vapores en gasolineras).
- Reingeniería para el control de óxidos de nitrógeno en la termoeléctrica Valle de México y sustitución paulatina de la termoeléctrica Jorge Luque con sistemas de generación más eficientes.
- Normatividad de calidad más estricta para combustibles industriales y de servicios (gas LP, gasóleo y combustóleo).
- Nueva estructura de precios y reordenamiento de mercados de combustibles industriales y de servicios, para favorecer aquellos de mayor calidad ambiental (como el gas natural).
- Utilización de incentivos fiscales vigentes, exenciones arancelarias y nuevos créditos internacionales para financiar la reconversión tecnológica.
- Utilización del Hoy No Circula y Doble No Circula como instrumento de modernización tecnológica del parque vehicular con base en nueva normatividad. Se exentará de ambas restricciones a los vehículos que cumplan con normas muy estrictas de emisión de contaminantes.
- Normas crecientemente estrictas para vehículos nuevos y en circulación.
- Extensión y operación eficiente de los sistemas de verificación vehicular.
- Revisión progresiva de la normatividad para gasolinas.
- Incorporación a mediano y largo plazo de costos ambientales en precios de combustibles automotores.
- Reestructuración y ampliación del transporte público de superficie.

- Ampliación de los sistemas de transporte colectivo no contaminante: metro, trolebuses y trenes elevados.
- Reorganización de los sistemas de tránsito y de operación del transporte público.
- Nuevas políticas de desarrollo urbano tendientes a la eficiencia ambiental, promoviendo la diversificación de los usos del suelo, el reciclaje urbano, la protección de las zonas de conservación ecológica y la revitalización de las áreas centrales.
- Recuperación lacustre en el oriente del Valle de México, reforestación y restauración ecológica en zonas suburbanas.

Los avances del PROAIRE, durante 1996, dados a conocer por la Comisión Ambiental Metropolitana 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 relativos favorable al gas natural, mediante un diferencial de 64% del precio de este 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.
- Licitación de 200 trolebuses de alta tecnología.
- Inicio de campañas de evaluación de vehículos híbridos y eléctricos.
- Firma de convenios de autorregulación con la industria para cumplir con emisiones inferiores a las requeridas por la normatividad.
- Ejecución de estudios y proyectos con fondos del Fideicomiso Ambiental, que incluyen: programa de sistemas de recuperación de vapores en estaciones de servicio, fondo de garantía para modernizar el transporte público de pasajeros, apoyo a rutas metropolitanas para su renovación y mejoramiento, educación ambiental, programas piloto de combustibles alternos y tecnologías limpias, di-

seño y puesta en operación de un sistema de control de calidad para verificación vehicular, auditoría ambiental y fortalecimiento y asistencia técnica a la Comisión Ambiental Metropolitana.

- Continuación de la campaña de vigilancia epidemiológica.
- Acciones de recuperación ecológica en el Valle de México mediante la reforestación.

Zona Metropolitana de Monterrey

El 18 de marzo de 1997, la Semarnap y las autoridades ambientales locales dieron a conocer el *Programa de Administración de la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Monterrey 1997-2000*² (PACADAMM). Este programa, original en su concepción, responde a las necesidades y problemática muy locales de Monterrey e incorpora 31 medidas específicas en los aspectos de ciencia y tecnología, cooperación nacional e internacional, coordinación intersectorial, educación, capacitación y comunicación, gestión ambiental, y prevención y control de la contaminación.

Con la aplicación y cumplimiento de las 31 medidas se estima que el porcentaje de días con problemas de calidad del aire pasará de un 18% actual a alrededor del 11%, además se reducirá notablemente la probabilidad de que se alcancen niveles que requieran la aplicación de un programa de respuesta a contingencias ambientales. Se estima que dejarán de emitirse más del 30% las emisiones de partículas y polvos, cerca del 10% las emisiones de hidrocarburos y más del 30% de los óxidos de nitrógeno.

Entre las principales acciones del PACADAMM se tienen las siguientes:

- Establecer convenios con las pedreras para controlar y reducir las emisiones de partículas.
- Introducir combustibles más limpios para uso industrial y vehicular en el Área Metropolitana de Monterrey.
- Reforzar el Programa de Verificación Vehicular, incluyendo su renovación técnica y administrativa.
- Diseñar e instrumentar el Programa de Respuesta a Contingencias Ambientales.
- Ampliar y reforzar la red de monitoreo atmosférico.
- Establecer convenios con instituciones de educación superior en capacitación, investigación e intercambio de información.
- Desarrollar campañas de educación para la comunidad.
- Formar una Comisión Metropolitana para el Mejoramiento de la Calidad del Aire.
- Constituir un fideicomiso ambiental para la generación de recursos económicos para el PACADAMM.

² Gobierno del Estado de Nuevo León, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Secretaría de Salud, *Programa de Administración de la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Monterrey 1997-2000*, 1997.

- Renovar la flota de transporte público y de flotillas de uso intensivo.
- Crear rutas de autobuses para reducir el uso de vehículos privados y estimular el transporte masivo de pasajeros.
- Establecer mecanismos de integración de políticas metropolitanas de desarrollo urbano, transporte y vialidad, y medio ambiente.
- Promover la ampliación de la red del metro.
- Instrumentar el Sistema de Vigilancia Epidemiológica.
- Establecer convenios con la industria para controlar y reducir emisiones de partículas, precursores de ozono y bióxido de azufre.
- Diseñar e instrumentar campañas de abatimiento de emisiones de partículas por acción del viento sobre superficies erosionadas.
- Desarrollar esquemas voluntarios de autorregulación industrial y comercial.
- Diseñar e instrumentar un programa de reconocimiento público por la promoción y ejecución de acciones de mejoramiento de la calidad del aire.

Zona Metropolitana de Guadalajara

La Semarnap en coordinación con las autoridades estatales y municipales y con los sectores empresarial, académico y no gubernamental elaboró el *Programa para el Mejoramiento de la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana de Guadalajara 1997-2001*³, que se dio a conocer el 2 de abril de 1997.

Con la aplicación de las 32 medidas descritas en el Programa, se estima que el porcentaje de días con problemas de calidad del aire pasará de un 70% actual a alrededor del 50%, y el valor promedio del índice IMECA de 125 a 105 puntos, para el año 2001. Además, se reducirá notablemente la probabilidad de que se alcancen niveles de contingencia ambiental. Se estima que dejarán de emitirse cerca del 50% de las emisiones de partículas y de óxidos de nitrógeno, y alrededor del 25% de las emisiones de hidrocarburos, siendo estos dos últimos contaminantes, los principales precursores de la formación de ozono.

Entre las principales medidas del Programa se tiene:

- Revisar y actualizar el Programa de Contingencias Ambientales.
- Establecer convenios con la industria para controlar y reducir emisiones de precursores de ozono.
- Introducir combustibles más limpios para uso industrial y vehicular en la Zona Metropolitana de Guadalajara.
- Ampliar y modernizar el Programa de Afinación Controlada, aplicando la normatividad.

³ Gobierno del Estado de Jalisco, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Secretaría de Salud, *Programa para el Mejoramiento de la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana de Guadalajara 1997-2001*, 1997.

- Limitar el asentamiento de nuevas industrias potencialmente contaminantes.
- Controlar las emisiones de partículas y bióxido de azufre en industrias altamente contaminantes.
- Mejorar los procesos de combustión e instalar sistemas de control de combustión en establecimientos industriales y de servicios.
- Formar un grupo de trabajo con el sector industrial para promover la adopción voluntaria de esquemas de autorregulación.
- Promover la instalación de equipos para la recuperación de vapores en terminales de recibo y distribución de combustibles y gasolina.
- Fortalecer la inspección y vigilancia de establecimientos industriales y de servicios.
- Diseñar un sistema de intercambio de emisiones mediante la coordinación de las autoridades federales y estatales.
- Promover el reordenamiento y la renovación del transporte colectivo con unidades de baja emisión de contaminantes.
- Promover la conversión de flotillas de camiones de carga y transporte público de pasajeros a gas natural comprimido, incorporando convertidores catalíticos.
- Mejorar vialidades, la semaforización, los estacionamientos y evaluar el establecimiento de carriles confinados para el transporte público de superficie.
- Reordenar y modernizar el transporte público de superficie para reducir el uso de vehículos privados y estimular el transporte masivo.
- Intensificar los programas de pavimentación de calles y avenidas para reducir las emisiones de partículas.
- Fortalecer el Sistema de Vigilancia Epidemiológica de la ZMG.
- Llevar a cabo estudios de monitoreo microambiental y de exposición a contaminantes.
- Convenir con las instituciones de investigación la elaboración de estudios para comprender el comportamiento del ozono y las partículas suspendidas en la ZMG.
- Reforzar la red de monitoreo atmosférico.
- Diseñar e implantar programas de formación y capacitación en cultura ecológica.
- Crear una Comisión para la prevención y control de la contaminación atmosférica de la ZMG que se encargue de la evaluación y seguimiento del cumplimiento de las acciones del Programa.
- Establecer un programa de reforestación de la ZMG y su área ecológica de influencia.

Zona Metropolitana del Valle de Toluca

Al igual que otras metrópolis de nuestro país, la ZMVT ha experimentado un acelerado crecimiento. Aunque no es una zona considerada como crítica, en 1996 rebasó la norma de ozono en 53 días, lo que corresponde al 15% de los

días del año. *Aire Limpio: Programa para el Valle de Toluca 1997-2000*⁴, dado a conocer el 10 de junio de 1997, es un esfuerzo coordinado de los gobiernos federal, estatal y municipales, del sector productivo y de la sociedad en general.

Con la aplicación de 6 subprogramas que comprenden 45 proyectos descritos en el Programa, se estima que el porcentaje de días con problemas de calidad del aire pasará de un 15% actual a alrededor del 10%, para el año 2000. Se estima que se reducirán 40% de las emisiones de partículas, 40% de hidrocarburos y 50% de óxidos de nitrógeno.

Los objetivos específicos de *Aire Limpio* son:

- Reducir las emisiones contaminantes por kilómetro recorrido en vehículos automotores.
- Reducir las emisiones provenientes de la industria, de establecimientos comerciales y de servicio.
- Desarrollar mecanismos de coordinación interinstitucional para el diseño de políticas sectoriales con carácter metropolitano que permitan la integración de la planeación ambiental y urbana con el objeto de lograr el desarrollo sustentable de la ZMVT en el corto, mediano y largo plazo.
- Fortalecer la conciencia ciudadana sobre la importancia de su participación en las acciones de protección al ambiente.

Entre las principales medidas que incluye el Programa se tienen las siguientes:

- Actualización del programa de verificación vehicular adoptando los límites estrictos establecidos en la NOM-041-ECOL-1997.
- Modernización del transporte público.
- Eliminación del suministro de gasolina con plomo y proveer gasolinas con características similares a las establecidas en la NOM-086-ECOL-1994 para zonas metropolitanas.
- Promoción del uso de combustibles menos contaminantes en la industria
- Ordenamiento ecológico de la ZMVT y su zona de influencia.
- Observar el cumplimiento de la NOM-085-ECOL-1994 en industria, comercios y servicios.
- Fomento al sistema de transporte institucional y de personal.
- Desarrollo de infraestructura vial y mejora de las condiciones de vialidad en zonas críticas.
- Control de emisiones fugitivas por almacenamiento y distribución de gas LP
- Autorregulación y auditoría ambiental.
- Control de emisiones en ladrilleras y hornos de alfarería.

⁴ Gobierno del Estado de México, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. *Aire Limpio: Programa para el Valle de Toluca 1997-2000*, 1997.

- Recuperación de vapores en estaciones de servicio.
- Restauración de bancos de material.
- Creación de áreas verdes en zonas urbanas y reforestación de zonas urbanas y rurales.
- Pavimentación urbana.
- Preservación de áreas naturales protegidas y creación de reservas territoriales.
- Elaboración de los programas municipales de protección al ambiente.
- Actualización del Plan Metropolitano de Toluca.
- Plan Maestro de Transporte Público.
- Creación del sistema permanente de evaluación epidemiológica.
- Educación y capacitación ambiental y atención a la denuncia ciudadana.
- Fortalecimiento del Consejo Consultivo de Protección al Ambiente y de los Consejos Municipales de Protección al Ambiente.
- Creación de un laboratorio ambiental en el Estado.
- Programa de contingencias ambientales.

Ciudad Juárez

Las actividades de mejoramiento de la calidad del aire en Cd. Juárez se han venido realizando dentro del marco del Acuerdo de la Paz firmado por México con los EUA en 1983. Los esfuerzos se han dirigido al establecimiento de sistemas de monitoreo y a estudios que permitan comprender el complejo fenómeno que se produce por las emisiones en la cuenca atmosférica binacional de Ciudad Juárez, Chihuahua-El Paso, Texas-Condado de Doña Ana, Nuevo México.

En 1996, se creó un Comité Consultivo Conjunto binacional, formado por representantes de la sociedad civil y de los gobiernos federales y locales, el cual es único en su género a escala internacional, ya que de manera explícita y formal permite la participación activa de representantes de los sectores productivo y social en los procesos de definición y ejecución de los programas de control de la contaminación. El Comité proporciona recomendaciones al Grupo Binacional de Calidad del Aire y como producto de las sesiones llevadas a cabo, se han recomendado acciones específicas que están siendo analizadas; ellas se refieren a la verificación vehicular, a la divulgación de información de la calidad del aire, a los créditos en reducciones de emisiones, a la reducción de las emisiones en los puentes aduanales y al suministro de gasolinas oxigenadas durante el invierno entre otras.

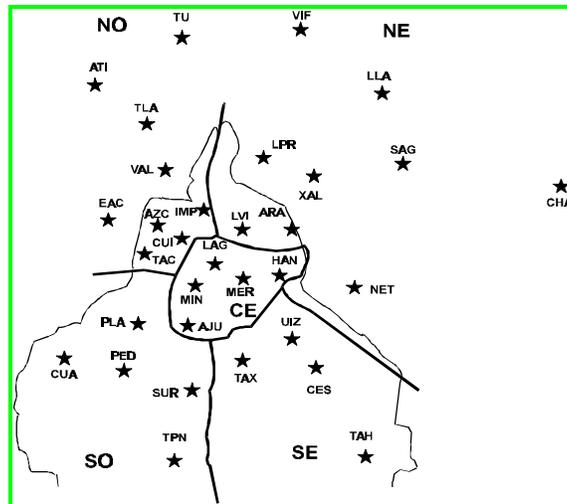
En el aspecto técnico, se han iniciado una serie de estudios de campo que permitirán el modelaje de la calidad del aire de la región con el fin de identificar de manera precisa a las fuentes y la reducción de emisiones que serán necesarias para cumplir con las normas de calidad del aire. Se estima que durante 1997, se elaborará el *Programa para el Mejoramiento de la Calidad del Aire de Cd. Juárez*, dicho Programa será integrado con las aportaciones de los sectores de la sociedad y con la concurrencia de las autoridades de los tres ordenes de gobierno.

2. CALIDAD DEL AIRE EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO

Red de monitoreo de la calidad del aire

El Sistema de Monitoreo Atmosférico de la ZMVM actualmente consta de dos redes, una manual con 19 estaciones para el muestreo y la determinación de partículas suspendidas totales, además, en cinco se muestrean tanto partículas suspendidas de fracción respirable como PM10 y formaldehído; la otra parte del sistema es la Red Automática, con 32 estaciones de monitoreo atmosférico, 10 estaciones micrometeorológicas, una torre meteorológica, un radar acústico y una ecosonda.

Distribución del sistema de monitoreo atmosférico de la ZMVM

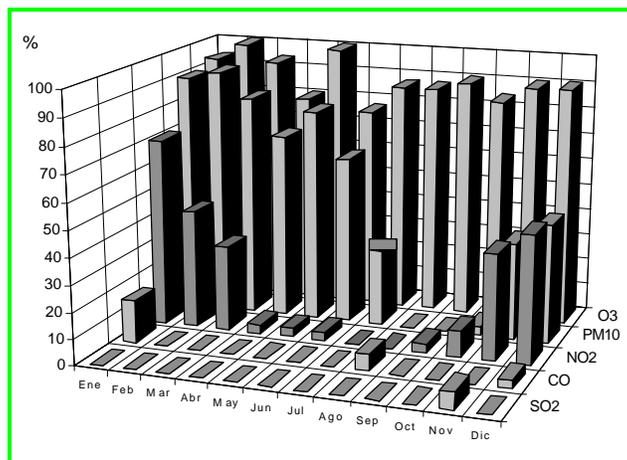


Estación	Clave	Estación	Clave	Estación	Clave
Vallejo	VAL	La Villa	LVI	Santa Úrsula	SUR
Tacuba	TAC	San Agustín	SAG	Pedregal	PED
ENEP-Acatlán	EAC	Xalostoc	XAL	Plateros	PLA
Azcapotzalco	AZC	Aragón	ARA	Cuajimalpa	CUA
Tlalnepantla	TLA	Netzahualcóyotl	NET	Tlalpan	TPN
I.M.P.	IMP	Chapingo	CHA	Cerro de la Estrella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

Evolución de la calidad del aire

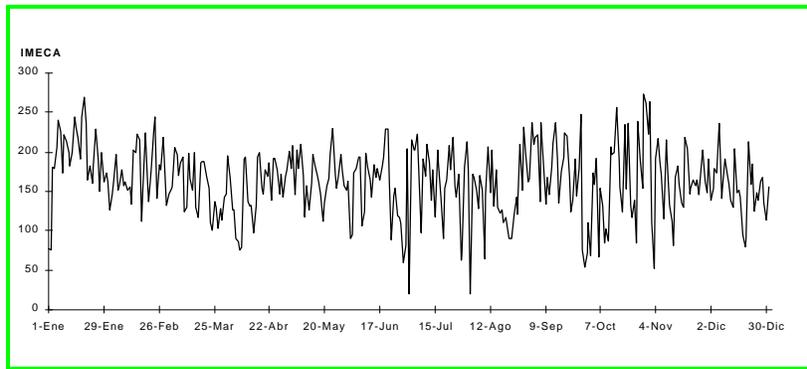
A continuación se presentan una serie de gráficas y tablas que nos permiten evaluar el comportamiento de la calidad del aire en los últimos años, para el período enero a diciembre. La Gráfica 1, muestra el porcentaje de días en que se rebasaron las normas de calidad del aire para los contaminantes criterio durante el último año. En esta gráfica resalta el hecho de que las excedencias a la norma de ozono ocurren en cuando menos el 75% de los días de todos los meses analizados. Por su parte, las partículas finas también muestran una alta frecuencia de violaciones durante los primeros seis meses, que disminuyen considerablemente a partir de julio debido al inicio de la época de lluvias. El otro contaminante que resulta de interés es el bióxido de nitrógeno, que rebasó la norma, sobre todo durante los meses de invierno, pero también disminuyó sus concentraciones en los meses restantes. Los factores determinantes de los niveles elevados de ozono, bióxido de nitrógeno y partículas PM10 se analizan en la descripción de tendencias de cada uno de ellos que se presentan más adelante.

Gráfica 1. Porcentaje de días con violaciones a las normas por contaminante y por mes en la ZMVM en 1996



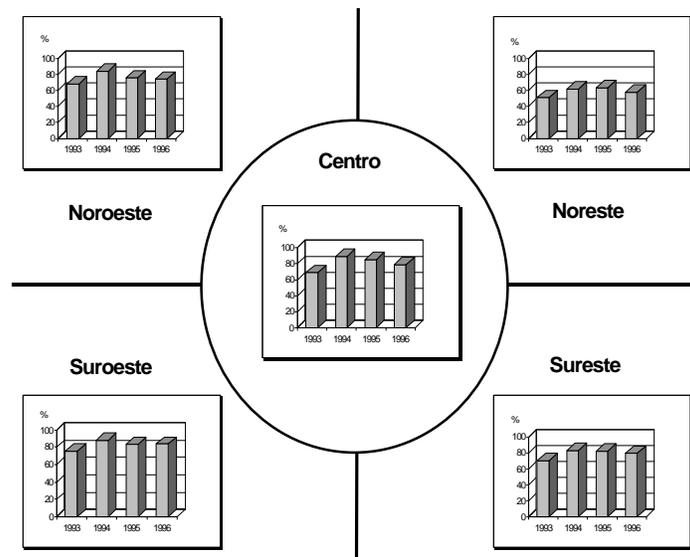
A fin de mostrar las tendencias generales de la contaminación del aire en la ciudad de México, la Gráfica 2 presenta el valor máximo diario del IMECA para los doce meses del último año. Un hecho destacable es que en términos generales, 1996 fue un año donde los picos de ozono (200 puntos IMECA y superiores) se siguen presentado frecuentemente.

Gráfica 2. IMECA máximo diario en la ZMVM (enero-diciembre 1996)



El diagrama siguiente muestra el porcentaje de días en que se han rebasado las normas de calidad del aire en cada una de las cinco zonas de la ciudad durante los últimos cuatro años.

Gráfica 3. Porcentaje de días en que se rebasa alguna norma de calidad del aire por zona y por año en la ZMVM



Del diagrama podemos concluir que si bien el problema de contaminación del aire se extiende en toda el área de la ZMVM, éste es menos severo en la zona noreste. Adicionalmente, puede inferirse, que no ha habido grandes cambios en los últimos cuatro años en cuanto a las tendencias de distribución espacial de la contaminación atmosférica.

A fin de complementar esta información, a continuación se presenta una tabla que muestra el número de días en que se rebasaron diferentes niveles IMECA en la ZMVM.

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

	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
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

Para 1996, se puede observar un pequeño incremento en el número de días en que se rebasaron las normas con respecto al año precedente; para los niveles IMECA 150 y 200, se presenta una disminución significativa en el número de días de excedencias y para el nivel 250, se tuvieron dos días menos.

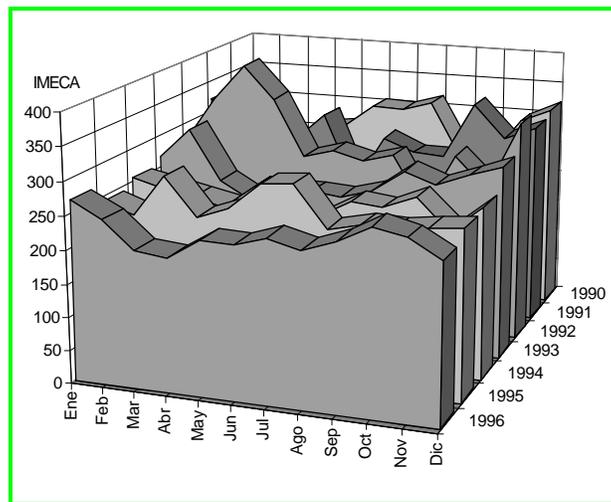
Efectuando el mismo análisis para el ozono, ver tabla siguiente, se tiene que el número de días con IMECA superior a la norma fue prácticamente el mismo en 1996 y en 1995 (89% de los días), presentándose una disminución en los valores superiores a los 200 y 250 puntos; en este último caso, en 1996 se tuvieron dos días menos que en 1995, alcanzándose el valor de contingencia en 5 ocasiones.

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

	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
1990	93% (338)	64% (235)	26% (94)	8% (28)	1% (4)
1991	96% (350)	78% (284)	44% (162)	15% (56)	2% (7)
1992	90% (329)	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)	27% (100)	1% (4)	0
1995	89% (325)	72% (263)	26% (94)	2% (7)	0
1996	89% (327)	64% (235)	19% (71)	1% (5)	0

La Gráfica 4, muestra el comportamiento histórico de los IMECA máximos mensuales de ozono de 1990 a 1996, apreciándose una disminución en la magnitud de los valores extremos de este contaminante en los últimos años; sin embargo, los valores máximos mensuales siguen estando por arriba de los 200 puntos IMECA.

Gráfica 4.
IMECA máximo mensual de ozono en la ZMVM



Se suelen usar diferentes técnicas para analizar la evolución histórica de la contaminación ambiental. Algunas se basan en la frecuencia de las excedencias sobre los niveles establecidos de calidad del aire, otras se fundamentan en el valor promedio de los máximos diarios. Las técnicas que se basan en las excedencias tienen una relación directa con los efectos en la salud. Por otra parte, las técnicas que se fundamentan en valores promedios proporcionan una idea cuantitativa del avance alcanzado en el control de la contaminación. A continuación se usan ambas técnicas para el caso del ozono en la ZMVM para el que se cuenta con una serie de 11 años de información. El problema principal que se enfrenta al estudiar las tendencias es el efecto que las condiciones meteorológicas tienen en la formación de ozono, sin embargo, cuando se dispone de una larga historia puede inequívocamente establecerse la tendencia.

En la tabla siguiente, se lista el valor promedio anual de los niveles máximos diarios de ozono en cinco de las estaciones de la red de monitoreo y en la Gráfica 5, se pueden apreciar las tendencias de la concentración de este contaminante en la atmósfera.

Valor promedio anual de los niveles máximos diarios de ozono en cinco de las estaciones de la RAMA (ppm)¹

Año	Tlanepantla	Xalostoc	Merced	Pedregal	Cerro de la Estrella
1986	0.067	0.082	0.065	0.158	0.090
1987	0.088	0.063	0.116	0.140	0.098
1988	0.113	0.092	0.125	0.171	0.096
1989	0.112	0.096	0.101	0.135	0.103
1990	0.118	0.085	0.142	0.179	0.122
1991	0.156	0.125	0.168	0.193	0.153
1992	0.133	0.119	0.147	0.160	0.135
1993	0.120	0.112	0.140	0.159	0.125
1994	0.125	0.113	0.149	0.160	0.125
1995	0.115	0.109	0.136	0.161	0.125
1996	0.113	0.089	0.115	0.157	0.115

El año con los mayores índices de ozono fue sin duda alguna 1991. Al comparar los niveles promedio de 1996 con respecto al año de mayor índice de ozono, se observa que se han logrado reducciones de 28, 29, 32, 18 y 25 por ciento, en las estaciones de Tlanepantla, Xalostoc, Merced, Pedregal y Cerro de la Estrella, respectivamente. No obstante que las cinco estaciones se encuentran en la misma cuenca, conviene hacer notar que las reducciones observadas, a excepción de Pedregal, son del mismo orden de magnitud, mientras que la reducción registrada en la estación de Pedregal es menor. Es interesante observar, además cierto paralelismo en las tendencias a la baja de ozono entre las 5 estaciones, lo cual es indicativo que las acciones de control de los precursores de ozono han tenido un efecto positivo en todo el Valle.

A continuación se presentan tres tablas; la primera se refiere a la frecuencia con la cual se excede la concentración de ozono de 0.220 ppm (200 IMECA), la segunda contiene el número de excedencias sobre el actual nivel de contingencia de 250 IMECA, correspondiente a 0.275 ppm, y la tercera presenta las excedencias sobre el nivel de 0.330 ppm (300 IMECA). Los datos correspondientes a 1986 y 1987 no se tomaron en cuenta, dado que el número total de días con medición registrada fue menor a 300.

¹ Esta tabla y las tres que le siguen, así como la Gráfica 5 y las interpretaciones de las mismas son tomadas de *Garfías y García-Moreno (1997), "El ozono en el Valle de México". Reporte interno del Instituto Nacional de Ecología.*

**Número de días que se excede el nivel de 0.220 ppm (200 IMECA)
de ozono en 5 estaciones de la RAMA**

Año	Tlanepantla	Xalostoc	Merced	Pedregal	Cerro de la Estrella
1988	7	4	19	90	1
1989	7	0	5	20	1
1990	16	0	18	95	6
1991	50	9	66	111	37
1992	27	9	46	60	13
1993	18	3	14	58	5
1994	15	0	15	65	6
1995	17	5	16	57	10
1996	8	1	2	56	3

**Número de días que se excede el nivel de 0.275 ppm (250 IMECA)
de ozono en 5 estaciones de la RAMA**

Año	Tlanepantla	Xalostoc	Merced	Pedregal	Cerro de la Estrella
1988	2	2	3	18	0
1989	1	0	1	4	0
1990	3	0	2	28	0
1991	8	1	21	49	7
1992	2	0	12	18	0
1993	2	0	1	13	1
1994	3	0	0	15	0
1995	1	1	1	9	0
1996	0	1	0	7	0

**Número de días que se excede el nivel de 0.330 ppm (300 IMECA)
de ozono en 5 estaciones de la RAMA**

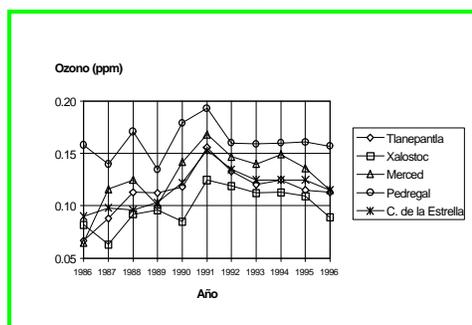
Año	Tlanepantla	Xalostoc	Merced	Pedregal	Cerro de la Estrella
1988	2	1	0	5	0
1989	1	0	1	1	0
1990	0	0	1	5	0
1991	1	0	3	14	0
1992	0	0	4	6	0
1993	1	0	1	2	0
1994	0	0	0	0	0
1995	0	0	0	1	0
1996	0	0	0	0	0

Puede observarse en estas tablas, que 1991 fue el año en que se registró el mayor número de excedencias sobre 200, 250 y 300 IMECA, lo cual muestra cierta correspondencia entre el criterio de índice promedio anual y el de número de excedencias anuales. Sin embargo, cuando se compara el porcentaje de reducción en el nivel promedio anual del contaminante contra el porcentaje de reducción en el número de excedencias, la última técnica rinde resultados más optimistas. Por ejemplo, al analizar los datos de ozono de Pedregal de 1996 en comparación con 1991, se obtiene una reducción de 18% en el nivel promedio anual y una reducción de 50% en el número de excedencias sobre el nivel de 200 IMECA, de 86% sobre el nivel de 250 IMECA y de 100% con respecto al

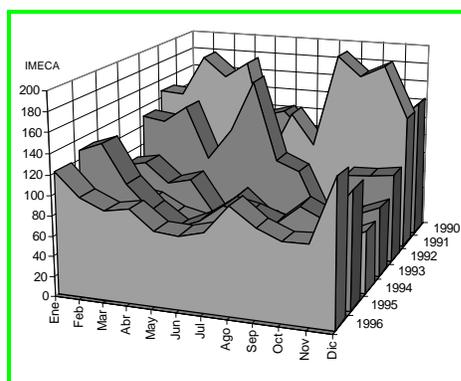
nivel de 300 IMECA. Las cifras anteriores indican que aún un pequeño porcentaje de reducción en el promedio anual del nivel de un contaminante se traducirá en un considerable efecto benéfico en la salud.

Con relación al monóxido de carbono, el número de días de excedencia a la norma en 1996 fue de 8. En la Gráfica 6, se puede apreciar además que los máximos mensuales únicamente rebasaron la norma en los meses de enero, agosto y diciembre; el valor máximo en este último fue cercano a los 160 puntos IMECA. Se identifica una cierta tendencia a que los valores máximos sean más elevados en los meses invernales.

Gráfica 5.
Nivel promedio anual de los máximos diarios de ozono en 5 estaciones de la RAMA



Gráfica 6.
IMECA máximo mensual de CO en la ZMVM

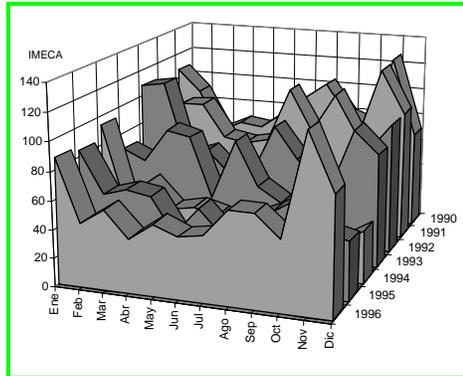


En el mes de noviembre de 1996, después de varios años consecutivos de haberse cumplido la norma de bióxido de azufre, se presentaron valores por arriba de los 100 puntos IMECA para este contaminante en dos ocasiones (ver la Gráfica 7), esto ocurrió como resultado de una situación inesperada de desabasto de gas que orilló a la quema de combustóleo en una de las plantas termoeléctricas. El valor máximo alcanzado es de una magnitud similar a los que se presentaban, por ejemplo, en 1990 o 1991, es decir, cercano a los 140 puntos IMECA. En situación normal este contaminante no rebasa el valor de su norma, siendo sus valores máximos de 70 a 90 puntos IMECA.

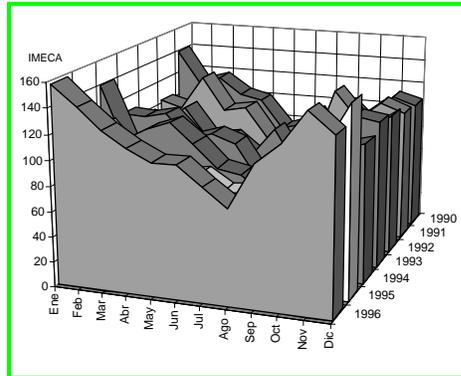
Como se puede apreciar en la Gráfica 8, el bióxido de nitrógeno rebasó el valor de su norma en 10 de los 12 meses del año pasado, frecuencia superior a todos los años a partir de 1990. En 1996, se rebasó la norma en 80 días, 22% de los días del año, en comparación con 33 días en 1990 y 36 días en 1995. Los valores más elevados (del orden de 160 puntos IMECA) tienden a presentarse durante el invierno. El incremento observado de los niveles de NO₂ pudiera deberse a algunos factores como es la verificación de los vehículos, que no contempló en un inicio la medición y limitación de emisiones de los óxidos de nitrógeno, permitiendo con ello que tendieran a bajar las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos, incremen-

tándose las de óxidos de nitrógeno en los vehículos sin convertidor catalítico de tres vías. Esta situación ha generado la revisión inmediata del proceso de verificación con la finalidad de incorporar un valor máximo permisible de emisión de óxidos de nitrógeno.

Gráfica 7.
IMECA máximo mensual de SO₂ en la ZMVM



Gráfica 8.
IMECA máximo mensual de NO₂ en la ZMVM



Con el fin de observar la tendencia histórica de las concentraciones de las partículas suspendidas totales (PST), la tabla siguiente muestra el porcentaje de muestreos fuera de norma obtenidos de la red manual de 1988 a 1996. En ella se puede observar un claro decremento en este porcentaje, situándose en los últimos años en valores alrededor del 15%.

**Porcentaje de muestreos fuera de norma
Red manual de 1988 a 1996**

Año	PST
	Porcentaje
1988	39.8
1989	29.9
1990	45.1
1991	61.5
1992	46.9
1993	16.1
1994	13.2
1995	15.6
1996	14.1

La Gráfica 9, compara los máximos mensuales de los valores IMECA de las partículas menores a 10 micrómetros para 1996 y 1995; en éste último se inició el monitoreo automático continuo, ya que con anterioridad se efectuaba de forma manual, por períodos de 24 horas y una vez por semana. Se puede ver que en 1996, en 10 de los 12 meses del año se rebasa el valor de la norma y que en algunos de ellos se sitúa alrededor de los 175 puntos IMECA. En general los valores

sitúa alrededor de los 175 puntos IMECA. En general los valores de 1996 fueron superiores a los de 1995, reflejándose en el número y porcentaje en que se rebasó la norma de calidad del aire, pasando de 98 días en 1995 (27% de los días) a 182 días en 1996 (50% de los días), es decir a casi el doble (ver tabla siguiente).

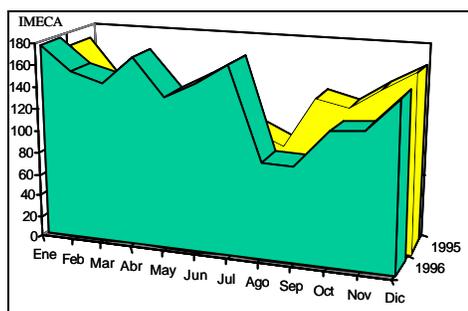
Porcentaje y número de días por encima de los 100, 150, 200, 250 y 300 puntos IMECA de PM10 en la ZMVM de 1995 y 1996

	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
1995	27% (98)	1% (3)	0	0	0
1996	50% (182)	6% (21)	0	0	0

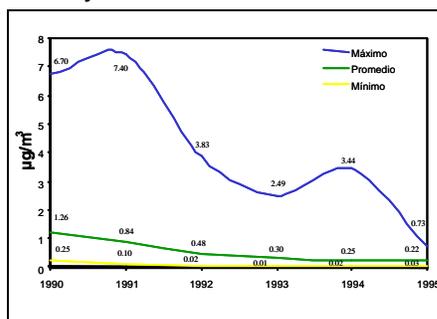
Debido a que únicamente se cuenta con dos años de información de monitoreo continuo, y sin contar aún con una evaluación estadística completa que incluya el análisis de las variables meteorológicas, sería aventurado ofrecer una explicación definitiva de las causas de este incremento. Por otro lado, pudieron haberse presentado ciertos problemas de calibración y operación de los equipos en los dos años considerados. Lo anterior se desprende del hecho de que mientras las concentraciones de PM10 de 1995 y 1996 difieren en casi un 50%, las concentraciones de las partículas suspendidas totales para los mismos años se mantienen prácticamente en los mismos niveles. Si bien la fracción PM10 constituye sólo una parte del volumen total de PST, es lógico esperar una correlación entre los niveles de ambos tipos de partículas.

Finalmente, la Gráfica 10 muestra el comportamiento histórico de los niveles de plomo. Se aprecia su reducción significativa a partir del año en que se redujo su contenido en las gasolinas distribuidas en la ZMVM, manteniéndose permanentemente por abajo de norma a partir de 1995.

Gráfica 9. IMECA máximo mensual de PM10 en la ZMVM



Gráfica 10. Concentración máxima, promedio y mínima anual de Pb en la ZMVM



Conclusiones

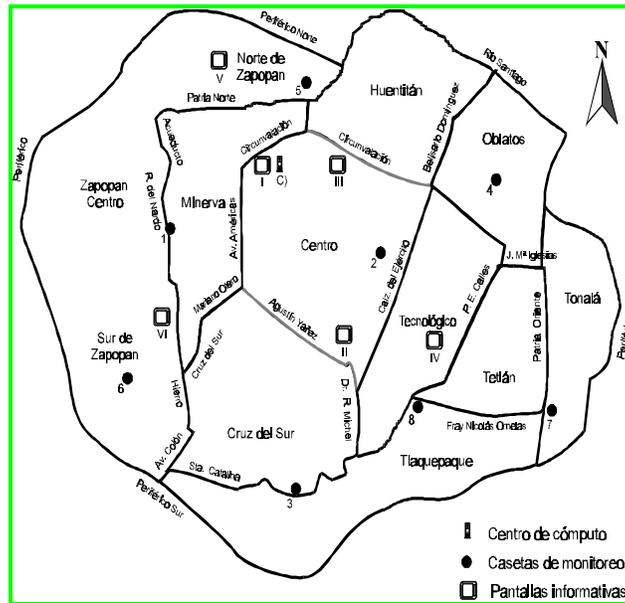
- En 1996, en la ZMVM se rebasó alguna de las normas de calidad del aire en el 91% de los días (333 días), ocurriendo 71 eventos (19% de los días) de más de 200 puntos IMECA y 5 eventos de más de 250 puntos. Por tercer año consecutivo, no se rebasaron los 300 puntos IMECA para ningún contaminante.
- La frecuencia de excedencias a la norma de ozono fue del 89% de los días (327 días) y en el 20% de ellos se duplicó el valor de su norma. Las excedencias se presentaron en cuando menos el 75% de los días de cada mes.
- El número de excedencias a la norma de partículas menores a 10 micrómetros fue de 182 días (50% de los días) y no se presentaron eventos de más de 200 puntos IMECA.
- El bióxido de nitrógeno rebasó los 100 puntos IMECA el 22% de los días del año. Los valores más elevados son de casi 160 puntos IMECA.
- Salvo por la situación extraordinaria de desabasto de gas que orilló a una de las termoeléctricas a quemar combustóleo y propició que el bióxido de azufre rebasara su norma dos días, en situación normal este contaminante no presenta violaciones a la norma de calidad del aire, tal y como ha ocurrido en los últimos tres años.
- El monóxido de carbono rebasó la norma en 8 días, con un valor máximo cercano a los 160 puntos IMECA.
- El plomo cumple con la norma de calidad del aire desde 1995.

3. CALIDAD DEL AIRE EN LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

Red de monitoreo de la calidad del aire

En el año de 1993, se instaló y se llevaron a cabo las pruebas de operación de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico, la cual está integrada por ocho estaciones distribuidas en cinco zonas de la ciudad. Cada estación cuenta con monitores para medir los contaminantes criterio que definen la calidad del aire así como variables meteorológicas. La red empezó a funcionar en 1994, aunque tuvo problemas de operación durante algunos meses en 1995 para los cuales no existe información. Debido a ello, los análisis que se presentan a continuación consideran únicamente los años de 1994 y 1996.

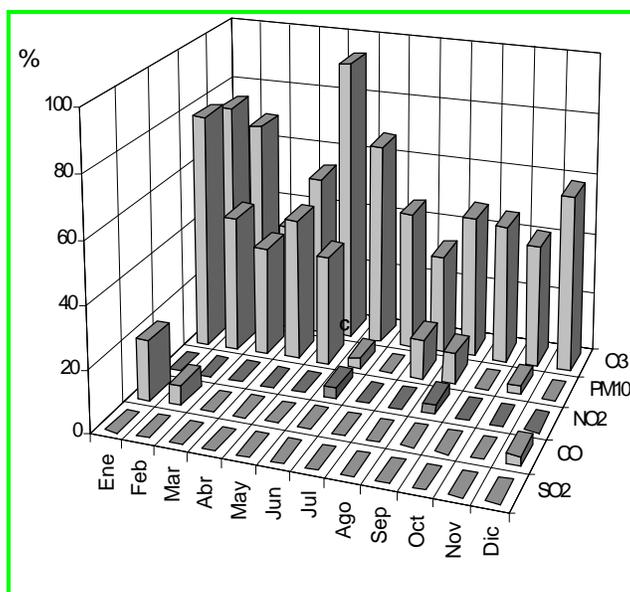
Distribución del sistema de monitoreo atmosférico de la ZMG



Evolución de la calidad del aire

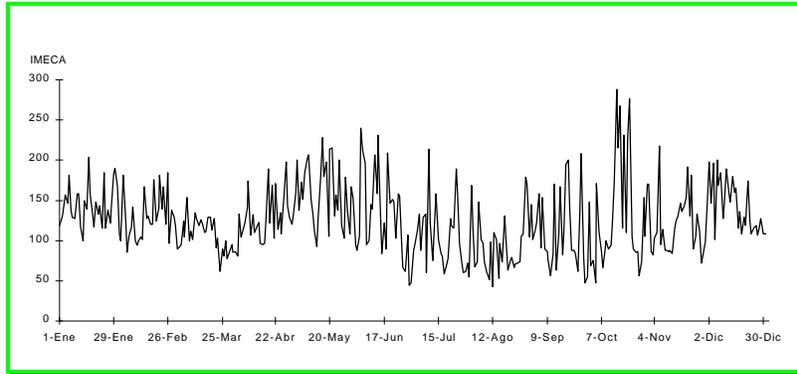
En la Gráfica 1, se muestra el porcentaje de días en que se han rebasado las normas de calidad del aire para los contaminantes criterio en 1996. Al igual que en la ZMVM, el contaminante que con mayor frecuencia rebasa la norma de calidad del aire es el ozono, llegando a alcanzar un valor de más del 90% de los días durante el mes de mayo. Coincidentemente con el caso de la ZMVM, en Guadalajara también son las PM10 la segunda causa de preocupación pues durante los primeros cinco meses del año se rebasó la norma para este contaminante en más del 40% de los días, siendo de casi el 80% en enero. En este período no se rebasó la norma de bióxido de azufre y sólo ocasionalmente la del bióxido de nitrógeno, mientras que la de monóxido de carbono se rebasó en ocasiones durante los meses de enero, febrero y diciembre.

Gráfica 1. Porcentaje de días con violaciones a las normas por contaminante en la ZMG en 1996.

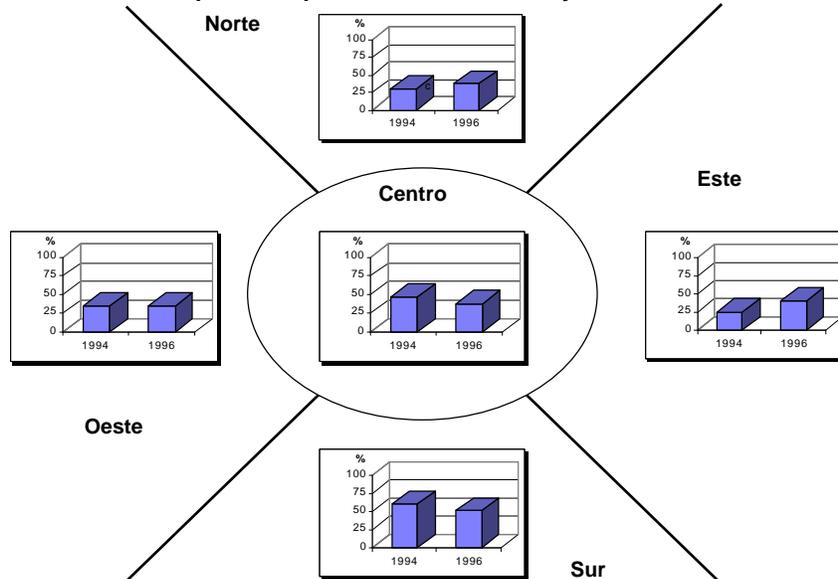


La Gráfica 2 presenta los valores IMECA máximos diarios en Guadalajara de enero a diciembre de 1996, destacándose que en este año se registraron niveles IMECA superiores a los 200 puntos, en particular durante mayo, junio y octubre; los valores más elevados se presentaron en este último mes.

Gráfica 2. IMECA máximo diario en la ZMG en 1996



Gráfica 3. Porcentaje de días en que se rebasa alguna norma de calidad del aire por zona para los años de 1994 y 1996 en la ZMG



En la Gráfica 3, se muestra el porcentaje de días en que se han rebasado las normas de calidad del aire en cada una de las cinco zonas de la ciudad en 1994 y 1996. Se puede apreciar que la zona sur de Guadalajara es la que ha presentado problemas de contaminación con mayor frecuencia, registrando violaciones a las normas en más del 65% de los días en 1994 y de 50% en 1996. También se aprecia que en Guadalajara la contaminación es un fenómeno ge-

neralizado espacialmente, puesto que en todas las zonas de la ciudad se presentan violaciones a las normas de calidad del aire con mayor o menor frecuencia.

En la tabla siguiente, se muestra el porcentaje y número de días por encima de los 100, 150, 200 y 250 puntos IMECA en la ZMG, durante el período enero-diciembre de los años 1994 y 1996. Se puede apreciar una disminución del porcentaje de días en que se rebasaron los 100 puntos IMECA de 1994 a 1996; sin embargo, en este último se tuvieron 23 días con niveles superiores a los 200 puntos IMECA y 3 días con valores de más de 250 puntos.

Porcentaje (y número) de días por encima de los 100,150, 200 y 250 puntos IMECA en la ZMG de 1994 y 1996

	Mayor o igual a 100	Mayor o igual a 150	Mayor o igual a 200	Mayor o igual a 250
1994	75% (270)	38% (135)	3% (9)	0
1996	70% (256)	26% (94)	6% (23)	0.8% (3)

Cabe mencionar que para el año de 1996 el número de días con violaciones a las normas fue de 256 (70% de los días).

Efectuando el mismo análisis para el ozono, la tabla siguiente muestra la misma tendencia anterior, ocurriendo excedencias a su norma en casi un 60% de los días en 1996 y, como se puede observar, los días con niveles superiores a los 200 y 250 puntos IMECA corresponden justamente a los ya indicados, significando que es el ozono el contaminante que produce los niveles de contaminación más elevados en la ZMG.

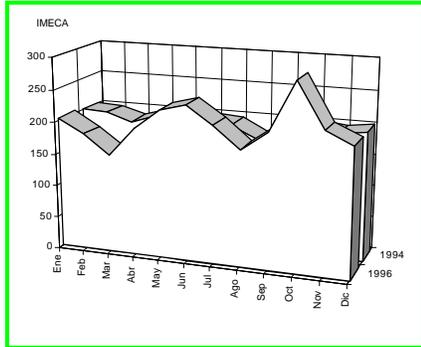
Porcentaje (y número) de días por encima de los 100, 150, 200 y 250 puntos IMECA de ozono en la ZMG de 1994 y 1996

	Mayor o igual a 100	Mayor o igual a 150	Mayor o igual a 200	Mayor o igual a 250
1994	64% (230)	29% (103)	3% (9)	0
1996	58% (212)	24% (88)	6% (23)	0.8% (3)

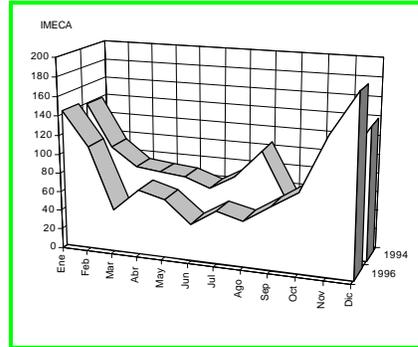
La Gráfica 4, muestra el comportamiento de los valores IMECA máximos mensuales de ozono de enero a diciembre de 1994 y 1996, apreciándose un mayor número de valores elevados en 1996 comparado con 1994. El valor mensual más elevado se produjo en el mes de octubre y fue de 288 puntos IMECA.

Por otra parte, como lo muestra la Gráfica 5, el monóxido de carbono presenta sus valores más elevados en los meses invernales, con valores incluso cercanos a los 200 puntos IMECA.

Gráfica 4.
IMECA máximo mensual de ozono en la ZMG

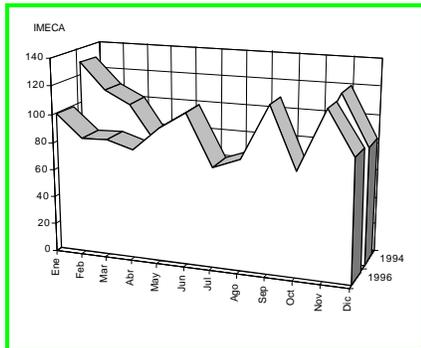


Gráfica 5.
IMECA máximo mensual de CO en la ZMG

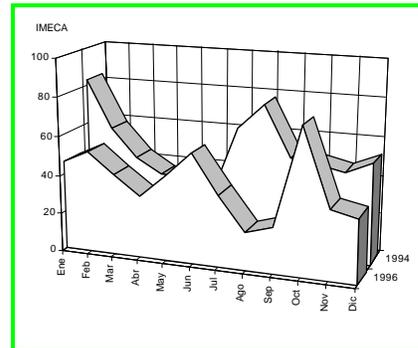


En las Gráficas 6 y 7, se aprecia que el bióxido de nitrógeno y el bióxido de azufre no muestran un patrón tan claramente definido, resaltando el hecho de que para el primero en algunos meses su valor máximo es superior al valor de la norma (en ocasiones cercano al nivel 140 del IMECA) y para el segundo siempre es inferior a los 85 puntos IMECA. Se aprecia también que los niveles de bióxido de nitrógeno fueron en general mayores en 1996 comparado con 1994.

Gráfica 6.
IMECA máximo mensual de NO₂ en la ZMG



Gráfica 7.
IMECA máximo mensual de SO₂ en la ZMG



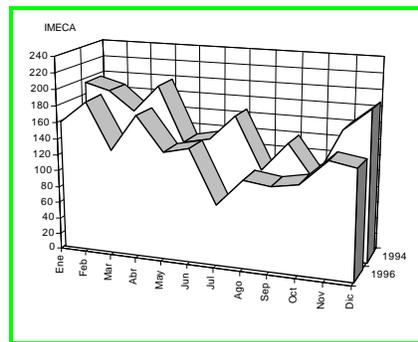
La tabla siguiente presenta el porcentaje y número de días en que se han rebasado diferentes niveles del IMECA de las partículas menores a 10 micrómetros. Se observa que en 1996 se rebasó la norma de PM10 en más del 30% de los días del año y que no se exceden los 200 puntos de IMECA.

Porcentaje (y número) de días por encima de los 100,150, 200 y 250 puntos IMECA de PM10 en la ZMG de 1994 y 1996

	Mayor o igual a 100	Mayor o igual a 150	Mayor o igual a 200	Mayor o igual a 250
1994	48% (172)	13% (47)	0	0
1996	33% (120)	2% (6)	0	0

La Gráfica 8, indica que las partículas suspendidas presentan también en general un comportamiento estacional con menores niveles durante la época de lluvias, si bien, los valores máximos mensuales son en su mayor parte superiores al valor normado. Es importante destacar que algunos valores se acercan a los 200 puntos IMECA.

**Gráfica 8.
IMECA máximo mensual de PM10 en la ZMG**



Conclusiones

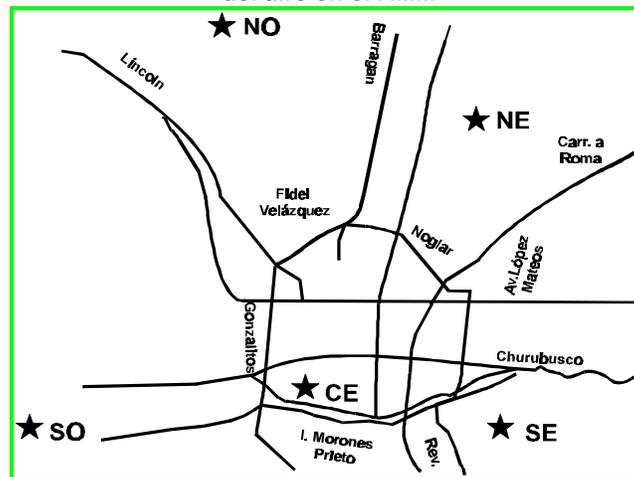
- En 1996, la frecuencia en el número de días en que se rebasó alguna de las normas de calidad del aire en la ZMG fue del 70% (256 días). Los niveles 200 y 250 del IMECA se excedieron en 6% y 1% de los días, respectivamente.
- La frecuencia de excedencias a la norma de ozono fue de 58% (212 días) y el nivel 250 del IMECA se rebasó en 3 días.
- El número de violaciones a la norma de partículas menores a 10 micrómetros fue de 120 días (33% de los días del año) y no se tuvieron valores superiores a los 200 puntos IMECA.
- El monóxido de carbono excede su norma de calidad del aire ocasionalmente con valores cercanos a los 200 puntos IMECA.
- El bióxido de nitrógeno también presenta eventualmente valores superiores a su norma, a veces cercanos a los 140 puntos IMECA.
- El bióxido de azufre no presenta violaciones a la norma de calidad del aire y sus valores máximos se sitúan por debajo de los 85 puntos IMECA.

4. CALIDAD DEL AIRE EN LA ZONA METROPOLITANA DE MONTERREY

Red de monitoreo de la calidad del aire

En el año de 1993, se inició la operación la Red Automática de Monitoreo Atmosférico, la cual está integrada por cinco estaciones distribuidas en las cinco zonas de la ciudad; asimismo, se cuenta con un equipo sodar¹ y una unidad móvil de monitoreo. La red es administrada y operada por la Subsecretaría de Ecología de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Obras Públicas del Gobierno de Nuevo León.

Ubicación de la red de monitoreo de la calidad del aire en el AMM



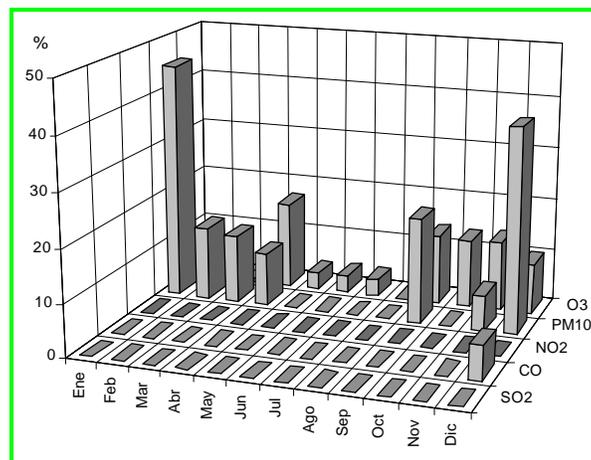
¹ El sodar es un instrumento que determina la dirección y velocidad del viento en la atmósfera en perfiles tridimensionales.

Evolución de la calidad del aire

A continuación se presentan una serie de gráficas y tablas que nos permiten evaluar el comportamiento de la calidad del aire en los últimos años para el período enero a diciembre. En primer lugar aparece una gráfica que muestra el porcentaje de días en que han ocurrido violaciones a las normas de calidad del aire para los contaminantes criterio. En esta gráfica resalta el hecho de que las excedencias a la norma de ozono se han venido presentando en todos los meses con excepción de marzo y agosto. Por su parte, las partículas finas observan una alta frecuencia de violaciones durante los primeros cuatro meses, disminuyen considerablemente de mayo a agosto y se elevan nuevamente en septiembre, noviembre y diciembre.

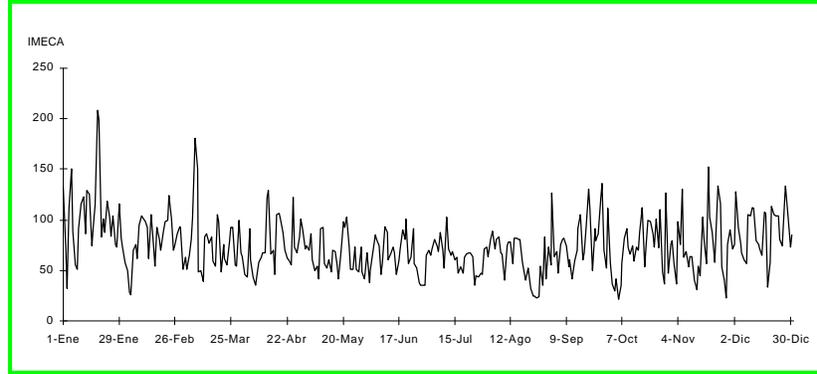
El monóxido de carbono presentó excedencias en diciembre. El bióxido de nitrógeno y el bióxido de azufre no rebasaron sus normas.

Gráfica 1. Porcentaje de días con violaciones a las normas por contaminante en la ZMM en 1996

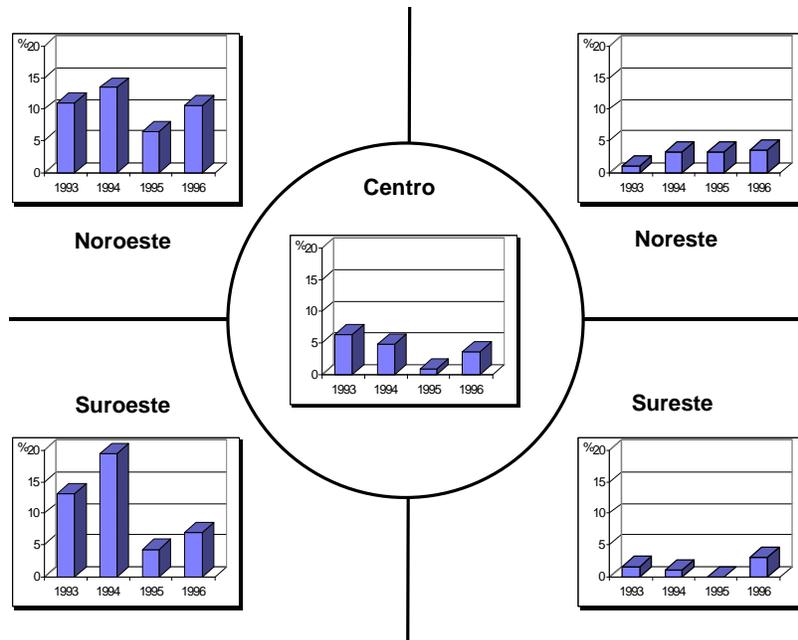


A fin de mostrar las tendencias generales de la contaminación del aire en la ZMM, la Gráfica 2, presenta los picos diarios del IMECA para los doce meses de 1996. Quizá uno de los aspectos más notables es que en términos generales los niveles IMECA no son superiores a los 150 puntos y que sólo ocasionalmente alcanzan valores superiores a los 200 puntos.

Gráfica 2. IMECA máximo diario en la ZMM en 1996)



Gráfica 3. Porcentaje de días en que se rebasa alguna norma de calidad del aire por zona y por año en la ZMM



El diagrama anterior muestra el porcentaje de días en que se han rebasado las normas de calidad del aire en cada una de las cinco zonas de la ciudad durante el periodo 1993-1996. Del diagrama se puede inferir que si bien el problema de contaminación del aire se extiende en toda el área de la ZMM, éste es mucho menos severo en la zona sureste que en las otras cuatro zonas de la ciudad y mucho mayor en el sector oeste que en el sector este de la misma. Adicionalmente, puede no-

tarse que en todas las zonas el porcentaje de días en que se rebasó la norma de calidad del aire aumentó en 1996, con respecto al año anterior.

A fin de complementar esta información, a continuación se presenta el porcentaje y número de días por encima de los 100, 150 y 200 puntos IMECA en la ZMM durante el período enero-diciembre de los años 1993 a 1996, con base en los picos diarios para cualquiera de los contaminantes. Se puede apreciar el aumento en el porcentaje de días en que se rebasaron los 100 IMECA en 1996 en comparación con 1995, pasando de un 9% a un 18% de excedencias. Asimismo, podemos señalar el ligero incremento que se registró en el número de días con lecturas superiores a los 150 puntos IMECA. Los 200 puntos IMECA se presentaron solamente en una ocasión en 1994 y en 1996.

Porcentaje (y número) de días por encima de 100, 150 y 200 puntos IMECA en la ZMM de 1993-1996

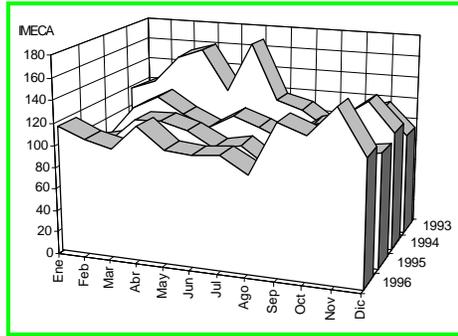
	Mayor o igual a 100	Mayor o igual a 150	Mayor o igual a 200
1993	23%(83)	2.5%(9)	0
1994	29%(106)	10.1%(37)	0.3%(1)
1995	9%(33)	1.4%(5)	0
1996	18%(65)	1.6%(6)	0.3%(1)

La Gráfica 4 muestra el comportamiento histórico de los valores IMECA máximos mensuales de ozono de 1993 a 1996, apreciándose como el año de 1993 presentó mayores niveles; se puede ver también que los meses de septiembre a noviembre de 1996 presentan valores elevados, cercanos a los 160 puntos IMECA. Si bien el ozono no ha rebasado los 200 puntos de IMECA, la frecuencia de excedencias a su norma de calidad del aire es importante (7% de los días en 1996), como se puede ver en la tabla siguiente. Es necesario mencionar que las frecuencias de violaciones a la norma fueron del mismo orden en 1993 y 1994.

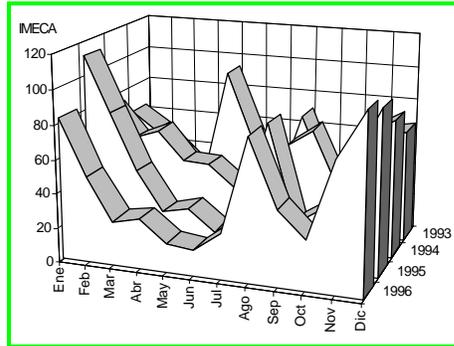
Porcentaje (y número) de días por encima de 100, 150 y 200 puntos IMECA de ozono en la ZMM de 1993-1996

	Mayor o igual a 100	Mayor o igual a 150	Mayor o igual a 200
1993	10% (37)	0.8% (3)	0
1994	6% (20)	0	0
1995	2% (6)	0	0
1996	7% (25)	0.3% (1)	0

Gráfica 4.
IMECA máximo mensual de ozono en la ZMM

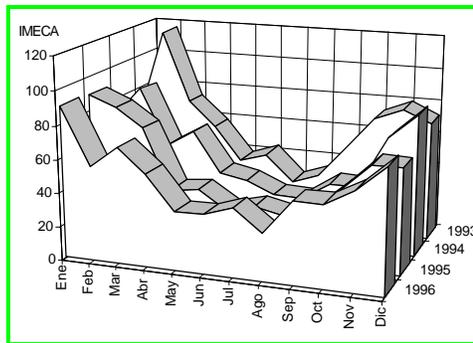


Gráfica 5.
IMECA máximo mensual de CO en la ZMM

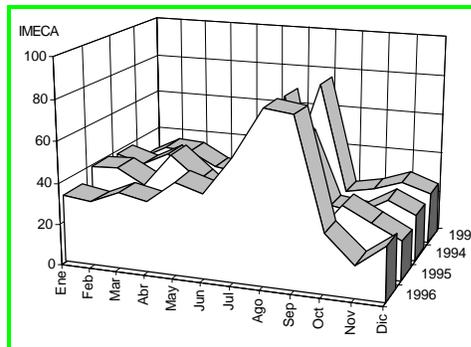


En cuanto a los máximos mensuales de monóxido de carbono, en general en el invierno se tiene un aumento en los niveles, aunque durante algunos de los otros meses del año se registran valores de similar magnitud (ver Gráfica 5); en todos los casos los valores no exceden los 120 puntos IMECA. Por su parte, la Gráfica 6 muestra que el bióxido de nitrógeno presenta un comportamiento estacional, con mayores concentraciones en el invierno que en el resto del año, aunque en su gran mayoría los valores más elevados no rebasan los 100 puntos IMECA.

Gráfica 6.
IMECA máximo mensual de NO₂ en la ZMM



Gráfica 7.
IMECA máximo mensual de SO₂ en la ZMM



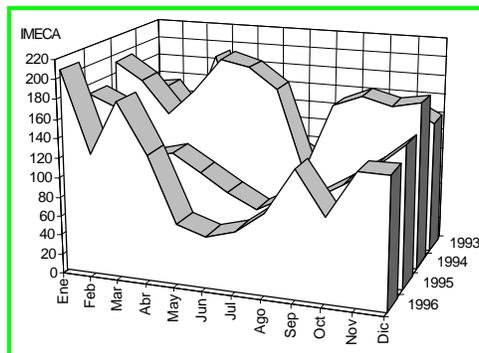
El bióxido de azufre muestra por lo general valores máximos mensuales inferiores a los 40 puntos IMECA, aunque de julio a septiembre, por un efecto estacional asociado con algunas fuentes específicas de SO₂, los valores se incrementan al doble.

Las partículas suspendidas constituyen junto con el ozono el mayor problema de contaminación del aire en la ZMM. Durante 1996 se rebasó la norma de PM10 en el 12% de los días del año. En cuanto a su distribución temporal, con excepción de 1994, en los otros años las partículas suspendidas presentan en general sus valores más elevados en los primeros y últimos cuatro meses del año, alcanzando niveles muy cercanos, y en algunos meses superiores, a los 200 puntos IMECA.

Porcentaje (y número) de días por encima de 100, 150 y 200 puntos IMECA de PM10 en la ZMM de 1993-1996

	Mayor o igual a 100	Mayor o igual a 150	Mayor o igual a 200
1993	13%(47)	1.6%(6)	0
1994	26%(93)	10.1%(37)	0.3%(1)
1995	8%(28)	1.4%(5)	0
1996	12%(45)	1.4%(5)	0.3%(1)

**Gráfica 8.
IMECA máximo mensual de PM10 en la ZMM**



Conclusiones

- El porcentaje de días en que se rebasó alguna de las normas de calidad del aire en la ZMM en 1996 fue de 18% (65 días). El nivel de los 200 puntos IMECA solamente se excedió en una ocasión y no se alcanzó el valor 250 del IMECA.
- La frecuencia de excedencias a la norma de calidad del aire de las partículas suspendidas es la más importante en la ZMM. Durante 1996 se rebasó la norma de PM10 en el 12% de los días del año (45 días). Los valores más ele-

vados se presentan generalmente en los primeros y últimos cuatro meses del año, alcanzando niveles muy cercanos o superiores a los 200 puntos IMECA.

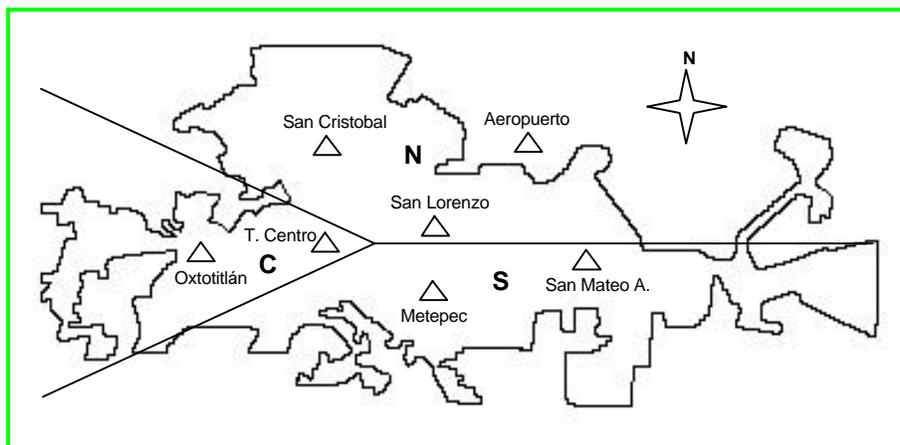
- El ozono constituye junto con las partículas suspendidas el mayor problema de contaminación del aire en la ZMM; durante 1996 su norma no se cumplió en el 7% de los días (25 días); sus valores más elevados que se registran en la red de monitoreo son cercanos a los 160 puntos IMECA.
- El monóxido de carbono tiende a presentar valores elevados en los meses invernales; en términos generales los valores máximos no exceden los 120 puntos IMECA.
- El bióxido de nitrógeno presenta un comportamiento estacional, con mayores concentraciones en el invierno que en el resto del año; en su gran mayoría los valores más elevados no rebasan los 100 puntos IMECA.
- El bióxido de azufre muestra valores máximos inferiores a los 40 puntos IMECA, aunque en algunas ocasiones por un efecto estacional asociado con algunas fuentes específicas de SO_2 , los valores se incrementan al doble.

5. CALIDAD DEL AIRE EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE TOLUCA

Red de monitoreo de la calidad del aire

Los trabajos de monitoreo en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT) se iniciaron a finales de los 80, con equipo manual para muestreo de partículas suspendidas y algunos contaminantes gaseosos. En el año de 1994, se puso en operación la Red Automática de Monitoreo Atmosférico, la cual está integrada por siete estaciones distribuidas en tres zonas de la ciudad. Así mismo, se cuenta con una unidad móvil de monitoreo. Cada estación cuenta con equipo para realizar el monitoreo de los parámetros que definen la calidad del aire. La red es administrada y operada por la Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de México.

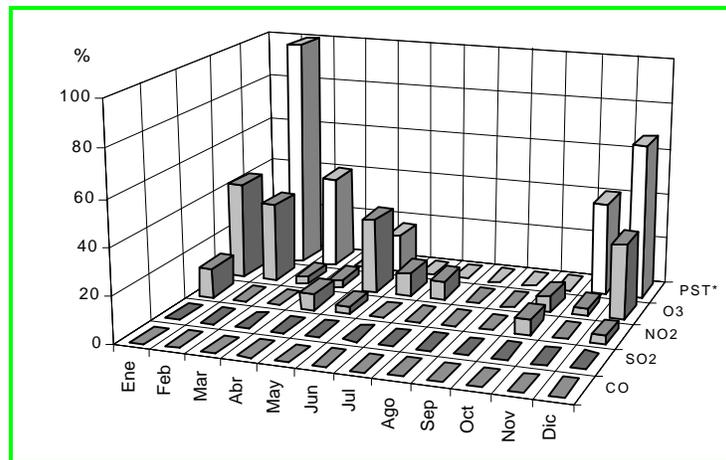
Localización de la red de monitoreo de la calidad del aire de la ZMVT



Evolución de la calidad del aire

A continuación se presentan una serie de gráficas y tablas que nos permiten evaluar el comportamiento de la calidad del aire durante 1996. En primer lugar aparece una gráfica que muestra el porcentaje de días en que se han rebasado las normas de calidad del aire para los contaminantes criterio. En esta gráfica es importante hacer notar que las excedencias a la norma de ozono se presentan en casi todos los meses, alcanzando en enero un 42% de días, y en orden descendente se tiene al bióxido de nitrógeno y a las partículas suspendidas totales; aquí cabe aclarar que aunque los porcentajes para las PST es mayor en febrero y diciembre, en este caso el porcentaje en la gráfica se refiere a la frecuencia de muestreos que rebasó la norma de calidad del aire; el número de muestreos varía de 3 a 6 por mes y no se efectuaron en enero.

Gráfica 1. Porcentaje de días con violaciones a las normas por contaminante y por mes en la 7MVT en 1996

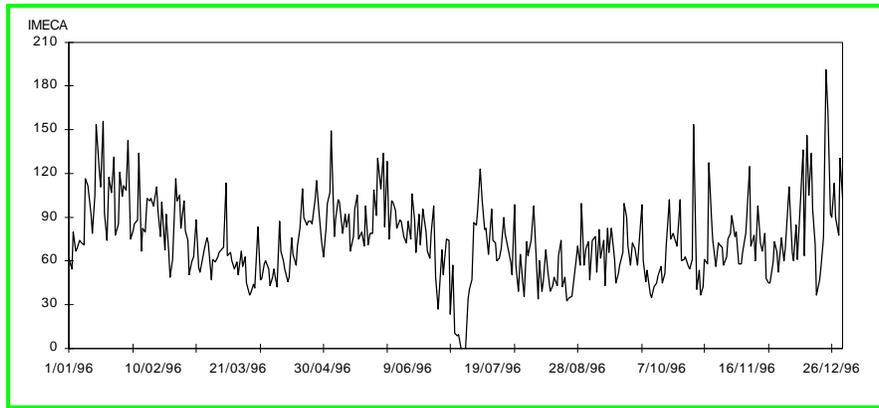


* Porcentaje de muestreos con violación a la norma de PST.

Las gráficas y tablas siguientes se construyeron sin considerar los datos del muestreo manual de PST.

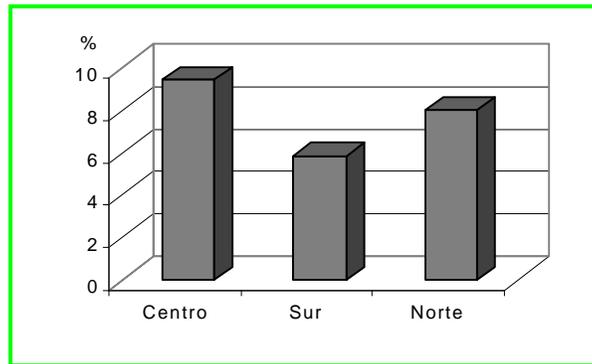
A fin de mostrar las tendencias generales de la contaminación del aire para el período de enero a diciembre, la gráfica siguiente presenta los valores máximos diarios del IMECA, observándose que en 1996 se presentaron algunos picos superiores a los 150 puntos.

Gráfica 2. IMECA máximo diario en la ZMVT en 1996



El siguiente diagrama muestra el porcentaje de días en que se rebasaron las normas de calidad del aire en cada una de las zonas monitoreadas; se infiere que actualmente en la zona centro el problema de la contaminación del aire es un poco mayor que en las otras áreas de la ciudad, si bien la frecuencia de excedencias a la norma es menor al 10% en las tres zonas.

Gráfica 3. Porcentaje de días en que se rebasa alguna norma de calidad del aire por zona en la ZMVT en 1996



A fin de complementar esta información, a continuación se presenta el porcentaje y número de días por encima de los 100, 150 y 200 puntos IMECA en la ZMVT durante 1996. Se observa que el porcentaje de días en que se rebasó la norma de calidad del aire es cercano al 20% y que el nivel de 150 puntos IMECA sólo se alcanzó en 5 ocasiones, sin rebasarse los 200 puntos IMECA.

Porcentaje (y número) de días por encima de los 100, 150 y 200 puntos IMECA en la ZMVT en 1996

	Mayor o igual a 100	Mayor o igual a 150	Mayor o igual a 200
1996	17%(60)	1%(5)	0%

El ozono por su parte no rebasó los 200 puntos IMECA y su frecuencia de excedencias a la norma de calidad del aire fue del 15% (53 días), tal como se puede ver en la tabla siguiente.

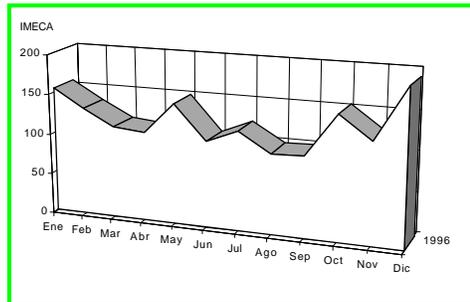
Porcentaje (y número) de días por encima de los 100, 150 y 200 puntos IMECA de ozono en la ZMVT en 1996

	Mayor o igual a 100	Mayor o igual a 150	Mayor o igual a 200
1996	15%(53)	1.4%(5)	0%

La Gráfica 4, muestra el comportamiento de los valores IMECA máximos mensuales de ozono en 1996, observándose que se alcanzaron valores superiores a la norma en diez de los doce meses. Se registraron valores de más de 150 puntos IMECA en enero, octubre y diciembre; en éste último se tuvo un máximo de más de 190 puntos.

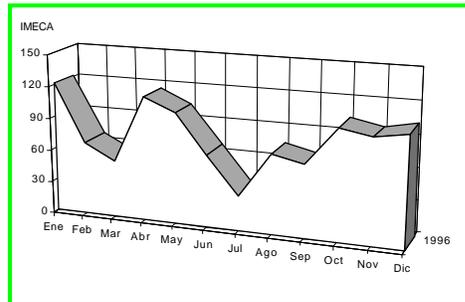
Gráfica 4.

IMECA máximo mensual de ozono en la ZMVT



Gráfica 5.

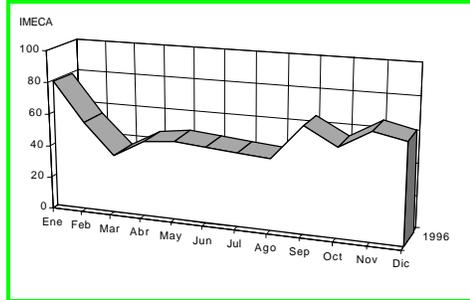
IMECA máximo mensual de NO₂ en la ZMVT



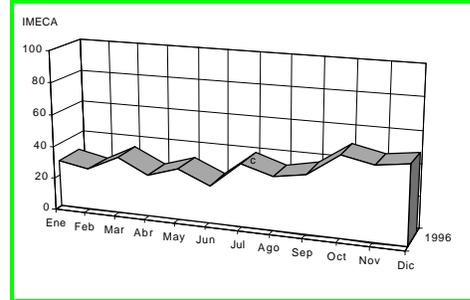
El bióxido de nitrógeno rebasó su norma en cinco meses de 1996; el valor máximo del IMECA fue de un poco más de 120 puntos (Gráfica 5). Los niveles más elevados se dieron en enero, abril, mayo, octubre y diciembre. La norma de calidad del aire de este contaminante se rebasó en diez días (3%).

Los valores máximos mensuales de monóxido de carbono son inferiores al valor de la norma y el valor más elevado fue de 80 puntos IMECA (Gráfica 6). Existe una ligera elevación de los niveles en enero, febrero y de septiembre a diciembre.

Gráfica 6.
IMECA máximo mensual de CO en la ZMVT



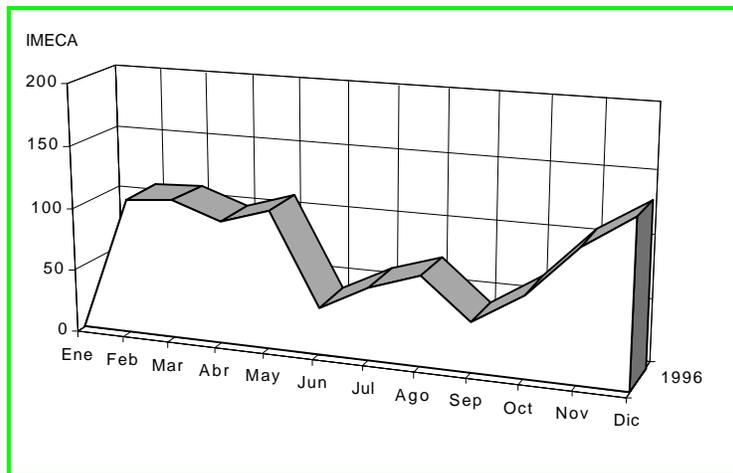
Gráfica 7.
IMECA máximo mensual de SO₂ en la ZMVT



El bióxido de azufre no rebasó los 100 puntos IMECA y se aprecia un ligero incremento de los niveles a partir de octubre (Gráfica 7). Sus valores máximos se sitúan por debajo de los 60 puntos IMECA.

Las partículas suspendidas totales rebasaron en 10 ocasiones la norma de calidad del aire; ello ocurrió en la zona norte en los meses de enero, febrero, mayo, noviembre y diciembre. En este último, se registró un valor máximo mensual de 130 puntos IMECA. En la Gráfica 8, se aprecia un descenso de los niveles durante la época de lluvias y un incremento en los meses invernales, debido al flujo de vientos del sur y la presencia de tolváneras.

Gráfica 8.
IMECA máximo mensual de PST en la ZMVT



Conclusiones

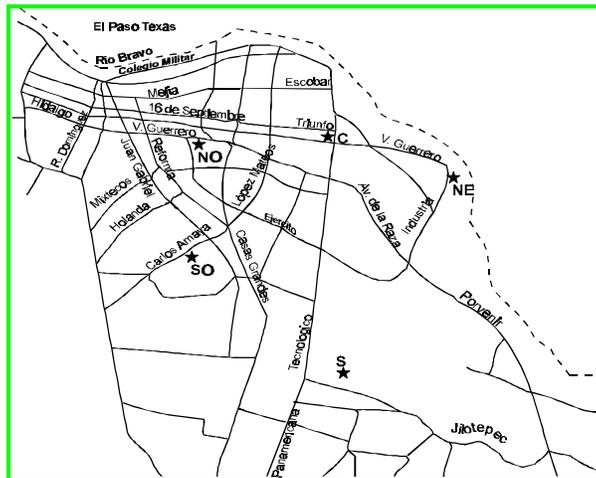
- En 1996, el número de días en que se rebasó alguna de las normas de calidad del aire en la ZMVT fue del 17% (60 días). El nivel 150 del IMECA se excedió en un 1% y no se alcanzaron los 200 puntos.
- La frecuencia de excedencias a la norma de ozono fue de 15% (53 días) y el nivel 150 del IMECA se rebasó en 5 días. El registro máximo fue de más de 190 puntos.
- El bióxido de nitrógeno es el contaminante que rebasa en segundo término la norma de calidad del aire, ello ocurrió en 10 días (3%); el valor máximo registrado fue ligeramente superior a los 120 puntos IMECA.
- En los once meses de muestreo de partículas suspendidas totales, la norma se rebasó en 10 ocasiones y no se tuvieron valores superiores a los 150 puntos IMECA. El valor máximo registrado fue de 130 puntos.
- El monóxido de carbono no rebasó la norma de calidad del aire y el valor máximo registrado fue de 80 puntos IMECA.
- El bióxido de azufre no rebasó la norma de calidad del aire y sus valores máximos se sitúan por debajo de los 60 puntos IMECA.

6. CALIDAD DEL AIRE EN CIUDAD JUÁREZ

Red de monitoreo de la calidad del aire

La red de monitoreo de Cd. Juárez se integró inicialmente en 1993 con equipo manual de partículas finas y posteriormente se adicionaron analizadores automáticos para monóxido de carbono y ozono. En la ciudad se tienen cinco zonas donde se monitorean los contaminantes. En las zonas noroeste y suroeste se mide ozono, partículas finas PM10 y monóxido de carbono; en la centro y sur únicamente PM10; a partir de mediados de 1996 se instaló la estación de la zona noroeste incorporando monitores de los tres contaminantes. La red es operada por la Dirección de Desarrollo Urbano y Ecología del Municipio de Juárez.

Sistema de monitoreo de la calidad del aire de Ciudad Juárez

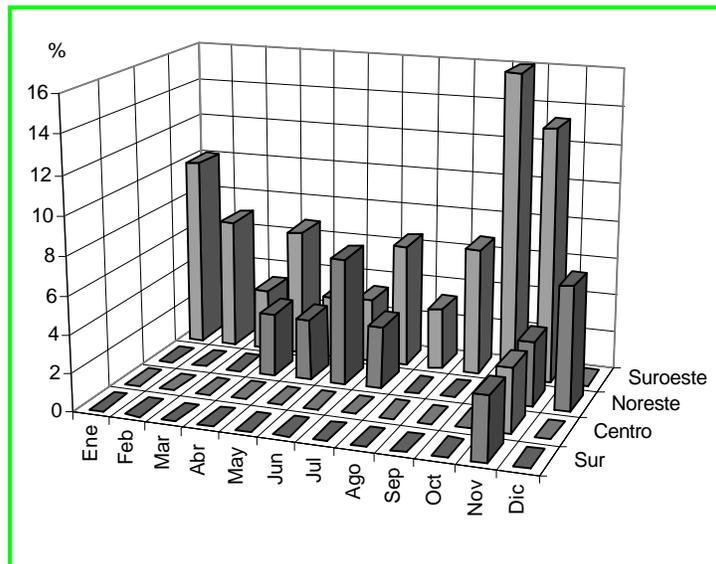


Para los propósitos de este informe, se consideraron los datos de 1996 de ozono y monóxido de carbono de las zonas noreste y suroeste y de partículas menores a 10 micrómetros en estas mismas zonas además de las zonas centro y sur. No se consideraron los datos de la zona noroeste por ser estos aun insuficientes.

Evolución de la calidad del aire

A continuación, se presentan algunas gráficas y tablas construidas con la información disponible, que permiten evaluar algunos aspectos del comportamiento de la calidad del aire en Ciudad Juárez durante 1996. En primer lugar se observa el porcentaje de días en que han ocurrido violaciones a las normas de calidad del aire para los contaminantes criterio monitoreados en cada una de las cuatro zonas. La zona suroeste es la que presenta mayor porcentaje de excedencias, dándose estas en once de los doce meses del año, sobre todo en los meses de enero, octubre y noviembre. En las otras zonas también se presentan violaciones a las normas de calidad del aire, en particular en la noreste.

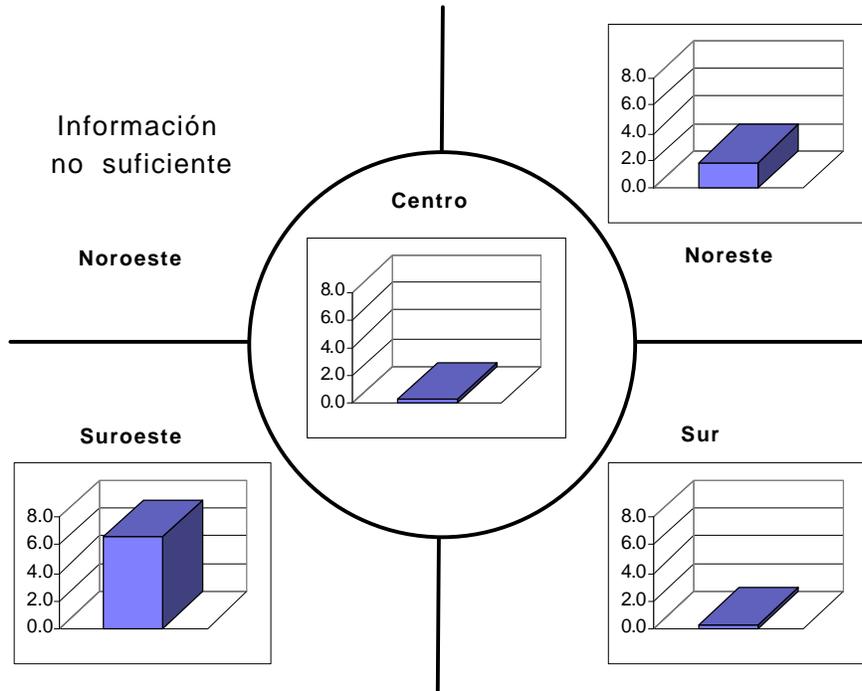
Gráfica 1. Porcentaje de días en que se rebasan las normas en Cd. Juárez 1996



El siguiente diagrama muestra el porcentaje de días en que se presentaron violaciones a las normas de calidad del aire durante 1996. Del diagrama se infiere que en principio, en la zona suroeste el problema de la contaminación del aire es mayor que en las otras áreas de la ciudad, sobrepasando el 6% de días en los que se excede alguna norma, le sigue la zona noreste con 2% de violaciones a las normas de calidad del aire. Evidentemente, si se amplía la cobertura

de monitoreo del ozono y del monóxido de carbono, pudiera darse un aumento en la frecuencia de excedencias en las zonas donde actualmente no se miden estos contaminantes.

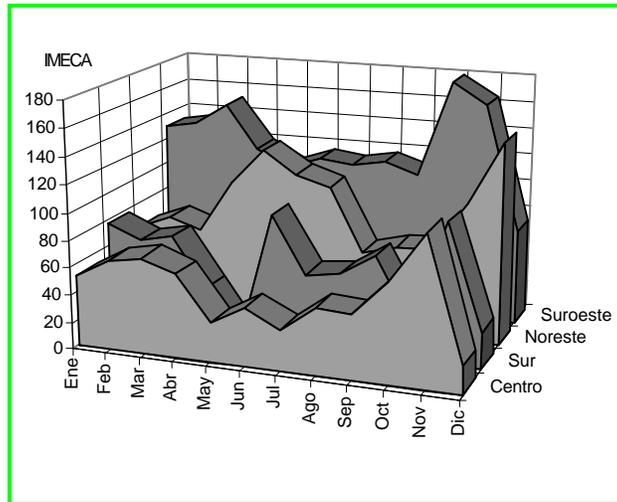
Gráfica 2. Porcentaje de días en que se rebasó alguna norma de calidad del aire por zona en Cd. Juárez 1996



A fin de complementar esta información, se puede mencionar que el número de días en que se excedieron los 100 puntos IMECA en la ciudad fueron 28, presentándose por contaminante 15 para ozono, uno para monóxido de carbono y 13 para partículas finas.

La gráfica y tabla siguientes muestran los valores máximos en puntos IMECA para cada uno de los doce meses del año, observándose que nuevamente es la zona suroeste en la que en general se presentan las mayores concentraciones, sobre todo en octubre y noviembre, y la zona noreste registra valores elevados en diciembre.

Gráfica 3.
IMECA máximo mensual en Cd. Juárez 1996



La tabla siguiente muestra los valores máximos mensuales por contaminante y por zona, se observa que las concentraciones máximas mensuales son más altas para ozono en la zona suroeste, con valores de hasta 165 puntos IMECA, y que en 6 de los meses del año el valor máximo sobrepasa el valor de su norma de calidad del aire. Para el monóxido de carbono los valores son un poco más elevados en la zona suroeste y sólo en un mes se rebasó la norma de calidad del aire. Las partículas fracción respirable presenta valores superiores a los 160 puntos IMECA en la zona suroeste, en octubre y noviembre, recalándose que en ocho de los doce meses el valor máximo mensual de este contaminante fue superior a los 100 puntos.

IMECA máximo mensual por zona para O₃, CO y PM₁₀, 1996

Mes	Ozono		CO		PM10			
	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

Conclusiones

- La cantidad de información de monitoreo disponible en Ciudad Juárez es aún escasa para poder establecer un patrón de comportamiento completo y confiable. A pesar de ello y a manera indicativa se puede mencionar que en el período de información disponible el número de días en que no se cumplió con las normas de calidad del aire fueron 28, en los cuales en 15 la excedencia fue por ozono, en 13 por partículas menores a 10 micrómetros y en uno por monóxido de carbono.
- Los valores más elevados por ozono alcanzan los 165 puntos IMECA y en 6 de los 12 meses de 1996 se rebasó por lo menos en una ocasión el valor de su norma de calidad del aire.
- En el caso de las partículas finas los picos llegan a casi los 180 puntos IMECA. En 8 de los 12 meses de 1996 se rebasó por lo menos en una ocasión su norma de calidad del aire.
- El monóxido de carbono en general presenta valores máximos menores a los 100 puntos IMECA, aunque se registran ocasionalmente valores superiores a este nivel.

7. CAMPAÑAS DE MONITOREO EN OTRAS CIUDADES

A fin de conservar la capacidad para la aplicación de auditorías a los sistemas de monitoreo y para efectuar mediciones independientes, estudios especiales y específicos, el INE cuenta con dos unidades móviles equipadas con las mismas tecnologías y metodologías que se utilizan en las estaciones fijas de monitoreo, con lo cual se tiene la capacidad de monitorear de manera autónoma en casi cualquier escenario los contaminantes criterio (SO_2 , CO, NO_2 , O_3 , PST y PM10) y los parámetros meteorológicos que influyen o intervienen en sus tendencias. Otras aplicaciones en que el equipo móvil es útil, se relacionan con los estudios iniciales para apoyar el diseño de nuevas redes, validar la ubicación de estaciones ya instaladas o atender situaciones de emergencia.

Durante 1996, una de las unidades móviles se trasladó a diferentes entidades para obtener información de calidad del aire y contar con un diagnóstico muy preliminar de la misma. La información que a continuación se presenta, resume los resultados de las campañas de monitoreo de las ciudades de Acuña, Piedras Negras, Monclova, Saltillo y Torreón, Coahuila; Gómez Palacio y Durango, Durango; Aguascalientes, Aguascalientes; Querétaro, Querétaro; Manzanillo, Colima; Atasta, Campeche; Dos Bocas, Tabasco; y Coatzacoalcos, Veracruz; en diferentes períodos de tiempo que van desde tres días como en el caso de Coatzacoalcos, hasta ocho días como en el caso de Aguascalientes. Evidentemente, y debido a la corta duración de las campañas, los resultados que aquí se presentan deben considerarse como indicativos y no como representativos de la situación de la calidad del aire en estas localidades.

Se obtuvo la información de parámetros meteorológicos tales como dirección y velocidad del viento, temperatura ambiente y humedad relativa, así como de las concentraciones de los contaminantes ozono, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, partículas suspendidas fracción respirable y bióxido de azufre, obteniéndose los máximos y mínimos, la hora de ocurrencia y los períodos de monitoreo. En la tabla siguiente se presenta la información más relevante de las campañas efectuadas en cada una de las ciudades anteriormente mencionadas.

Como se puede observar en la misma, en el caso del monóxido de carbono los valores máximos registrados fueron en general menores a la mitad del valor de la norma de calidad del aire.

En todos los casos el bióxido de azufre se encontró en concentraciones inferiores a la establecida en la norma de calidad del aire, siendo los valores menores a la mitad de lo estipulado en la norma.

Con respecto al bióxido de nitrógeno también todos los valores registrados se encontraron por debajo del valor de la norma de calidad del aire; en el caso de Manzanillo el valor máximo fue de 173 ppb, acercándose un poco al valor normado que es de 210 ppb; esto pudiera deberse a las emisiones de las plantas termoeléctricas, situadas a unos cuantos kilómetros de la zona donde se hicieron las mediciones.

La norma de calidad del aire del ozono fue excedida en una ocasión en Coatzacoalcos, alcanzándose 137 ppb y los valores registrados se acercaron bastante al máximo permisible en las ciudades de Torreón, con 103 ppb, y en Querétaro con 104 ppb.

Las partículas suspendidas fracción respirable excedieron ligeramente en una ocasión el valor de la norma de calidad del aire en Piedras Negras y se situaron por arriba de los 100 microgramos por metro cúbico en las ciudades de Puebla, Monclova, Torreón, Gómez Palacio, Durango y Dos Bocas.

De manera general, estos resultados parecen indicar, primero, que en lo que se refiere al bióxido de azufre y al monóxido de carbono no se tendrían mayores problemas en las localidades visitadas y que en todo caso los niveles que se registran son aún bajos, debido a que las emisiones son pequeñas o a que existen condiciones favorables para su dilución o dispersión.

En segundo lugar, en los centros urbano-industriales pudieran existir en mayor o menor medida niveles elevados de partículas finas, ozono y bióxido de nitrógeno, producto de las actividades industriales y de las emisiones de los vehículos automotores. Por ello, resulta de suma importancia el papel que juegan las normas de emisión para la industria y los vehículos, como un medio para regular los aportes de contaminantes de tal forma que se evite rebasar la capacidad de asimilación de las cuencas atmosféricas. Así mismo, es también importante que se refuercen los programas de verificación de las emisiones vehiculares, ya que sin duda alguna es una de las formas más costo-efectivas de prevenir y reducir las emisiones que en conjunto se producen en los centros urbanos.

Será necesario continuar con la medición de la calidad del aire en los sitios identificados con problemas potenciales de contaminación, ya que, como se mencionó, las campañas que se llevaron a cabo fueron de corta duración y que, por otra parte, varias de las localidades se encuentran en una etapa de rápido crecimiento.

Campañas de monitoreo de la unidad móvil durante 1996

Ciudad	Ubicación	Período de Trabajo		Valores Máximos Registrados					Número de excedencias a la norma
		Inicio	Término	CO (ppm)	SO ₂ (ppb)	NO ₂ (ppb)	PM10 (µg/m ³)	O ₃ (ppb)	
Puebla	Zona centro en el Museo del Ferrocarril	12/02/96	16/02/96	5.6 14/02/96	28 14/02/96	79 14/2/96	111 15/02/96	75 15/02/96	0
Cd. Acuña	Zona centro frente al Palacio Municipal	28/03/96	02/04/96	2.9 31/03/96	5 29/03/96	47 30/04/96	44 01/04/96	57 01/04/96	0
Piedras Negras	Zona centro frente al Palacio Municipal	03/04/96	10/04/96	5.8 09/04/96	16 07/04/96	72 8/04/96	155 08/04/96	72 08/04/96	1
Monclova	Zona centro frente al Palacio Municipal	11/04/96	17/04/96	4.2 19/04/96	38 12/04/96	110 12/04/96	144 12/04/96	61 13/04/96	0
Saltillo	Zona centro en el Centro Comercial Soriana	17/04/96	24/04/96	4.1 15/04/96	15 19/04/96	81 18/04/96	70 22/04/96	89 23/04/96	0
Torreón	Zona norte en el deportivo Nazario	24/04/96	02/05/96	4.0 01/05/96	27 01/05/96	54 02/05/96	135 01/05/96	103 27/04/96	0
Gómez Palacio	Zona centro en el estacionamiento de la Coca Cola	03/05/96	09/05/96	5.3 03/05/96	40 06/05/96	43 04/05/96	129 09/05/96	77 09/05/96	0
Durango	Zona centro en el Instituto Tecnológico	10/05/96	17/05/96	2.6 13/05/96	18 16/05/96	29 11/05/96	124 11/05/96	90 16/05/96	0
Aguascalientes	Zona centro en las instalaciones de la Feria	17/05/96	25/05/96	2.2 20/05/96	19 22/05/96	50 20/05/96	54 21/05/96	79 24/05/96	0
Querétaro	Zona noreste	26/05/96	01/06/96	3.9 29/05/96	3 30/05/96	34 28/05/96	84 27/05/96	104 26/05/96	0
Manzanillo	Zona hotelera	10/07/96	09/08/96	2.2 23/07/96	28 19/07/96	173 23/07/96	51 1/08/96	66 24/07/96	0
Atasta	Al suroeste de la unidad de recompresión de gas de PEMEX	14/10/96	18/10/96	0.6 16/10/96	10 18/10/96	----- -----	17 17/10/96	----- -----	0
Dos Bocas	Al sur de los depósitos de combustibles de PEMEX	19/10/96	21/10/96	1.9 20/10/96	3 20/10/96	----- -----	111 20/10/96	----- -----	0
Coatzacoalcos	Zona centro frente al Palacio Municipal	22/10/96	25/10/96	1.7 22/10/96	15 24/10/96	23 23/10/96	26 24/10/96	137 22/10/96	1

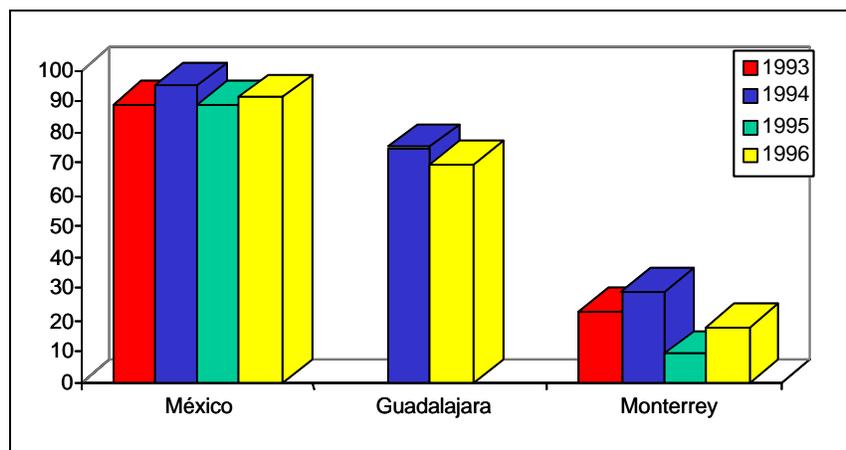
Nota: Los valores de ozono y bióxido de nitrógeno son horarios, los valores de monóxido de carbono son promedios móviles de 8 horas y los valores de partículas suspendidas fracción respirable y de bióxido de azufre son promedios de 24 horas. / 1000 ppb = 1 ppm.

8. ANALISIS COMPARATIVO EN LAS TRES GRANDES ZONAS METROPOLITANAS

A continuación se presentan algunas gráficas con la finalidad de establecer algunas comparaciones de la calidad del aire entre las principales zonas metropolitanas. En primer lugar aparece una comparación del porcentaje de días en que se han violado las normas de calidad del aire en cada una de las ciudades durante los últimos años.

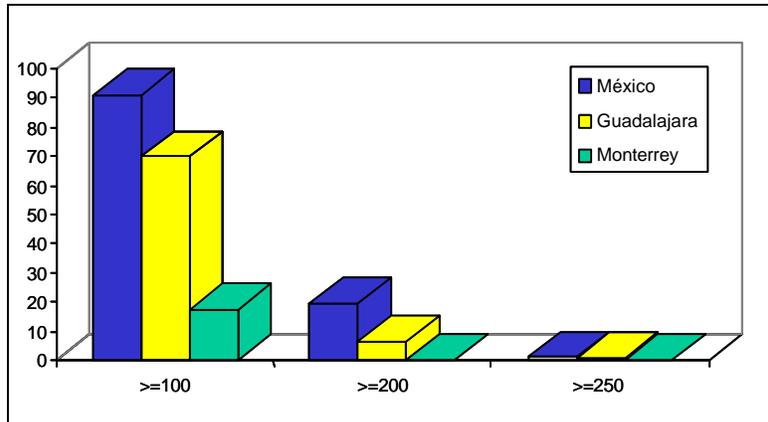
Es notable el hecho de que, en términos de la frecuencia con que se violan las normas, el problema de contaminación del aire en la ZMG puede considerarse casi tan grave como en la ZMVM, mientras que en la de Monterrey la situación es menos crítica. En 1996, las frecuencias de excedencias a las normas de calidad del aire fueron del orden del 90 % en la ZMVM, del 70% en la ZMG y del 20% en la ZMM.

Porcentaje de días con excedencias a las normas



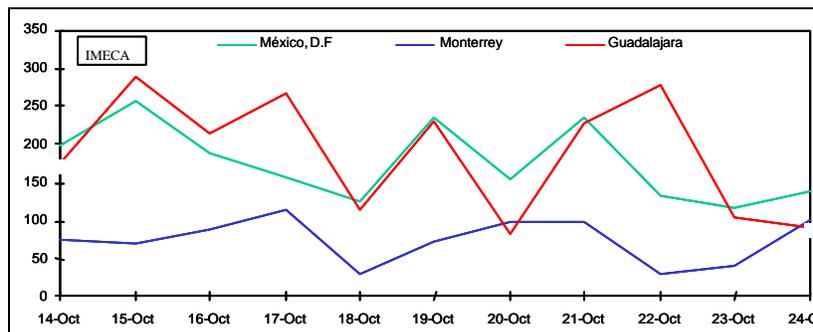
Sin embargo, cuando se compara no sólo la frecuencia de violaciones sino también las mediciones más extremas se observa que en Guadalajara se rebasan los 200 puntos IMECA en muchas menos ocasiones que en la ciudad de México y que en Monterrey rara vez se presentan valores de esta magnitud.

Porcentaje de días con excedencias a 100, 200 y 250 puntos IMECA, 1996



Es muy interesante el observar que ocurre en las tres ciudades cuando se presentan condiciones meteorológicas favorables al estancamiento de los contaminantes. Para este propósito se identificó un período en el que se presentaron varios días con altos niveles de contaminación por ozono tanto en el Valle de México como en Guadalajara. La siguiente gráfica muestra los picos diarios de ozono del 14 al 24 de octubre de 1996 y proporciona algunos elementos de análisis.

Picos diarios de Ozono del 14 al 24 de octubre de 1996



En primer lugar, es importante notar que en ambas ciudades se presentó un pico por arriba de 250 puntos el martes 15 de octubre, descendiendo a niveles alrededor de 200 puntos IMECA al día siguiente; ese día se puso en marcha el plan de contingencias ambientales de la ciudad de México, permitiendo que los niveles del IMECA descendieran sustantivamente, no siendo así el caso de la ZMG. Las curvas de ozono continúan con un comportamiento notablemente similar del día 18 hasta el día 21 de octubre. El hecho de que las concentraciones de ozono en las dos zonas metropolitanas presenten comportamientos tan parecidos, refleja sin duda que la calidad del aire en ambas ciudades estaba siendo determinada fundamentalmente por el mismo sistema macro-meteorológico de alta presión que afectó a toda la región centro y sur del país.

La gráfica también permite demostrar que la calidad del aire en un momento dado, no depende tanto de la variación diaria en las emisiones de contaminantes como de la variación en los parámetros meteorológicos que determinan la dispersión de los mismos. Por otro lado, los análisis aquí presentados muestran la importancia que tiene el contar con un plan de contingencias que incide efectivamente en reducir las emisiones de los contaminantes y la alta vulnerabilidad de ciudades como Guadalajara, en donde a pesar de tener tan sólo una quinta parte de los vehículos y una cuarta parte de la industria de la ciudad de México, puede sufrir serios problemas de contaminación si las condiciones meteorológicas son desfavorables.

9. CONCLUSIONES SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE

Los análisis efectuados permiten llegar a una serie de observaciones y conclusiones sobre la calidad del aire en las zonas metropolitanas y ciudades incluidas en este informe:

- La frecuencia de violaciones a alguna de las normas de calidad del aire en la ciudad de México, que se sitúa en cerca de un 90% de los días, no ha variado sensiblemente en los últimos cuatro años, pero si han disminuido los eventos de más de 200 y 250 puntos IMECA.

El ozono es el contaminante que presenta los mayores niveles y no cumple con la norma en casi el 90% de los días. Las PM10 son el segundo contaminante en importancia, excediendo la norma en un 50% de los días.

- De acuerdo al análisis de la información, la zona metropolitana de Guadalajara presenta una frecuencia de violación a alguna de las normas de calidad del aire en el 70% de los días; actualmente en ella se producen algunos episodios de contaminación de más de 200 y 250 puntos.

Al igual que en la ciudad de México, en Guadalajara el ozono es el contaminante que más frecuentemente rebasa su norma de calidad del aire con un 60% de los días; le siguen las partículas menores a 10 micrómetros con un poco más del 30% de los días.

- En Monterrey la frecuencia de violaciones a alguna de las normas de calidad del aire es cercana al 20% de los días y muy ocasionalmente se presenta un evento de más de 200 puntos IMECA.

El contaminante que más sobresale son las partículas menores a 10 micrómetros, cuya frecuencia de excedencias a la norma es del 12% de los días del año. Le sigue en segundo término el ozono con un 7% de los días.

- En Toluca, la frecuencia con la que se rebasa alguna de las normas de calidad del aire es cercana al 20% de los días y no se alcanzan los 200 puntos IMECA.

El ozono es el contaminante que más rebasa la norma, en un 15% de los días y le sigue el bióxido de nitrógeno, con un 3% de los días.

- Ciudad Juárez presenta excedencias significativas a las normas de calidad del aire; aún cuando no se puede precisar la magnitud del problema por falta de información, si se puede aseverar que se exceden frecuentemente las normas de ozono y partículas finas y ocasionalmente la de monóxido de carbono.
- Con respecto a las mediciones de corta duración efectuadas en otras ciudades, aunque estas deben considerarse como indicativas y no como representativas, destacan los niveles de ozono en Coatzacoalcos donde se presentó una violación a la norma, y los registrados en las ciudades de Torreón y Querétaro, donde los valores registrados se acercaron mucho a la norma.

En cuanto a las partículas fracción respirable estas se manifestaron en Piedras Negras, con un valor sobre la norma, y con valores cercanos a ella en Puebla, Monclova, Torreón, Gómez Palacio, Durango y Dos Bocas.

Será necesario continuar con la medición de la calidad del aire en los sitios identificados con problemas potenciales de contaminación, ya que las campañas que se llevaron a cabo fueron de pocos días y que, por otra parte, varias de estas localidades se encuentran en una etapa de rápido crecimiento.

- De acuerdo a los resultados de los análisis realizados, el mayor problema de contaminación del aire se tiene en la ciudad de México y luego en Guadalajara, donde los niveles de contaminación pueden ser considerados como graves, requiriendo la aplicación de medidas que seguramente serán de mediano y largo plazo y con erogaciones muy importantes.

La situación de Monterrey, Toluca y Ciudad Juárez puede considerarse como un problema no grave, pero que puede incrementarse con el tiempo, a menos que se ejecuten acciones para detener el deterioro de la calidad del aire.

- Los análisis aquí presentados, muestran la alta vulnerabilidad de ciudades como Guadalajara, en donde a pesar de tener tan sólo una quinta parte de los vehículos y una cuarta parte de la industria de la ciudad de México, puede sufrir serios problemas de contaminación si las condiciones meteorológicas son desfavorables.

En contraste, los niveles actuales de contaminación de otras ciudades parecen no acercarse a los 250 puntos IMECA, nivel de contingencia actualmente adoptado para zonas metropolitanas. Esto significa que existen oportunidades para que en esas ciudades se desarrollen y apliquen programas de carácter preventivo, de menor costo y de gran viabilidad en el corto y mediano plazos.

- Por último, será necesario continuar con la vigilancia permanente de la calidad de los combustibles que se suministran a nivel nacional, de tal forma que la evaluación de la calidad del aire proporcione una guía para el suministro de aquellos de mejor calidad donde se les requiera, a fin de cumplir con las normas de calidad del aire para protección de la salud.

ANEXOS

A. Inventarios desagregados de las zonas metropolitanas del Valle de México, Guadalajara, Monterrey y del Valle de Toluca

Tabla A1. Inventario de emisiones para la ZMVM, 1994 (ton/año)

<i>Tipo de Fuente</i>	<i>Partículas</i>	<i>SO₂</i>	<i>CO</i>	<i>NO_x</i>	<i>HC</i>	<i>Total</i>
Industria						
Generación de energía eléctrica	162.72	19.32	1,291.08	17,854.92	97.32	19,425.36
Refinación de petróleo/petroquímicas	6.84	84.96	4.68	28.44	157.56	282.48
Industria química	973.68	3,442.92	2,600.64	2,476.68	7,198.37	16,692.29
Minerales metálicos	549.84	621.84	1,458.36	553.44	461.04	3,644.52
Minerales no metálicos	1,675.32	11,710.56	323.28	4,933.56	3,167.64	21,810.36
Productos vegetales y animales	111.36	841.80	40.08	260.16	238.68	1,492.08
Madera y derivados	384.36	3,912.24	463.32	1,821.96	1,442.40	8,024.28
Productos de consumo alimenticio	799.32	2,110.56	405.96	1,069.44	397.08	4,782.36
Industria del vestido	459.96	2,404.80	733.92	1,091.16	605.04	5,294.88
Productos de consumo (varios)	66.60	108.72	74.16	678.36	303.84	1,231.68
Productos de impresión	775.92	19.44	15.00	13.68	5,015.04	5,839.08
Productos metálicos	196.92	559.08	653.40	467.88	1,547.64	3,424.92
Productos de consumo de vida media	98.88	37.80	100.68	69.96	599.40	906.72
Productos de consumo de vida larga	93.36	172.20	523.80	196.20	2,958.60	3,944.16
Artes gráficas	0.00	0.00	0.00	0.00	8,787.80	8,787.80
Otros	2.64	5.16	7.68	4.08	121.32	140.88

Primer Informe sobre la Calidad del Aire en Ciudades Mexicanas

Tipo de Fuente	Partículas	SO₂	CO	NOx	HC	Total
Servicios						
Lavado y desengrase	0.00	0.00	0.00	0.00	29,044.28	29,044.28
Consumo de solventes	0.00	0.00	0.00	0.00	42,005.30	42,005.30
Almac. y distribución de gasolina	0.00	0.00	0.00	0.00	20,127.12	20,127.12
Mercadeo y distribución de gas LP	0.00	0.00	0.00	0.00	242,272.03	242,272.03
Oper. de lavado en seco (tintorerías)	0.00	0.00	0.00	0.00	12,213.40	12,213.40
Superficies arquitectónicas	0.00	0.00	0.00	0.00	21,597.84	21,597.84
Panaderías	0.00	0.00	0.00	0.00	2,290.90	2,290.90
Pintura automotriz	0.00	0.00	0.00	0.00	5,975.50	5,975.50
Pintura de tránsito	0.00	0.00	0.00	0.00	3,381.05	3,381.05
Esterilización en hospitales	0.00	0.00	0.00	0.00	20.12	20.12
Incineración en hospitales	0.00	0.00	0.54	0.51	0.02	1.07
Uso de asfalto	0.00	0.00	0.00	0.00	19,095.32	19,095.32
Plantas de tratam. de aguas res.	0.00	0.00	0.00	0.00	56.10	56.10
Combustión en hospitales	8.13	20.13	18.43	73.57	2.89	123.15
Combustión residencial	372.10	1,483.23	729.50	3,807.70	289.73	6,682.26
Combustión comercial/institucional	696.54	5,713.44	199.66	1,457.14	61.22	8,128.00
Transporte						
Auto particular	10,321.00	6,061.50	1,044,008.00	31,913.00	253,865.70	1,346,169.20
Pick-up	1,049.00	353.80	73,419.40	2,675.30	19,373.64	96,871.14
Microbús	397.00	827.40	224,077.60	9,395.70	66,472.89	301,170.59
Combi	42.00	650.40	134,954.00	4,918.00	35,108.70	175,673.10
Taxi	612.63	3,072.70	529,530.00	15,982.00	126,574.80	675,772.13
Autobus (R-100)	1,900.00	366.00	5,655.00	6,751.30	2,337.20	17,009.50
Foráneos, suburbanos	120.00	102.20	57,332.70	2,485.60	2,055.10	62,095.60
De carga	360.00	37.00	271,321.10	5,867.60	46,099.68	323,685.38
De carga (más de dos ejes)	1,902.00	266.00	4,735.80	7,204.00	2,079.50	16,187.30
Autobus municipal	2,075.00	400.00	1,777.70	2,591.40	781.60	7,625.70
Locomotoras	38.52	26.28	50.52	414.00	16.84	546.16
Locomotoras de patio	24.91	36.50	52.12	293.96	29.59	437.08
Aeropuerto	0.00	0.00	1,583.23	1,294.89	523.43	3,401.55
Vegetación						
Vegetación	0.00	0.00	0.00	0.00	38,909.00	38,909.00
Suelos						
Suelos	425,337.00	0.00	0.00	0.00	0.00	425,337.00
Total	451,613.55	45,467.98	2,358,141.34	128,645.59	1,025,759.26	4,009,627.72

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.

Tabla A2. Inventario de emisiones para la ZMG, 1995 (ton/año)

Tipo de Fuente	Partículas	SO₂	CO	NOx	HC	Pb	Total
Industria							
Industria química	62.04	204.12	11.88	89.40	332.16	N/E	699.60
Minerales metálicos	290.76	140.40	1,111.68	97.92	2.40	N/E	1,643.16
Minerales no metálicos	543.84	1,000.08	56.40	1,517.40	11.16	N/E	3,128.88
Productos vegetales y animales	23.28	226.68	13.32	101.16	2.28	N/E	366.72
Madera y derivados	3.48	41.28	0.48	10.92	34.32	N/E	90.48
Productos de consumo alimenticio	433.68	2,547.96	76.32	846.36	12.72	N/E	3,917.04
Industria del vestido	37.68	55.20	1.68	14.64	0.84	N/E	110.04
Productos de consumo varios	115.44	1,173.00	32.16	390.84	99.84	N/E	1,811.28
Productos de impresión	5.16	64.20	1.32	17.64	1,879.32	N/E	1,967.64
Productos metálicos	2.88	5.16	2.28	2.40	91.80	N/E	104.52
Productos de consumo de vida media	67.08	4.68	13.08	47.52	447.20	N/E	579.56
Productos de consumo de vida larga	0.36	2.16	0.24	0.72	32.52	N/E	36.00
Otros	9.24	41.52	0.72	11.26	10.68	N/E	73.42
Artes gráficas	N/E	N/E	N/E	N/E	1,311.59	N/E	1,311.59
Servicios							
Lavado y desengrase	N/A	N/A	N/A	N/A	6,066.09	N/A	6,066.09
Consumo de solventes	N/A	N/A	N/A	N/A	13,771.66	N/A	13,771.66
Transporte y venta de gasolina	N/A	N/A	N/A	N/A	13,601.00	N/A	13,601.00
Mercadeo y distribución de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	9,170.00	N/A	9,170.00
Oper. de lavado en seco (tintorerías)	N/E	N/A	N/A	N/A	2,688.75	N/A	2,688.75
Superficies arquitectónicas	N/A	N/A	N/A	N/A	4,754.50	N/A	4,754.50
Panaderías	N/E	N/E	N/E	N/E	1,914.92	N/A	1,914.92
Pintura automotriz	N/E	N/A	N/A	N/A	1,344.38	N/A	1,344.38
Pintura de tránsito	N/E	N/A	N/A	N/A	651.58	N/A	651.58
Esterilización en hospitales	N/A	N/A	N/A	N/A	9.35	N/A	9.35
Uso de asfalto	N/E	N/A	N/A	N/E	3,257.27	N/A	3,257.27
Combustión en hospitales	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	N/A	1.20
Combustión residencial	27.38	0.04	720.90	182.50	13.69	N/A	944.51
Combustión comercial/institucional	12.24	117.48	7.68	34.92	4.44	N/A	176.76
Transporte							
Autos particulares	768.00	1,305.00	585,755.00	22,109.00	53,816.00	86.00	663,839.00
Pick-up	398.00	333.00	147,946.00	5,584.00	13,592.00	22.00	167,875.00
Taxis	45.00	77.00	34,335.00	1,296.00	3,155.00	5.00	38,913.00
Camiones de pasajeros	2,460.00	385.00	62,566.00	2,362.00	5,748.00	N/A	73,521.00
Camiones de carga	2,160.00	338.00	54,936.00	2,074.00	5,047.00	N/A	64,555.00
Motocicletas	14.00	23.00	10,453.00	395.00	960.00	2.00	11,847.00
Suelos							
Suelos	294,304.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	294,304.00
Total	301,783.78	8,085.20	898,041.38	37,185.14	143,834.70	115.00	1'389,046.90

N/E: No estimado

N/A: No aplica

Fuente: Gobierno del Estado de Jalisco, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Secretaría de Salud, Programa para el Mejoramiento de la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana de Guadalajara 1997-2001, 1997.

Tabla A3. Inventario de emisiones para la ZMM, 1995 (ton/año)

Tipo de fuente	Partículas	SO₂	CO	NOx	HC	Pb	Total
Industria							
Generación de energía eléctrica	308	3,432	594	11,432	52	N/E	15,818
Refinación de petróleo/petroquímicas	9	1	210	10	844	N/E	1,074
Industria química	1,169	3,459	598	983	2,625	N/E	8,834
Minerales metálicos	186	100	650	141	22	N/E	1,099
Minerales no metálicos	42,898	19,798	348	4,982	46	N/E	68,072
Productos vegetales y animales	21	301	5	73	1	N/E	401
Madera y derivados	42	516	58	319	6	N/E	941
Productos de consumo alimenticio	23	281	92	154	3	N/E	553
Productos de consumo varios	70	1	5	19	1	N/E	96
Productos metálicos	126	105	250	240	348	N/E	1,069
Productos de consumo de vida media	741	2	460	135	165	N/E	1,503
Productos de consumo de vida larga	353	1	11	61	439	N/E	865
Artes Gráficas	N/A	N/A	N/A	N/A	1,026	N/A	1,026
Servicios							
Lavado y desengrase	N/A	N/A	N/A	N/A	4,744	N/A	4,744
Consumo de solventes	N/A	N/A	N/A	N/A	10,771	N/A	10,771
Almac y distribución de combustibles	N/A	N/A	N/A	N/A	7,000	N/A	7,000
Mercadeo y distribución de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	5,654	N/A	5,654
Oper. de lavado en seco (tintorerías)	N/E	N/A	N/A	N/A	2,102	N/A	2,102
Superficies arquitectónicas	N/E	N/A	N/A	N/A	3,718	N/A	3,718
Panaderías	N/E	N/E	N/E	N/E	749	N/A	749
Pintura automotriz	N/E	N/A	N/A	N/A	1,051	N/A	1,051
Pintura de tránsito	N/E	N/A	N/A	N/A	582	N/A	582
Esterilización en hospitales	N/A	N/A	N/A	N/A	61	N/A	61
Uso de asfalto	N/E	N/A	N/A	N/A	210	N/A	210
Combustión residencial	14	N/S	8	412	16	N/A	450
Combustión comercial/institucional	2	N/S	N/S	46	2	N/A	50
Transporte							
Autos particulares	581	987	443,074	16,724	40,707	65	502,138
Pick-up	737	627	281,242	10,616	25,839	41	319,102
Taxis	80	137	61,345	2,316	5,636	9	69,523
Camiones pasajeros	2,943	461	74,850	2,825	6,877	N/A	87,967
Camiones carga	1,596	250	40,592	1,532	3,729	N/A	47,705
Motocicletas	4	7	3,052	115	280	1	3,459
Aeropuerto	N/A	N/A	318	140	69	N/A	527
Suelos							
Suelos	763,725	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	763,725
Total	815,628	30,466	907,762	53,275	125,375	116	1,932,622

Nota: N/A No Aplica N/E No Estimado N/S No Significativo

Fuente: Gobierno del Estado de Nuevo León, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Secretaría de Salud, Programa de Administración de la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Monterrey 1997-2000, 1997

Tabla A4. Inventario de emisiones para la ZMVT, 1996 (ton/año)

Tipo de Fuente	Partículas	SO₂	CO	NOx	HC	Pb	Total
Industria							
Industria química	314	4,428	50	888	894	N/E	6,574
Minerales metálicos	4	15	9	35	1	N/E	64
Minerales no metálicos	94	23	9	261	6	N/E	393
Productos vegetales y animales	5	236	2	27	1	N/E	271
Madera y derivados	300	3,225	27	667	6	N/E	4,225
Productos de consumo alimenticio	21	139	46	120	50	N/E	374
Industria del vestido	31	55	39	31	4	N/E	160
Productos de consumo varios	24	251	9	82	1,022	N/E	1,388
Productos de impresión	0	0	0		4	N/E	4
Productos metálicos	251	71	3	12	217	N/E	553
Productos de consumo de vida media	19	210	4	46	288	N/E	567
Productos de consumo de vida larga	190	12	5	17	333	N/E	558
Otros	1	2	1	1	1	N/E	6
Artes gráficas	N/A	N/A	N/A	N/A	580	N/E	580
Servicios							
Lavado y desengrase	N/A	N/A	N/A	N/A	3,214	N/A	3,214
Consumo de solventes	N/A	N/A	N/A	N/A	4,499	N/A	4,499
Almac. y distribución de combustibles	N/A	N/A	N/A	N/A	1,289	N/A	1,289
Mercadeo y distribución de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	3,194	N/A	3,194
Oper. de lavado en seco (tintorerías)	N/E	N/A	N/A	N/A	845	N/A	845
Superficies arquitectónicas	N/A	N/A	N/A	N/A	2,054	N/A	2,054
Panaderías	N/E	N/E	N/E	N/E	138	N/A	138
Pintura automotriz	N/E	N/A	N/A	N/A	826	N/A	826
Pintura de tránsito	NE	N/A	N/A	N/A	39	N/A	39
Esterilización en hospitales	N/A	N/A	N/A	N/A	4	N/A	4
Combustión en hospitales	3	118	1	4	1	N/A	127
Combustión residencial	6	1	157	40	3	N/A	207
Combustión comercial/institucional	6	87	1	18	1	N/A	113
Transporte							
Autos particulares	998	771	111,730	5,262	11,477	51	130,289
Pick-up	763	590	136,639	6,069	11,826	39	155,926
Taxis	134	104	14,992	706	1,540	7	17,483
Camiones de pasajeros	399	146	3,854	5,540	1,691	N/A	11,630
Camiones de carga	83	31	803	1,557	352	N/A	2,826
Motocicletas	19	7	362	5	81	N/E	474
Suelos							
Suelos	119,711	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	119,711
Total	123,375	10,522	268,742	21,389	46,481	97	470,606

N/E: No estimado

N/A: No aplica

Fuente: Gobierno del Estado de México, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. *Aire Limpio: Programa para el Valle de Toluca 1997-2000*, 1997.

B. Monitoreo de la calidad del aire

Métodos de medición de los contaminantes

Para llevar a cabo las mediciones de las concentraciones de los contaminantes en el aire se emplean técnicas y procedimientos estandarizados y que fueron publicados como Normas Oficiales Mexicanas, contándose con métodos de referencia y equivalentes. Los de referencia son los métodos más precisos y selectivos pero que para algunos contaminantes sólo resultan prácticos de llevar a cabo en el laboratorio y no así en campo. Por ello se emplean métodos equivalentes que proporcionan una precisión y selectividad apropiados a las condiciones ambientales y que son factibles de aplicar en campo de manera confiable y permanente. La tabla siguiente resume los principios de los métodos de medición de los contaminantes del aire.

Tabla B.1. Métodos de medición de contaminantes del aire

Contaminante	Método de referencia	Método equivalente
SO ₂	Pararrosanilina (manual)	Fluorescencia (automático)
CO	Fotometría infrarroja (automático)	
O ₃	Quimiluminiscencia (automático)	Fotometría ultravioleta (automático)
NO _x	Quimiluminiscencia (automático)	
PST	Muestreo de alto volumen (manual), incluye Pb	
PM10	Muestreo de alto volumen (manual)	Atenuación beta (automático)

Descripción de los métodos

Bióxido de azufre: El método de referencia para la determinación del SO₂, es el proceso de química húmeda desarrollado por West y Gake, denominado “*de la pararrosanilina*”. Un volumen de aire se hace pasar, a flujo constante y controlado, durante un tiempo determinado por un burbujeador en el que se ha colocado una solución absorbente, que retiene las moléculas del contaminante y reacciona con los componentes de la solución. Al finalizar el período de muestreo, generalmente de 24 horas, la solución es trasladada al laboratorio donde se efectúan los análisis mediante la técnica de colorimetría. A mayor concentración de SO₂, la solución desarrollará un color más intenso, que va de rosa pálido a púrpura.

La técnica considerada como método equivalente es un procedimiento totalmente automatizado, que si bien no es tan exacto como el de referencia, ofrece una precisión y consistencia aceptables. En este caso se utiliza la característica que tiene el SO₂ de absorber luz ultravioleta y liberarla en forma de luz fluorescente. La intensidad de la fluorescencia es directamente proporcional a la concentración del SO₂. Todo el proceso se lleva a cabo en condiciones controladas, dentro del analizador.

Monóxido de carbono: Este contaminante se mide aprovechando la característica particular que posee de absorber luz infrarroja al exponerse a un trayecto óptico por donde se desplaza este tipo de energía. La medición tiene lugar dentro de una cámara, en la que un detector capta las variaciones de intensidad de la luz infrarroja y mediante un procesador electrónico, calcula la concentración del contaminante. Este es el único método reconocido para el monitoreo continuo de CO en aire ambiente.

Ozono: Para medir las concentraciones de ozono en el aire ambiente, el método de referencia involucra una reacción química entre el ozono y el etileno que se proporciona específicamente, dentro de una cámara especialmente diseñada que contiene dispositivos ópticos para captar las señales luminosas resultantes de la reacción. Amplificadas y convertidas en una señal eléctrica, ésta es proporcional a la concentración de ozono en la muestra de aire.

El método equivalente utiliza la propiedad del ozono para absorber parte de un haz de luz ultravioleta dirigido a través de un trayecto óptico en el que se confina una muestra de aire con contaminante. Las variaciones en la intensidad de la luz que se detectan en el sistema, están asociadas a las concentraciones del ozono.

Dióxido de nitrógeno: Este contaminante se mide mediante la reacción que se lleva a cabo, dentro de una cámara especialmente diseñada y acondicionada, entre el NO₂ y ozono generado en exceso por el mismo instrumento, resultando una emisión de fotones en cantidades variables, de acuerdo a la concentración del contaminante que llega a la cámara de reacción como parte de los componentes de la muestra de aire. La corriente de fotones es amplificada y convertida a voltaje para su interpretación.

Como métodos alternativos, existen algunas técnicas de química húmeda, de poca aplicación práctica debido a la diversidad de factores de error que se acumulan al utilizarlas en campo.

Partículas suspendidas totales: Para el muestreo del material sólido que flota en el aire ambiente, se utiliza el método de alto volumen, que consiste en hacer pasar un flujo de aire a gran velocidad, a través de un medio filtrante de fibra de vidrio en el que se retienen las partículas con diámetros dinámicos de entre 0.1 y 100 micrones. En este método es absolutamente indispensable mantener el control y tener conocimiento de la tasa de flujo y del volumen total de aire que se muestreó durante las 24 horas que es, por lo regular, el período recomendado para la toma de las muestras. También se requiere conocer el peso del filtro antes y después del muestreo, por lo que éste se acondiciona durante 24 horas en una cámara, donde se controlan la temperatura y la humedad relativa. Posterior a la determinación de la masa de material, la muestra es susceptible de someterse a análisis físico-químicos para el análisis de plomo y otros metales pesados, así como de sulfatos y nitratos.

Este mismo método es el que se utiliza para el muestreo de partículas suspendidas fracción respirable o PM10 aplicando otro tipo de cabezal para separar las partículas finas de las gruesas.

Control de calidad y aseguramiento de calidad de las mediciones

Con el propósito de evaluar la calidad de los resultados analíticos de un monitor de contaminantes atmosféricos, es necesario llevar a cabo un programa de auditorías en todas las fases del proceso de monitoreo. Un programa de auditorías debe contemplar las siguientes actividades:

- Calibración.
- Verificación de cero/span y los ajustes subsecuentes.
- Revisión de los datos resultantes de las verificaciones.
- Mantenimiento preventivo y/o correctivo.

Calibración

La calibración de los equipos de monitoreo consiste en determinar la respuesta de los instrumentos a concentraciones conocidas y en ajustarla a la curva correspondiente. La calibración se efectúa en el momento inicial de la instalación y activación del monitor, recalibrándose nuevamente durante su operación:

- En períodos no mayores de tres meses a partir de la más reciente calibración o auditoría.
- Enseguida de una interrupción de más de tres días en la operación de un analizador.
- Después de cualquier reparación que involucre el cambio de uno o más componentes mayores.
- Al cambiar físicamente el analizador de un lugar a otro.
- Cuando haya cualquier evidencia de inexactitud significativa del analizador.

Verificaciones de la variación de cero y span

Estas verificaciones son parte integral de los programas de control y garantía de calidad aplicables a los monitores continuos para contaminantes gaseosos y son de utilidad para:

- Indicar cuando es necesario efectuar ajustes al analizador en sus niveles de cero y/o span.
- Proporcionar un criterio de decisión de cuando se debe recalibrar un instrumento.
- Establecer las bases para tomar la decisión de invalidar los datos generados por el monitor.

Las verificaciones de cero y span deberán desarrollarse por lo menos una vez cada dos semanas o con una mayor frecuencia si el desempeño del instrumento indica que es necesario.

C. Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA)

Un índice de calidad del aire pondera y transforma las concentraciones de un conjunto de contaminantes a un número adimensional, el cual indica el nivel de contaminación presente en una localidad determinada y puede ser fácilmente entendido por el público.

El procedimiento para manejar las concentraciones de los contaminantes con objeto de obtener un número significativo depende básicamente del algoritmo que se utilice particularmente en el índice. El problema con el que se han enfrentado aquellos quienes desarrollan estos indicadores de calidad del aire, consiste en determinar como ponderar los efectos de los contaminantes.

Dentro de los diversos índices utilizados en el mundo se ha propuesto un cierto número de factores de ponderación, siendo el más aceptable aquel que considera las normas de calidad del aire como la base para determinar los efectos, dicho enfoque ha sido utilizada en el desarrollo de índices tales como: PINDEX, Oak Ridge Air Quality Index (ORAQI), Mitre Air Quality Index (MAQI), Extreme Value Index (EVI), Pollutant Standard Index (PSI).

En 1975, Thom y Ott investigaron todas las estructuras de índices de contaminación del aire en uso en E.U.A. y Canadá, así como los existentes en la literatura, con objeto de comparar y evaluar más de 50 diferentes tipos; desarrollaron un sistema de clasificación de índices y utilizando dicho sistema identificaron las características óptimas que debería poseer el índice PSI, posteriormente modificado ligeramente y adoptado por el Gobierno de E.U.A.

El PSI incluye 6 variables de contaminantes del aire {CO, NO₂, O₃, PST, SO₂ y el producto de PST x SO₂}, utiliza funciones lineales segmentadas para el cálculo de los subíndices, incorporando de forma simple los máximos permisibles fijados por el gobierno y se calcula el "Modo Máximo", esto es reportando únicamente el subíndice del contaminante más elevado que resulte. Los subíndices utilizan como puntos de quiebre la norma primaria norteamericana de calidad del aire, los criterios de episodios y los niveles de daño significativo.

Tabla C.1. Categorías descriptivas del PSI

Bueno	0 - 50
Moderado	51 - 100
Insalubre	101 - 199
Muy Insalubre	200 - 299
Peligroso	300 o más

El PSI se basa en parte en los niveles de contaminación fijados como criterios federales de episodios, esto es, las concentraciones asociadas a los niveles de alerta, peligro y emergencia; no se fundamentan completamente en información rigurosamente científica, sino que están recomendados para orientar acciones para disminuir la contaminación atmosférica en áreas metropolitanas, a muy corto plazo.

En México, basados en la revisión bibliográfica previa de los índices de calidad del aire, se decidió por un enfoque que incluyera tanto las normas de calidad del aire como los niveles de daño significativo, como bases para ponderar los efectos de los contaminantes. Más que un enfoque basado únicamente en las normas de calidad del aire, toma en consideración un enfoque más realista puesto que permite utilizar factores de ponderación que cambian con los diferentes niveles de contaminación y que además permite elaborar los reportes diarios de calidad del aire.

El IMECA se basa en la utilización de funciones lineales segmentadas, similares a las utilizadas en el PSI, por lo que no se debe olvidar que las funciones lineales segmentadas de éste corresponden a los estándares primarios norteamericanos de calidad del aire, los criterios de episodios y los niveles de daño significativo. Cuando se elaboró el IMECA en México no existían Normas Oficiales Mexicanas de calidad del aire, ni criterios de episodios, ni de daño significativo; sin embargo, esta dificultad fue superada a través del desarrollo de puntos de quiebre basados en información local y utilizando la misma filosofía con la que se definió el PSI.

Las variables seleccionadas para su inclusión en el índice de calidad del aire fueron las mismas que las del PSI y se consideró la información disponible en México, seleccionándose CO, O₃, NO₂, PST, PM10 y SO₂.

La función que define el índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA) se expresa de la siguiente manera:

$$\text{IMECA} = \text{máx} (I_1, I_2, I_3, \dots, I_n)$$

Donde $I_1, I_2, I_3, \dots, I_n$ son los subíndices individuales para cada uno de los contaminantes. Los subíndices se calculan utilizando funciones lineales segmentadas que se basan en los puntos de quiebre de los valores de la siguiente tabla:

Tabla C.2. Puntos de quiebre del IMECA

	PST	PM10	SO₂	NO₂	CO	O₃
IMECA	(24hr)	(24hr)	(24hr)	(1hr)	(8hr)	(1hr)
	µg/m ³	µg/m ³	ppm	ppm	ppm	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	1.1	31	0.35
400	864	510	0.78	1.6	41	0.48
500	1000	600	1.00	2.00	50	0.60

La calidad del aire se considera no satisfactoria si el valor del IMECA se sitúa entre 101 y 200, mala entre 201 y 300; muy mala cuando se encuentra por arriba de 300.

El IMECA reporta el modo máximo y sus términos descriptivos están basados en los efectos umbrales a corto plazo y en los niveles de daño significativo. Cuando se elaboró el IMECA por primera vez, para fijar el valor 100 del índice se utilizaron los valores de los Criterios de Calidad del Aire publicados el 29 de noviembre de 1982. Las concentraciones para los valores de 200, 300 y 400 del índice se determinaron dividiendo el intervalo entre el criterio de calidad del aire y el nivel de daño significativo (valor 500 del IMECA), en 4 partes iguales. Para el subíndice correspondiente a PM10 se llevaron a cabo estudios de correlación para determinar los puntos de quiebre de las mediciones de partículas.

La sustitución de los criterios de calidad del aire de 1982 por las Normas Oficiales Mexicanas de calidad del aire, el 23 de diciembre de 1994, hizo que se actualizara el Índice Mexicano de la Calidad del Aire con los nuevos valores.

A continuación se presenta una lista descriptiva de efectos en la salud a diferentes niveles IMECA y algunas recomendaciones para prevenirlos.

Nivel IMECA	Posibles efectos en la salud	Medidas de tipo preventivo
0 a 100	<ul style="list-style-type: none"> • No se presentan efectos negativos en la salud de la población. • Es posible realizar todo tipo de actividad física por todos los grupos humanos. 	<ul style="list-style-type: none"> • En este nivel, no es necesaria ninguna medida de tipo preventivo.
101 a 250	<ul style="list-style-type: none"> • Se presenta irritación conjuntival o dolor de cabeza en cualquier grupo de la población. • Los enfermos del corazón o de los pulmones reactivan los síntomas de sus padecimientos. • Los niños lactantes, los ancianos y los fumadores, presentan trastornos funcionales del aparato respiratorio y cardiovascular como aumento de su frecuencia respiratoria, sensación de falta de aire y palpitaciones. • La población general sana, presenta molestias como ardor de ojos, dolor de cabeza, aumento de su frecuencia respiratoria, sensación de falta de aire y palpitaciones, sobre todo al realizar alguna actividad intensa. 	<ul style="list-style-type: none"> • En este nivel, deben adoptarse conductas generales que disminuyan la exposición a la atmósfera contaminada, especialmente por parte de la población que presenta características de riesgo o mayor susceptibilidad, como los niños, ancianos, embarazadas y los enfermos crónicos del corazón o los pulmones; es recomendable para toda la población la adopción de las siguientes recomendaciones: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Evitar la exposición a la atmósfera contaminada. ➤ No realizar ejercicio o actividad física intensa al aire libre. ➤ Permanecer en ambientes cerrados mientras dure el episodio de contaminación elevada.

251 a 350	<ul style="list-style-type: none"> • Los niños lactantes, los ancianos y los fumadores, pueden presentar las molestias descritas para el nivel anterior además de alteraciones de tipo inflamatorio (tos, expectoración y espasmo bronquial) en su sistema respiratorio. • La población general sana, puede ser que presente trastornos funcionales del aparato respiratorio y cardiovascular, como aumento de su frecuencia cardíaca y respiratoria, sensación de falta de aire y palpitaciones, sobre todo si realiza ejercicio o actividad física al aire libre. 	<ul style="list-style-type: none"> • A partir de este nivel de contaminación, es recomendable para todos los grupos de población y especialmente para los grupos con mayor susceptibilidad, adoptar las siguientes medidas: <ul style="list-style-type: none"> ➢ Evitar la exposición a la atmósfera contaminada. ➢ No realizar ejercicio o actividad física intensa al aire libre. ➢ Permanecer en ambientes cerrados mientras dure el episodio de contaminación. ➢ Evitar agresiones adicionales del aparato respiratorio: ➢ Evitar fumar y la exposición al humo de tabaco. ➢ Evitar los cambios bruscos de temperatura. ➢ Disminuir el contacto con personas que presenten infecciones de las vías respiratorias.
351 en adelante	<ul style="list-style-type: none"> • A partir de estos niveles de contaminación, algunos reportes de investigación señalan la posibilidad de que: <ul style="list-style-type: none"> ➢ Los enfermos crónicos de los pulmones o del corazón, reactiven su padecimiento de base. ➢ Los niños lactantes, los ancianos y los fumadores, pueden presentar alteraciones de tipo inflamatorio en su aparato respiratorio (tos, expectoración y espasmo bronquial). ➢ La población general sana está en riesgo de presentar alteraciones de tipo inflamatorio en su aparato respiratorio, aún sin realizar ejercicio o actividad física intensa, si se encuentran al aire libre. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reforzar los mecanismos naturales de defensa del organismo, mediante: <ul style="list-style-type: none"> ➢ Ingesta abundante de líquidos, preferentemente de jugos naturales de frutas. ➢ Consumir abundantes frutas y legumbres. • Atención médica oportuna. • Las personas susceptibles deben acudir al médico si presentan reactivación de sus padecimientos. • Las mascarillas, purificadores de aire o inhalación de oxígeno, no constituyen medidas científicamente comprobadas de protección ante la elevación de los niveles de contaminación atmosférica y su empleo indiscriminado, se puede presentar incremento en el riesgo para los grupos susceptibles. • Mantenerse atento a las recomendaciones de las Instituciones del Sistema Nacional de Salud, a través de los medios de comunicación.

D. Resumen de datos de calidad del aire de 1996

Zona Metropolitana del Valle de México

Tabla D.1 Porcentaje y número de días que se sobrepasan los 100, 150, 200 y 250 puntos IMECA

Zona noroeste										
	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.		
O ₃	71.9	263	34.7	127	5.2	19	0.3	1	366	
PM10	19.9	73	0.5	2	0	0	0	0	366	
CO	1.6	6	0	0	0	0	0	0	366	
NO ₂	15.8	58	0.5	2	0	0	0	0	366	
SO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	366	

Zona noreste										
	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.		
O ₃	35.8	131	3.6	13	0.3	1	0	0	366	
PM10	44.0	161	5.2	19	0	0	0	0	366	
CO	0	0	0	0	0	0	0	0	366	
NO ₂	2.5	9	0	0	0	0	0	0	366	
SO ₂	0.5	2	0	0	0	0	0	0	366	

Zona centro										
	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.		
O ₃	78.7	288	33.1	121	4.4	16	0	0	366	
PM10	0.5	2	0	0	0	0	0	0	366	
CO	0.8	3	0	0	0	0	0	0	366	
NO ₂	7.7	28	0	0	0	0	0	0	366	
SO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	366	

Zona suroeste										
	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.		
O ₃	83.9	307	50.3	184	13.4	49	0.5	2	366	
PM10	0	0	0	0	0	0	0	0	366	
CO	0	0	0	0	0	0	0	0	366	
NO ₂	4.6	17	0	0	0	0	0	0	366	
SO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	366	

Zona sureste

	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.	
O ₃	76.8	281	30.1	110	2.7	10	0.5	2	366
PM10	6.6	24	0	0	0	0	0	0	366
CO	0	0	0	0	0	0	0	0	366
NO ₂	4.1	15	0	0	0	0	0	0	366
SO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	366

Tabla D.2
IMECA máximo por zona y por contaminante

Zona	O ₃	PM10	CO	NO ₂	SO ₂
Noroeste	269	173	142	157	74
Noreste	245	177	81	141	122
Centro	138	102	106	138	73
Suroeste	274	97	80	127	50
Sureste	263	142	83	132	88

Tabla D.3
IMECA máximo mensual por contaminante

Mes	O ₃	PM10	CO	NO ₂	SO ₂
Enero	269	177	121	157	88
Febrero	245	156	98	141	45
Marzo	205	147	87	125	56
Abril	200	173	92	113	38
Mayo	230	139	73	104	50
Junio	229	154	72	104	43
Julio	243	172	78	89	46
Agosto	231	88	106	75	65
Septiembre	248	87	87	111	65
Octubre	274	122	77	127	50
Noviembre	263	124	78	153	122
Diciembre	236	154	142	137	83

Zona Metropolitana de Guadalajara

Tabla D.4 Porcentaje y número de días que se sobrepasan los 100, 150, 200 y 250 puntos IMECA

Zona norte

	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.	
O ₃	37.2	136	10.7	39	1.6	6	0.5	2	366
PM10	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

	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.	
O ₃	35.7	124	11.8	41	2.3	8	0.9	3	347
PM10	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

	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.	
O ₃	35.7	130	8.2	30	0.5	2	0.0	0	364
PM10	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

	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.	
O ₃	32.7	118	10.8	39	1.4	5	0.0	0	361
PM10	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

	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.	
O ₃	33.2	119	9.8	35	2.8	10	0.3	1	358
PM10	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

Tabla D.5
IMECA máximo por zona y por contaminante

Zona	O ₃	PM10	CO	NO ₂	SO ₂
Poniente	288	133	94	117	57
Norte	265	115	112	95	75
Centro	212	125	185	99	39
Oriente	227	174	113	108	46
Sur	267	185	82	94	36

Tabla D.6
IMECA máximo mensual por contaminante

Mes	O ₃	PM10	CO	NO ₂	SO ₂
Enero	204	159	143	99	46
Febrero	182	185	108	83	52
Marzo	153	128	44	84	42
Abril	197	174	68	78	32
Mayo	229	132	61	95	44
Junio	240	139	38	108	57
Julio	213	74	55	71	37
Agosto	179	108	48	79	20
Septiembre	208	103	65	117	24
Octubre	288	110	83	74	75
Noviembre	218	140	141	117	36
Diciembre	200	135	185	87	33

Zona Metropolitana de Monterrey

**Tabla D.7 Porcentaje y número de días que se sobrepasan los
100, 150, 200 y 250 puntos IMECA
Zona noroeste**

	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.	
O ₃	0.6	2	0	0	0	0	0	0	356
PM10	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

	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.	
O ₃	0.3	1	0	0	0	0	0	0	352
PM10	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

	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.	
O ₃	2.5	9	0.3	1	0	0	0	0	365
PM10	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

	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.	
O ₃	4.4	16	0	0	0	0	0	0	366
PM10	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

	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.	
O ₃	2.5	9	0.3	1	0	0	0	0	366
PM10	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

Tabla D.8
IMECA máximo por zona y por contaminante

Zona	O ₃	PM10	CO	NO ₂	SO ₂
Noroeste	114	208	83	77	83
Noreste	100	192	103	77	81
Centro	128	181	74	90	66
Suroeste	137	177	83	61	83
Sureste	153	186	74	69	50

Tabla D.9
IMECA máximo mensual por contaminante

Mes	O ₃	PM10	CO	NO ₂	SO ₂
Enero	115	208	83	90	33
Febrero	105	125	50	56	31
Marzo	99	181	26	69	37
Abril	122	129	29	55	34
Mayo	103	62	17	35	45
Junio	101	53	15	35	41
Julio	103	61	27	41	59
Agosto	89	83	83	28	83
Septiembre	137	131	44	49	81
Octubre	127	87	30	49	29
Noviembre	153	134	75	58	16
Diciembre	114	134	103	73	26

Zona Metropolitana del Valle de Toluca

Tabla D.10 Porcentaje y número de días que se sobrepasan los 100, 150, 200 y 250 puntos IMECA¹

Zona centro

	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.	
O ₃	9.0	28	0.6	2	0.0	0	0.0	0	312
PST	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	52
CO	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	361
NO ₂	2.0	7	0.0	0	0.0	0	0.0	0	356
SO ₂	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	339

Zona norte

	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.	
O ₃	5.5	19	0.6	2	0.0	0	0.0	0	344
PST	19.2	10	0.0	0	0.0	0	0.0	0	52
CO	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	331
NO ₂	0.8	3	0.0	0	0.0	0	0.0	0	360
SO ₂	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	348

Zona sur

	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.	
O ₃	8.1	29	0.3	1	0.0	0	0.0	0	360
PST	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	52
CO	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	349
NO ₂	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	340
SO ₂	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	359

¹ Para las PST, los valores se refieren al porcentaje y número de muestreos que rebasan los valores IMECA indicados en las tablas.

Tabla D.11

IMECA máximo por zona y por contaminante

Zona	O ₃	PST	CO	NO ₂	SO ₂
Centro	156	83	68	122	33
Sur	162	98	62	116	50
Norte	192	130	80	94	28

Tabla D.12

IMECA máximo mensual por contaminante

Mes	O ₃	PST	CO	NO ₂	SO ₂
Enero	156	-	80	122	29
Febrero	134	108	55	68	26
Marzo	113	110	36	53	35
Abril	110	95	46	115	26
Mayo	149	110	49	103	32
Junio	106	38	47	68	24
Julio	122	57	45	32	39
Agosto	99	71	43	74	33
Septiembre	99	38	65	68	37
Octubre	153	64	54	102	50
Noviembre	125	105	66	97	46
Diciembre	192	130	62	102	49

Ciudad Juárez

**Tabla D.13 Número de días que se sobrepasan los
100, 150, 200 y 250 puntos IMECA**

Zona noreste

	Mayor o igual a 100	Mayor o igual a 150	Mayor o igual a 200	Mayor o igual a 250
O ₃	8	0	0	0
PM10	0	0	0	0
CO	0	0	0	0

Zona centro

	Mayor o igual a 100	Mayor o igual a 150	Mayor o igual a 200	Mayor o igual a 250
O ₃	-	-	-	-
PM10	1	0	0	0
CO	-	-	-	-

Zona suroeste

	Mayor o igual a 100	Mayor o igual a 150	Mayor o igual a 200	Mayor o igual a 250
O ₃	9	0	0	0
PM10	14	0	0	0
CO	1	0	0	0

Zona sur

	Mayor o igual a 100	Mayor o igual a 150	Mayor o igual a 200	Mayor o igual a 250
O ₃	-	-	-	-
PM10	1	0	0	0
CO	-	-	-	-

Tabla D.14
IMECA máximo por zona y por contaminante

Zona	O ₃	PM10	CO
Noreste	148	71	71
Centro	-	109	-
Suroeste	165	179	102
Sur	-	102	-

Tabla D.15
IMECA máximo mensual por contaminante

Mes	O ₃	PM10	CO
Enero	57	129	74
Febrero	76	134	51
Marzo	82	149	59
Abril	117	87	37
Mayo	128	57	42
Junio	113	113	49
Julio	110	98	10
Agosto	93	115	10
Septiembre	107	107	33
Octubre	165	179	63
Noviembre	115	163	102
Diciembre	148	62	62

¹ Para las PST, los valores se refieren al porcentaje y número de muestreos que rebasan los valores IMECA indicados en las tablas.