

DIRECTORIO

LIC. ANDRÉS MANUEL LÓPEZ OBRADOR
Jefe de Gobierno del Distrito Federal

DRA. CLAUDIA SHEINBAUM PARDO
Secretaria del Medio Ambiente

DR. VÍCTOR HUGO PÁRAMO FIGUEROA
Director General de Gestión Ambiental del Aire

M. EN C. RAFAEL RAMOS VILLEGAS
Director de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico

BIÓL. ROBERTO MUÑOZ CRUZ
SUBDIRECTOR DE ANÁLISIS E
INFORMACIÓN

**TÉC. ARMANDO RETAMA
HERNÁNDEZ**
SUBDIRECTOR DE MONITOREO
ATMOSFÉRICO

ING. ALEJANDRO RÍOS MEJÍA
SUBDIRECTOR DE SISTEMAS DE
INFORMACIÓN

ELABORACIÓN

BIÓL. ROBERTO MUÑOZ CRUZ
ACT. CRISTINA ORTUÑO MOJICA
BIÓL. MÓNICA DEL CARMEN JAIMES
PALOMERA
TÉC. MARÍA GUADALUPE GRANADOS
GUTIÉRREZ
ING. QUIM. ERNESTO ROMERO
ARAUJO
LIC. CAROLINA RODRÍGUEZ BALTAZAR
ING. GERARDO SAMUEL LÓPEZ
VENEGAS

COLABORACIÓN

GEÓG. ANGÉLICA CRUZ ARANA
GEÓG. VICENTE PÉREZ NUÑEZ
TÉC. ARMANDO RETAMA
HERNÁNDEZ
ING. ALEJANDRO CAMPOS DÍAZ
MET. ALFREDO ALONSO SOLER

DISEÑO DE PORTADA

D.G. JOSÉ ANTONIO VALDÉZ
TORIZ
TÉC. MARÍA GUADALUPE
GRANADOS GUTIÉRREZ

FOTOS

D.G. EDGAR ROJAS RUIZ
D.G. JOSÉ ANTONIO VALDÉZ
TORIZ

AGRADECIMIENTOS

DIRECCIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN HIDRÁULICA (DGCOH)

PETRÓLEOS MEXICANOS (PEMEX)

PRESENTACIÓN

La Ciudad de México, una de las metrópolis más grandes del mundo, inicia el milenio con una serie de retos entre los cuales destaca, desde una perspectiva ambiental, resolver el problema de la contaminación del aire.

Ante la conclusión del Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995–2000, es necesario reflexionar de manera objetiva sobre sus logros y avances durante los 6 años de su vigencia, considerando además los antecedentes históricos del mismo, como es el caso del Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica.

De esta manera la Comisión Ambiental Metropolitana, ha elaborado el Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002–2010, que integra las acciones y las responsabilidades que desarrollarán las dependencias de los gobiernos local y federal, los sectores productivo, educativo y social, con el propósito de reducir las emisiones contaminantes, mejorar la calidad del aire y fortalecer la relación entre ciudadanía, gobierno y medio ambiente, con una visión de largo plazo.

La información objetiva del estado de la calidad del aire es un derecho de la población de la Ciudad de México y motiva cambios de actitud que impulsan su corresponsabilidad para mejorar este recurso y su calidad de vida.

En razón de lo anterior, me es grato presentar el “Informe del Estado de la Calidad del Aire y Tendencias 2001 para la Zona Metropolitana del Valle de México”; documento que aporta información acerca del estado y la tendencia de los contaminantes que se miden a través del Sistema de Monitoreo Atmosférico, considerando aspectos técnicos que garantizan la calidad de la información y enfoques de análisis que muestran un panorama integral de la situación de cada contaminante, especialmente el ozono y las partículas menores a 10 micrómetros, por ser considerados contaminantes críticos que frecuentemente rebasan las normas de salud correspondientes.

De esta manera la información que contiene el presente documento permite definir una línea base para evaluar el desempeño ambiental de las diferentes acciones de prevención y control que se desarrollan actualmente, así como de las que se instrumentarán a lo largo de esta década.

Es importante destacar la creación, en febrero de 2002, del Consejo Asesor del Sistema de Monitoreo Atmosférico, con la finalidad de apoyar y orientar su operación y desarrollo, con lo cual se tendrá una mejora en la calidad de la información que provee. Actualmente participan 11 reconocidos especialistas en gestión ambiental, monitoreo de la calidad del aire y efectos en la salud, provenientes de diversas instituciones de investigación y gobierno, ellos son:

Dra. Margarita Castillejos Salazar, profesora investigadora de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco.

Dra. Telma Gloria Castro Romero, investigadora del Grupo de Física de Aerosoles del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Dr. Adrián Fernández Bremauntz, Director General de Investigación sobre la Contaminación Urbana, Regional y Global, Instituto Nacional de Ecología de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Lic. Martha Hilda González Calderón, Secretaria de Ecología del Gobierno del Estado de México.

Ing. Víctor Gutiérrez Avedoy, Director General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental del Instituto Nacional de Ecología de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Dr. Ernesto Jaúregui Ostos, investigador del Grupo de Clima Urbano del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Dra. Asa Cristina Laurell, Secretaria de Salud del Gobierno del Distrito Federal.

Dr. Luis Gerardo Ruiz Suárez, investigador del Grupo de Físicoquímica Atmosférica del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Dr. Alejandro Salcido González, investigador del Instituto de Investigaciones Eléctricas.

Dr. Carlos Santos Burgoa, Director General de Salud Ambiental de la Secretaría de Salud.

Dra. Elizabeth Vega Rangel, investigadora del Programa de Investigación del Medio Ambiente y Seguridad del Instituto Mexicano del Petróleo.

Claudia Sheinbaum Pardo

Secretaria del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal

ÍNDICE

ÍNDICE	V
INTRODUCCIÓN	VII
RESUMEN EJECUTIVO	VIII
CAPÍTULO 1. CAUSAS Y EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA ZMVM	1
Fuerzas motrices	2
Presión	3
Estado	4
Exposición	8
Efectos	8
CAPÍTULO 2. SISTEMA DE MONITOREO ATMOSFÉRICO DE LA CIUDAD DE MÉXICO	11
CAPÍTULO 3. CRITERIOS TÉCNICOS PARA LA OBTENCIÓN DE INDICADORES DE ESTADO Y TENDENCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE	15
Identificación de estaciones con el mejor desempeño histórico	15
Criterios para procesar la información de estaciones con mejor desempeño histórico, como base para la definición de indicadores	17
Indicadores de la calidad del aire	17
Tendencia	18
Prueba no paramétrica para evaluar tendencia	19
Salud y exposición	20
Normas de protección a la salud	20
Exposición a O ₃ y PM ₁₀	21
Variación espacial de la exposición a O ₃ y PM ₁₀	22
Comportamiento diario típico	23
Comportamiento temporal	23
Depósito atmosférico	24
CAPÍTULO 4. EVOLUCIÓN DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN LA ZMVM	27
Ozono, bióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno	27
Partículas suspendidas totales, partículas menores a 10 micrómetros, plomo en PST y en PM ₁₀	28
Monóxido de carbono	29
Bióxido de azufre	30
CAPÍTULO 5. ESTADO DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN LA ZMVM, EFECTOS ASOCIADOS A LA SALUD	33
Ozono	33
Exposición de corto plazo	33
Exposición durante períodos continuos de 8 horas	34
Distribución espacial de la exposición promedio diaria	34
Bióxido de nitrógeno	36
Partículas menores a 10 micrómetros	37
Exposición a concentraciones en períodos de 24 horas y en períodos anuales	37
Distribución espacial de la exposición promedio anual	38
Partículas suspendidas totales	39

Plomo en PST	40
Monóxido de carbono	41
Bióxido de azufre	41
CAPÍTULO 6. COMPORTAMIENTO DIARIO TÍPICO DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN LA ZMVM	43
Ozono, bióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno	43
Monóxido de carbono	45
Bióxido de azufre	45
CAPÍTULO 7. COMPORTAMIENTO ESTACIONAL DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN LA ZMVM	47
Épocas climáticas en la ZMVM	47
Comportamiento de los contaminantes atmosféricos por época climática	48
Análisis de mosaico para registros diarios de ozono y partículas menores a 10 micrómetros	50
CAPÍTULO 8. DEPÓSITO ATMOSFÉRICO EN LA ZMVM	55
Depósito húmedo o lluvia ácida	55
Composición del depósito húmedo	56
- Ion hidrónico (H ⁺)	56
- Ion nitrato (NO ₃ ⁻)	56
- Ion sulfato (SO ₄ ²⁻)	56
- Cationes (NH ₄ ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ y Na ⁺)	57
Comportamiento de la precipitación pluvial en la época de lluvias de la ZMVM	57
Comportamiento de los compuestos del depósito húmedo en la ZMVM, 1997 a 2001	58
Comportamiento espacial de los compuestos del depósito húmedo	59
ANEXO 1. CONSUMO DE COMBUSTIBLES EN LA ZMVM	63
ANEXO 2. SISTEMA DE MONITOREO ATMOSFÉRICO DE LA CIUDAD DE MÉXICO, 2001	64
ANEXO 3. DESEMPEÑO ANUAL DE LAS ESTACIONES DEL SISTEMA DE MONITOREO ATMOSFÉRICO DE LA CIUDAD DE MÉXICO, 1990 A 2001	66
ANEXO 4. ACCIONES INSTRUMENTADAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AIRE EN LA ZMVM, 1986 A 2001	78
ANEXO 5. ANÁLISIS DE TENDENCIA	84
ANEXO 6. DISTRIBUCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DIARIAS POR CONTAMINANTE EN LA ZMVM PARA EL PERÍODO 1990-2001	85
ANEXO 7. VARIABLES CLIMÁTICAS	87
ANEXO 8. DEPÓSITO ATMOSFÉRICO	91
ABREVIATURAS	93
GLOSARIO	95
LISTA DE FIGURAS	99
LISTA DE TABLAS	101
LISTA DE MAPAS	103
BIBLIOGRAFÍA	105

INTRODUCCIÓN

El presente Informe del Estado de la Calidad del Aire y Tendencias 2001, tiene como propósitos mostrar un panorama integral del problema de la contaminación atmosférica en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) y enriquecer la comprensión de este fenómeno en el tiempo y el espacio, así como del riesgo que representa para la salud de la población y los recursos naturales. Los indicadores empleados se sustentan en criterios técnicos que garantizan su confiabilidad para evaluar el desempeño ambiental de las acciones de prevención y control; por sus características y criterios, sustentan la integración de un sistema de indicadores susceptible de actualizarse periódicamente y que proporciona bases técnicas para mejorar la gestión ambiental.

Para cumplir con estos propósitos este informe se compone de ocho capítulos. Como marco de referencia para entender el origen, causas y efectos del estado actual de la calidad del aire en la ZMVM, en el *Capítulo 1* se emplea el esquema de “Presión-Estado-Respuesta” propuesto por la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE).

Ante la necesidad de llevar a cabo una vigilancia permanente del estado que guarda la calidad del aire en la ZMVM, en el año 2001 se estructuró el Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT). Por la relevancia de su función en el *Capítulo 2* se describe su configuración actual.

En el *Capítulo 3* se describen los criterios técnicos para la elaboración de indicadores de calidad del aire a partir de la información que se genera en el SIMAT, al mismo tiempo que se presentan las herramientas estadísticas utilizadas para determinar la presencia de tendencia.

En el *Capítulo 4* se describe la evolución de las concentraciones máximas diarias de los contaminantes atmosféricos en el período comprendido entre 1990 y 2001, determinando la presencia de tendencia y el porcentaje de cambio. El indicador empleado en este análisis se consideró con el propósito de evitar la influencia de los eventos extremos, que pueden asociarse a fenómenos locales de contaminación o condiciones climáticas particulares, además de que permite inferir sobre el impacto de los programas de prevención y control instrumentados.

Debido a la importancia de los efectos en la salud de la población ocasionados por los contaminantes atmosféricos, en el *Capítulo 5* se presenta la evaluación del estado de la calidad del aire en la ZMVM por medio de indicadores vinculados con las normas oficiales mexicanas de salud. Así mismo, se consideran diferentes escenarios asociados a las posibles modificaciones de las normas oficiales mexicanas. Un aspecto importante relacionado con los efectos en la salud por ozono (O₃) y partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀), es el riesgo por exposición durante largos períodos de tiempo a concentraciones mayores a los límites permisibles en las normas. Por ello se evaluó el comportamiento temporal y espacial de un indicador ponderado de exposición, lo que permitió identificar las áreas de riesgo.

En el *Capítulo 6* se analiza el comportamiento de los contaminantes atmosféricos a lo largo del día y su asociación con el uso de suelo que caracteriza al entorno de diferentes estaciones de monitoreo. Esto permitió identificar los períodos de horas con concentraciones altas y la influencia de las emisiones locales, que son susceptibles de considerarse como períodos de riesgo para la salud.

Debido a que las variaciones climáticas anuales en la ZMVM condicionan la presencia de algunos contaminantes atmosféricos, en el *Capítulo 7* se llevó a cabo un análisis temporal por época climática para determinar aquellas que son de mayor riesgo para la salud de la población. Al mismo tiempo se identificó la presencia de patrones diarios de riesgo en cada época.

En el *Capítulo 8* se presenta la evolución que han presentado los principales componentes de la acidez en el agua de lluvia, empleando como indicador el depósito de cada compuesto. La distribución espacial en la ZMVM de este indicador, permite identificar el riesgo que tienen los sistemas naturales ante este fenómeno.

RESUMEN EJECUTIVO

El deterioro de la calidad del aire en la ZMVM ha requerido la instrumentación de programas integrales, con metas específicas en diferentes intervalos de tiempo. Dentro del Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002–2010 (PROAIRE, 2002–2010) se planea continuar la operación de algunas medidas en curso, a través de su mejora y modernización, al mismo tiempo se impulsan nuevas acciones. Esto implica que los resultados del PROAIRE 2002–2010, se observarán a corto, mediano y largo plazo.

Indicadores de desempeño ambiental

La integración de indicadores permite contar con un sistema de información confiable para evaluar el desempeño ambiental de las acciones contenidas en el PROAIRE 2002–2010, al mismo tiempo que proporciona una línea base de información sobre el estado actual de la contaminación atmosférica y los riesgos que implica en la salud de la población. Dado que estos indicadores son susceptibles de actualizarse periódicamente, permiten informar a la población y satisfacer su derecho a la información.

La representatividad y veracidad de estos indicadores requiere que la información del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT) sea suficiente y oportuna, por lo que debe garantizarse la operación óptima de las estaciones de monitoreo, principalmente aquellas que han operado con un desempeño histórico satisfactorio, por ello se emplea la información desde el año 1990. Es importante señalar que la magnitud y complejidad de la ZMVM, requiere una infraestructura mínima para la vigilancia y caracterización permanente de su calidad del aire, actualmente parece insuficiente el criterio de caracterizar la calidad del aire de la ZMVM con la información de estaciones “representativas” en cada una de sus 5 zonas.

Ozono y óxidos de nitrógeno

Los resultados del análisis de O_3 y NO_2 señalan que durante la gestión del Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 1995–2000 (PROAIRE, 1995–2000), la intensidad de las concentraciones que se registran habitualmente disminuyó paulatinamente. El análisis de tendencia indicó que la disminución de 1995 a 2001, representó cambios cercanos al 20%, en 2001 los niveles que presentaron ambos contaminantes fueron los más bajos desde 1990. No obstante estos resultados, los niveles de O_3 que se registran en la ZMVM, superan aún los límites recomendables para proteger la salud de la población, ya sea por exposiciones de corto tiempo de horas o por períodos continuos; durante el año 2001, siete de cada diez días registran valores por arriba de la norma horaria de O_3 y seis de cada diez se está por arriba del valor asociado a exposición continua. Este riesgo continua siendo mayor para la población del suroeste, sobre todo aquella que permanece más tiempo en ambientes exteriores, los niños y las personas de la tercera edad que habitan en esta región pueden tener un mayor riesgo, ya que prácticamente no se trasladan a otros puntos de la ciudad.

Los resultados encontrados con la información de los óxidos de nitrógeno (NO_x), sugiere mejorar los procesos de validación y llevar a cabo acciones tendientes a garantizar su confiabilidad. Paralelamente deberá consolidarse el monitoreo de hidrocarburos, dado que su información permitirá mejorar el entendimiento sobre el comportamiento del O_3 y la relación que tiene con la presencia de sus precursores. Ante los cambios que presentan las variables del clima en la ZMVM, es necesario integrar en el futuro análisis donde se correlacionen sus comportamientos e instrumentar metodologías que separen el efecto de las variables meteorológicas sobre el comportamiento o tendencia de los contaminantes, principalmente del O_3 por ser un contaminante crítico.

Partículas en suspensión y plomo

El análisis de la evolución de las PM₁₀ y las PST medidas con equipos manuales, señala que en 2001 se alcanzaron sus niveles más bajos desde 1990; sin embargo, la presencia de concentraciones extremas ocasiona que la tendencia de ambas no presente un patrón consistente de disminución. Este comportamiento prevaleció al evaluar sus posibles efectos en la salud, dado que en 2001 el número de muestreos que rebasaron los límites permisibles fue el más bajo, ocho y cinco de cada diez respectivamente, sin que le precediera una disminución continua desde 1990.

El análisis de la información muestra que las concentraciones extremas de partículas se originan en la región que comprenden los municipios de Ecatepec y Nezahualcóyotl, el análisis de exposición crónica mostró que en esta región se rebasan aún los límites recomendados en las normas mexicanas de protección a la salud. El control de las PM₁₀ y las PST en esta región, permitiría disminuir la presencia de concentraciones extremas y que en la actualidad parecen extraordinarias. Esto permitiría que las evaluaciones a nivel metropolitano mostraran que los niveles son adecuados para la salud de sus habitantes y cumplir con estándares más estrictos que los actuales, como los que se proponen en los proyectos de modificación a sus respectivas normas.

Para contar con información continua confiable sobre el comportamiento de las PM₁₀, en el futuro deberá garantizarse la operación y buen funcionamiento de los equipos TEOM, independientemente de la época del año y de la región geográfica donde se ubiquen.

En forma contraria al comportamiento de las partículas, las concentraciones máximas del plomo (Pb) contenido en PM₁₀ y PST mostraron una tendencia decreciente consistente desde 1990, con disminuciones de sus niveles mayores al 90% de 1990 a 2001. Es notable que el decremento de este contaminante fue mayor durante la vigencia del PICCA. Al evaluar su posible efecto en la salud en función de la norma mexicana, indica que desde 1994 el riesgo para la salud es menor (no se han presentado violaciones a esta norma).

Monóxido de carbono y bióxido de azufre

Durante la aplicación del PICCA las concentraciones críticas de monóxido de carbono (CO) y bióxido de azufre (SO₂) tuvieron una disminución considerable, con cambios respectivos de 46 y 78%, de 1990 a 1995. En la gestión del PROAIRE 1995–2000, la tendencia del CO indica que se logró su control, siendo el año 2001 el que menores valores ha registrado, no así en el caso del SO₂ que tuvo un repunte significativo en la intensidad de sus concentraciones máximas en 2000 y 2001. El análisis de la información señala que el repunte del SO₂ se debe a concentraciones extraordinarias en el norte de la ZMVM, las cuales se registran de forma predominante en la estación de monitoreo Tlalnepantla.

Depósito atmosférico (lluvia ácida)

El análisis de la información del depósito atmosférico, indica que 1998 fue el año con una mayor cantidad de compuestos en el agua de lluvia. En este año la tasa de depósito del ion hidronio (H⁺) fue de 0.108 mg/m², en tanto que del ion sulfato (SO₄²⁻) fue de 35334 mg/m² y del ion nitrato (NO₃⁻) de 16245 mg/m². En el 2001 el depósito disminuyó a 0.045 mg/m², 25669 mg/m² y 14459 mg/m², respectivamente.

La región de la ciudad donde se registra la mayor cantidad depositada de iones SO₄²⁻, NO₃⁻ y H⁺ es el suroeste, misma en la que se registran los valores de pH más bajos (entre 4.6 y 5.0), mientras que la concentración promedio de SO₄²⁻ y NO₃⁻ presenta mayores registros en la región sureste. Por su parte, los compuestos de origen natural reflejan una posible influencia de fuentes de emisión localizadas hacia el norte y este de la ciudad, donde predominan suelos sin cubierta vegetal.

Comportamiento temporal de los contaminantes

Los resultados de la variación temporal de los contaminantes, indican la necesidad de reforzar la vigilancia y comunicación de los riesgos que representa para la salud la exposición al aire libre durante la época seca caliente (marzo a mayo), debido al aumento de las concentraciones de O₃ y PST; mientras que en la época seca fría (noviembre a febrero) es mayor el riesgo por exposición a niveles altos de PM₁₀, CO, SO₂ o NO₂. Además debe considerarse la viabilidad de llevar a cabo acciones de control durante estas épocas para aminorar sus concentraciones.

Por otra parte, los resultados del comportamiento diario muestran la importancia de instrumentar acciones tendientes a disminuir las emisiones de las fuentes móviles en los períodos de mayor actividad cotidiana, sobre todo en los puntos conflictivos de avenidas principales y otras donde es necesario incrementar la velocidad promedio.

CAPÍTULO 1. CAUSAS Y EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA ZMVM

La ZMVM concentra la mayor población del país (INEGI, 2001) y gran parte de las actividades comerciales e industriales. Esto ha propiciado un acelerado deterioro ambiental que se traduce en problemas de abastecimiento de agua potable, drenaje, disposición y tratamiento de desechos domésticos e industriales, deforestación, contaminación del aire, agua y suelo, además de un notable decremento en la calidad de vida de sus habitantes (Ward P., 1991).

Cada día cobra más importancia la influencia del ambiente en la salud de la población. Estos efectos comprenden tanto aquéllos que se generan en el entorno familiar como los que se producen en la atmósfera y afectan a toda la población (FUNSALUD, 1994). La gestión para mejorar la calidad del aire en esta metrópoli comenzó a ser relevante en la segunda mitad de la década de los 80, con el desarrollo de una red de monitoreo y otras iniciativas para controlar emisiones vehiculares (DDF, 1990). Precisamente en el año de 1988 se dió un paso importante con la creación de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (SEMARNAP, 1997).

El conocimiento de la perturbación del ambiente y sus repercusiones sobre la salud, que han arrojado investigaciones nacionales e internacionales, han permitido definir los objetivos de los programas para mejorar la calidad del aire en la ZMVM.

El primer programa para abatir la contaminación atmosférica fue el Programa Coordinado para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México (PCMCA). Este programa se elaboró en 1979, se considera que sus objetivos y metas no se lograron, debido a que la contaminación del aire aumentó después de su entrada en operación (Lezama, 2000). Posteriormente, en octubre de 1990 se elaboró el Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica (PICCA), como un esfuerzo sistemático basado en un mayor conocimiento y sustento técnico. En 1995 se estructuró el Programa para mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México (PROAIRE 1995-2000), con el objetivo de reducir el número de días con contingencia ambiental para proteger la salud de la población (DDF, 1990; CAM, 1996; Molina T. and Molina J., 2002).

A principios del año 2002 se inició el Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la ZMVM 2002–2010 (PROAIRE, 2002–2010), con el objetivo de proteger la salud humana de los efectos causados por la contaminación del aire, reduciendo los niveles actuales de emisiones y evitando que la población se exponga a concentraciones de riesgo, por ozono y partículas suspendidas (CAM, 2002, disponible en Internet; Molina T. and Molina J., 2002).

El impacto que han tenido estos programas se refleja en la disminución de los niveles de algunos contaminantes criterio¹; sin embargo, la ZMVM aún se considera como una de las metrópolis más contaminadas, debido principalmente a los niveles de O₃ y partículas que se registran en su atmósfera².

Para comprender el fenómeno de la contaminación del aire es necesario conocer los patrones espaciales y temporales de las emisiones contaminantes, por considerarse la raíz del problema; así como de los procesos químicos, físicos y meteorológicos de la atmósfera; los efectos en la salud de la población y el número de personas expuestas; además del impacto en los ecosistemas.

Un esquema de "causa–efecto" como el que propone la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) permite integrar el conocimiento de estas variables como fuerzas

¹ Se denominan contaminantes criterio del aire a aquellas sustancias presentes en el aire ambiente que son abundantes, se encuentran por lo general en las zonas urbanas y para los cuales se han establecido concentraciones máximas permisibles (normas para protección de la salud), arriba de los cuales se tienen efectos nocivos a la salud. Los contaminantes criterio actuales son el ozono, el bióxido de azufre, el monóxido de carbono, el bióxido de nitrógeno, las partículas suspendidas totales, las partículas menores a 10 micrómetros y el plomo.

² Es importante señalar que en la ZMVM no se realizan actualmente mediciones sistemáticas de contaminantes con mayor toxicidad, como es el caso de los hidrocarburos y las partículas menores a 2.5 micrómetros (PM_{2.5}).

motrices y de presión, las cuales inciden en el estado del recurso aire y en el bienestar de la población, al afectar su salud y calidad de vida (Figura 1).

Figura 1. Esquema causa–efecto de la OCDE.



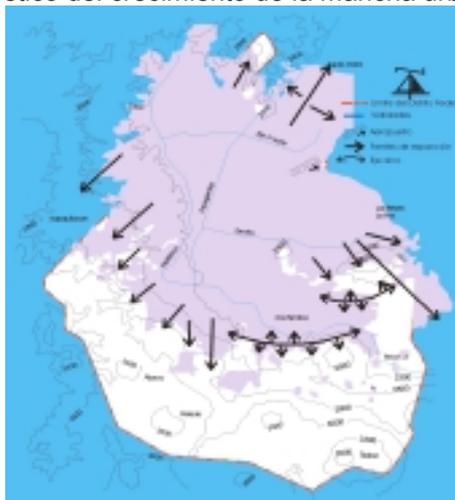
Fuente: Briggs, Corvalán and Nurminen, 1996.

Fuerzas motrices

Desde tiempos precolombinos la Ciudad de México se destacó por concentrar la mayor población del país y de toda mesoamérica. A lo largo de su historia ha fluctuado su poblamiento y urbanización, debido al comportamiento de los fenómenos demográficos (mortalidad, fecundidad y migración), la estabilidad política y centralización administrativa, los servicios urbanos, la especialización económica y tecnológica (Lezama J. L., 1997; Molina T. and Molina J., 2002).

Este proceso de expansión se aceleró en la década de los 50, su superficie aumentó de 22,960 ha. en 1950 a 41,010 ha. en 1960 (Tabla 1). Actualmente se estima que la ZMVM³ abarca 145,000 ha. y tiene una población aproximada de 18.2 millones de habitantes (CAM, 2002, disponible en Internet), el pronóstico del crecimiento de la mancha urbana en el Distrito Federal ilustra la presión que se ejercerá sobre las áreas de conservación ecológica (Figura 2).

Figura 2. Pronóstico del crecimiento de la mancha urbana en el Distrito Federal.



Fuente: Desarrollo Sustentable de la Ciudad de México, Presentación de la Dirección General de Proyectos Ambientales de la SMA en DPN – Solar Forum

³ El PROAIRE 2002–2010 indica que la ZMVM comprende las 16 delegaciones del Distrito Federal y 18 municipios del Estado de México (CAM, 2002); en el Programa de Contingencias Atmosféricas se consideran 18 municipios (Gaceta del GEM, 22 de diciembre de 1999, disponible en Internet) y el INEGI define 34 municipios para fines geoestadísticos (INEGI, 2001).

Tabla 1. Población y superficie en el área urbana de la ZMVM.

Año	Población (miles)	Superficie (ha)
1950	2,953	22,960
1960	5,125	41,010
1970	8,816	68,260
1990	15,047	121,320
2000	18,210	145,000

Fuente: CAM, 2002.

Presión

En 1998 el Distrito Federal concentraba el 22.6% del Producto Interno Bruto (PIB) del país. En esta contribución al PIB destaca la prestación de servicios⁴, mientras que las actividades primarias son prácticamente inexistentes (INEGI, 2001). El sostenimiento de estas actividades económicas para mantener el bienestar de la población, requiere del uso intensivo de combustibles fósiles por parte de 3,087,001 vehículos, alrededor de 30,000 industrias y 170,000 servicios.

Por otra parte, se ha propiciado el deterioro y transformación del entorno, debido a la conversión de suelo forestal a suelo de uso agrícola, industrial, habitacional o comercial, además de la erosión de las áreas periféricas (GDF, 1999c; INEGI, 2000; CAM, 2002, disponible en Internet). Como se observa en la Tabla 2, las estimaciones actuales de las emisiones de contaminantes provenientes de diferentes sectores, indican que el 40% de las emisiones de partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀) provienen del suelo y la vegetación, seguidas de las fuentes móviles con el 36% (CAM, 2002, disponible en Internet).

Este último sector es responsable del 98 y 80% de las emisiones de monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NO_x) respectivamente. En el caso de los hidrocarburos totales (HC), las fuentes móviles generan el 40% de sus emisiones, mientras que el 52% son generados por fuentes de área (Tabla 2).

Por su parte, el 55% de las emisiones de bióxido de azufre (SO₂) corresponden a las fuentes puntuales, seguidas de las fuentes de área y de las fuentes móviles, con 24% y 21% respectivamente (Tabla 2).

Tabla 2. Emisión total de contaminantes por fuente, 1998.

SECTOR	PM ₁₀ (ton/año) (%)	SO ₂ (ton/año) (%)	CO (ton/año) (%)	NO _x (ton/año) (%)	HC (ton/año) (%)
FUENTES PUNTUALES	3,093 16	12,442 55	9,213 0.5	26,998 13	23,980 5
FUENTES DE AREA	1,678 8	5,354 24	25,960 1.5	9,866 5	247,599 52
VEGETACIÓN Y SUELOS	7,985 40	N/A N/A	N/A N/A	3,193 2	15,669 3
FUENTES MÓVILES	7,133 36	4,670 21	1,733,663 98	165,838 80	187,773 40
TOTAL	19,889 100	22,466 100	1,768,836 100	250,885 100	475,021 100

Fuente: CAM, 2002.

N/A. No aplica.

Estas estimaciones destacan la importancia de controlar las emisiones provenientes de las fuentes móviles, especialmente los autos particulares, taxis, microbuses y el transporte de carga que son los tipos de vehículos más contaminantes. La Tabla 3 muestra la importancia de los autos particulares, ya que representan el 79.1% del parque vehicular de la ZMVM, seguidos del transporte de carga mercantil con el 11.9%.

⁴ Durante 1998, la aportación al PIB Nacional por parte del D. F. fue del 22.6% y por el Edo. Méx. del 10.6%, con la siguiente distribución por grandes divisiones (D.F. – GEM): Servicios Comunales, Sociales y Personales 30.8% – 14.9%; Comercio, Restaurantes y Hoteles 21.7% – 20%; Industria Manufacturera 19.4% – 33.6%; Servicios Financieros, Seguros, Actividades Inmobiliarias y de Alquiler 18.8% – 14.4% (INEGI, 2001).

Tabla 3. Composición del parque vehicular en la ZMVM, 2001.

TIPO	Distrito Federal		Estado de México		ZMVM	
	Número	%	Número	%	Número	%
AUTOS PARTICULARES	1,724,498	70.6	718,135	29.4	2,442,633	79.1
TAXIS	103,455	94.8	5,675	5.2	109,130	3.5
TRANSPORTE COLECTIVO	26,321	54.6	21,886	45.4	48,207	1.6
TRANSPORTE ESCOLAR	2,996	55.0	2,452	45.0	5,448	0.2
TRANSPORTE DE CARGA LOCAL	6,800	8.5	73,205	91.5	80,005	2.6
TRANSPORTE GUBERNAMENTAL	22,307	98.5	340	1.5	22,647	0.7
TRANSPORTE DE CARGA MERCANTIL	300,040	81.7	67,206	18.3	367,246	11.9
OTROS	6,882	58.9	4,803	41.1	11,685	0.4
TOTAL	2,193,299	70.8	893,702	29.2	3,087,001	100

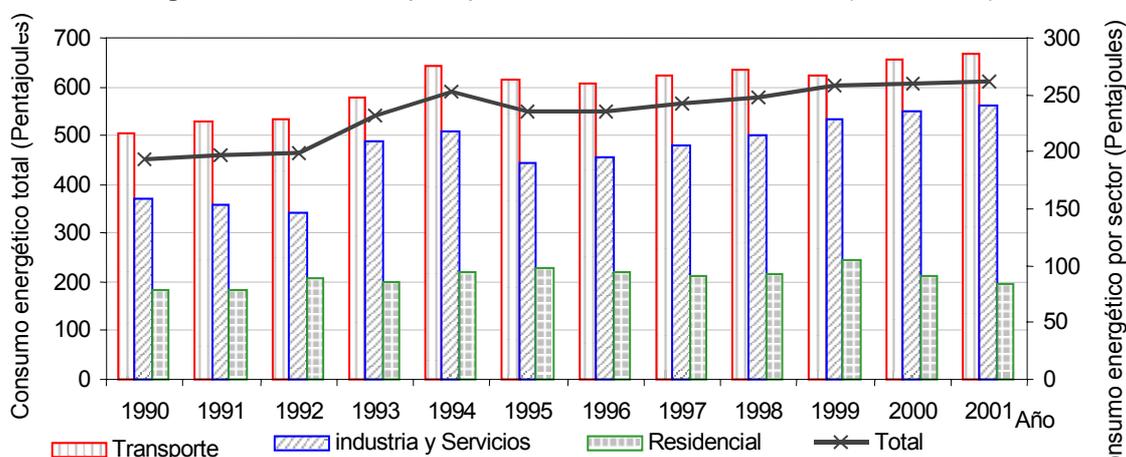
Fuente: Dirección de Instrumentación de Políticas. Dirección General de Gestión Ambiental del Aire. Secretaría del Medio Ambiente.

Por esta razón, las acciones de prevención y control de la contaminación han tenido como meta propiciar que las fuentes móviles cuenten con dispositivos anticontaminantes, que tengan un mantenimiento adecuado, así como ofrecer alternativas de transporte menos contaminante.

Paralelamente se han llevado a cabo acciones para incorporar al mercado combustibles menos contaminantes o alternativos. En la Figura 3 se observa el aumento paulatino que tuvo la incorporación de combustibles mejorados durante la década de los 90, como es el caso de la gasolina Magna en 1990 y la gasolina Premium en 1996. En el caso de la gasolina Magna, de 1.3 millones de barriles que se consumían en 1994, aumentó a 3.2 millones en 1998. Por su parte, al finalizar 1993 entró al mercado el diesel Sin, con un contenido máximo de azufre de 0.05% en peso.

La mejora de combustibles de uso industrial, se observa con la introducción de diesel industrial bajo en azufre en el mes de diciembre de 1996 y de combustible industrial bajo en azufre en enero de 1998. El uso de gas LP y gas natural en la industria y en el transporte público, representa en la actualidad cerca del 40% del consumo total (ver Anexo 1).

Figura 3. Distribución por tipo de combustible en la ZMVM (1990–2001).



Transporte: Nova, Magna, PEMEX Diesel, Diesel Especial, Premium y Diesel Nacional

Industria y Servicio: Gas Natural, Gasóleo Industrial, Combustible Industrial, Diesel Industrial de bajo azufre, Diáfano y Gasóleo Doméstico

Residencial: Gas LP

Fuente: Datos proporcionados por PEMEX GAS Y PETROQUIMICA BÁSICA, PEMEX REFINACIÓN.

Conversión a Pentajoules: Dirección de Inventario y Modelación de Emisiones DGGAA-SMA-GDF un Pentajoule equivale a 10^{15} Joules

Estado

La capacidad de la ZMVM para soportar la carga de emisiones contaminantes, se relaciona directamente con sus características fisiográficas y climáticas, las cuales determinan los flujos

atmosféricos y la dinámica de los contaminantes, de tal forma que pueden considerarse como variables de riesgo natural (Figura 4).

La expresión de estas características son: una atmósfera propicia para la formación de contaminantes fotoquímicos, debido a su altitud promedio (2,240 msnm) y latitud (19°N); alta incidencia de radiación solar; procesos estacionales con variaciones de temperatura en superficie que oscilan entre 12.5 y 20°C, con valores máximos en mayo y mínimos en enero; presencia de vientos ascendentes de circulación cerrada que originan el confinamiento de las masas de aire; estancamiento de contaminantes debido a la cadena montañosa circundante; presencia de sistemas meteorológicos de alta presión que generan estabilidad atmosférica debido a que la ZMVM se ubica en el centro del país; y la confluencia de 6 tipos de clima (GDF, 1997; INEGI, 2001).

Figura 4. Variables de riesgo natural en la ZMVM.

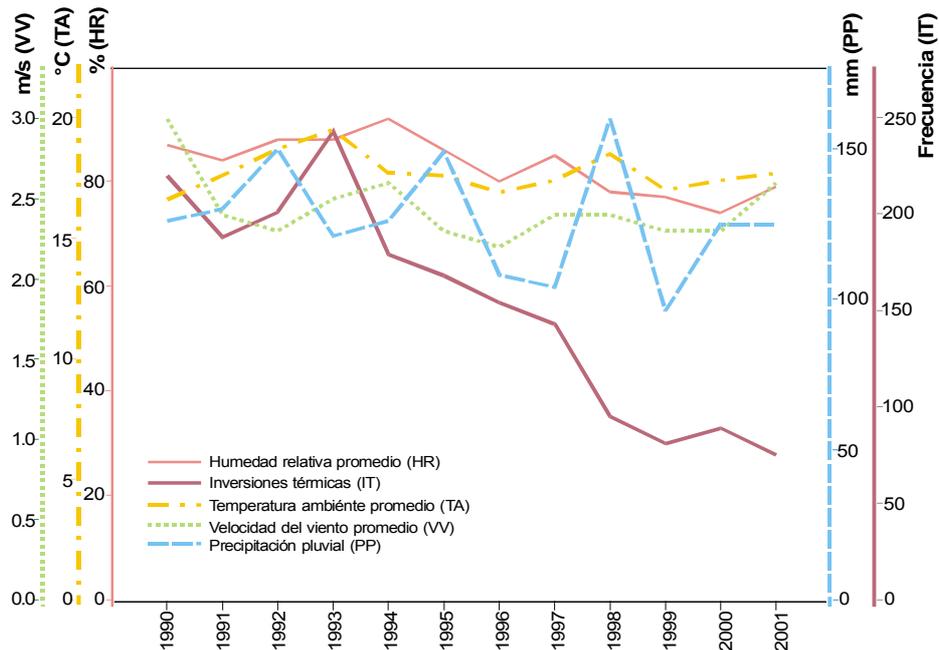


Al evaluar el desempeño ambiental de las acciones de prevención y control para mejorar la calidad del aire, uno de los supuestos principales es que las variables del clima no presentan cambios anuales de consideración, además de que los indicadores permiten mitigar la influencia de eventos climáticos, de tal forma que se puede inferir acerca del estado de la calidad del aire con las mediciones directas de un Sistema de Monitoreo Atmosférico.

En el caso de la ZMVM, la humedad relativa, la temperatura ambiente y la velocidad del viento a lo largo del período 1990–2001 (Figura 5), tuvieron un comportamiento fluctuante y ligeramente descendente, principalmente la última de estas variables. Por su parte, la precipitación pluvial muestra cambios anuales de consideración, destacando 1992, 1995 y 1998 como los años de mayor precipitación pluvial. Sólo en el caso de inversiones térmicas se aprecia una disminución continua a lo largo de los últimos años⁵.

⁵ Cabe mencionar que en términos de las inversiones térmicas, el radiosondeo que realiza el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) para su medición, se realizaba en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México y a partir de marzo de 1998 se realiza en el Observatorio Meteorológico de Tacubaya.

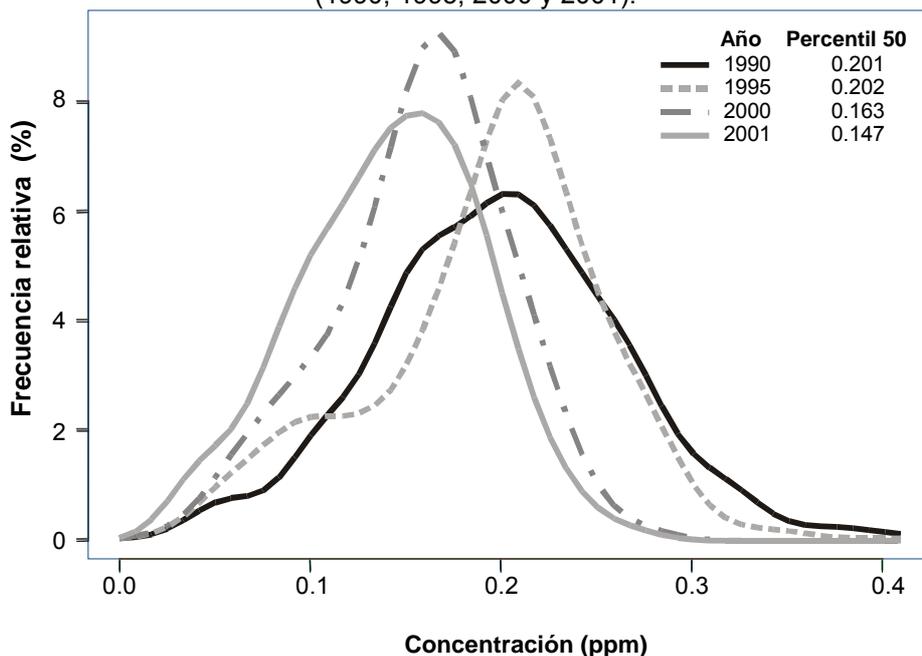
Figura 5. Evolución de las variables climáticas en la ZMVM (1990–2001).



Tomando en consideración lo anterior, desde 1995 se reconoce que para el O₃ alrededor del 88% de los días del año se rebasa el límite de 0.110 partes por millón (ppm), promedio horario, que establece la norma de protección a la salud.

No obstante, en la actualidad se registran a diario concentraciones máximas de O₃ por arriba de 0.110 ppm, aunque menos intensas. En la Figura 6 se observa esta situación, ya que en el año 2000 y 2001 el 50% (percentil 50) de las concentraciones máximas diarias fueron menores a 0.163 y 0.147 ppm respectivamente, mientras que en 1995 y 1990 eran frecuentes las concentraciones mayores a 0.200 ppm, las cuales hacen más ancha la base de este tipo de distribución hacia el extremo derecho.

Figura 6. Distribución de concentraciones máximas diarias de ozono en la ZMVM (1990, 1995, 2000 y 2001).



Este decremento en la intensidad de las concentraciones máximas diarias de O₃, también se refleja en que el Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas (PCAA) se ha instrumentado con menos frecuencia en los últimos años, a pesar que desde mayo de 1998⁶, después de la actualización del PCAA, es menor la concentración de O₃ requerida para su instrumentación.

Esta situación se observa en la Tabla 4, donde se listan los casos en que fue necesario instrumentar las Fases I y II del PCAA entre 1990 y 2001. Los casos de la Fase de Precontingencia⁷ por O₃ de 1990 a 1997 que aparecen en la Tabla 4, se calcularon considerando los criterios del PCAA actual, esta simulación muestra que si hubiera existido esta fase antes de 1998, el número de casos también hubiera disminuido considerablemente de 1990 a 2001.

En la actualización del PCAA de mayo de 1998⁸ se consideró a las PM₁₀, desde entonces se ha instrumentado la Fase I del PCAA por este contaminante en dos ocasiones, una en 1998 y otra en 2000. También se consideró la instrumentación de la Fase I cuando se alcanzaran simultáneamente concentraciones de O₃ y PM₁₀ mayores a 0.263 ppm y 200 µg/m³, respectivamente⁹. No obstante, esta situación no se ha presentado en la ZMVM desde entonces.

Tabla 4. Casos de Precontingencias, Fase I y Fase II en la ZMVM, bajo el esquema actual del Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas.

Año	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Precontingencias por Ozono	78	217	167	103	127	147	86	72	77	39	24	14
Precontingencias por PM ₁₀	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Fase I	Ozono	--	2	4	13	1	5	3	4	3	0	0
	PM ₁₀	--	--	--	--	--	--	--	1	0	1	0
	Ozono- PM ₁₀	--	--	--	--	--	--	--	0	0	0	0
Fase II	Ozono	--	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0

Ante la posibilidad de contar con un límite de ozono más estricto para la activación de la Fase I del PCAA, en la Tabla 5 se muestran los resultados para 3 posibles escenarios. Como se observa, durante el año 2001 hubiera sido necesario instrumentar este programa en 4 ocasiones, bajo un criterio de 0.245 ppm (equivalente a 210 puntos del IMECA).

Tabla 5. Días de aplicación del PCAA en la ZMVM, criterio actual y posibles escenarios de modificación.

ACTIVACIÓN DEL PCAA PARA O ₃	1999	2000	2001
Actual, > 0.282 ppm (240 puntos del IMECA)	3	0	0
Escenario 1, > 0.257 ppm (220 puntos del IMECA)	8	3	2
Escenario 2, > 0.251 ppm (215 puntos del IMECA)	11	4	3
Escenario 3, > 0.245 ppm (210 puntos del IMECA)	15	6	4

Otros contaminantes como el CO y el plomo (Pb) se consideran bajo control, ya que ocasionalmente presentan violaciones extraordinarias a sus normas de protección a la salud. En el caso del SO₂, en los últimos meses de 2000 y 2001 se registraron varios eventos extraordinarios en el norte de la ZMVM principalmente. Esta situación se asoció con el uso ilegal de combustibles con alto contenido de azufre.

⁶ El 25 de mayo de 1998 se modificaron los criterios para instrumentar el PCAA por concentraciones elevadas de O₃. Anteriormente la Fase I se instrumentaba cuando se registraban concentraciones mayores a 0.294 ppm (equivalente a 250 puntos IMECA). Actualmente se instrumenta de forma automática en toda la ZMVM cuando se alcanzan concentraciones mayores a 0.282 ppm (equivalente a 240 puntos IMECA).

⁷ Al actualizarse el PCAA se consideró la Precontingencia Ambiental como una fase de carácter eventual y transitoria, que se instrumenta automáticamente en una zona donde se registra una concentración de O₃ mayor a 0.233 ppm (equivalente a 200 puntos IMECA).

⁸ Desde el 25 de mayo de 1998 se instrumenta la Fase I del PCAA por PM₁₀ en la zona donde se registran concentraciones mayores a 300 µg/m³ (promedio móvil de 24 horas), en caso de que se registren concentraciones de esta magnitud en dos zonas, la Fase I se extiende a toda la ZMVM. Para las PM₁₀ se consideró que una concentración mayor a 270 µg/m³ (promedio móvil de 24 horas) justificaba la instrumentación de la Precontingencia Ambiental, únicamente en la zona donde se registró (en el caso de la Fase I, equivale a 175 puntos IMECA y para la Precontingencia equivale a 160 puntos IMECA).

⁹ La activación del PCAA por una situación de este tipo, tiene lugar en toda la ZMVM, independientemente de que las concentraciones de O₃ y PM₁₀ se registren en zonas diferentes.

Exposición

Los efectos sobre la salud debidos a la exposición a contaminantes, se vinculan con la exposición en ambientes interiores y exteriores, y el patrón de actividad de los individuos. Desde el punto de vista toxicólogo, no es únicamente la concentración de un contaminante lo que determina el efecto en el receptor, sino también el tiempo que se ha expuesto a tal contaminante (CNDH, 1992; Molina T. and Molina J., 2002).

En el año 2000 se llevó a cabo una estimación de la exposición de la población de la ZMVM al O₃ y las PM₁₀, por medio de un modelo regional que correlacionó la distribución de 17 millones de habitantes, de los cuales 8.5 millones corresponden a las 16 delegaciones del Distrito Federal y el resto a los 28 municipios conurbados del Estado de México, con las concentraciones de O₃ y PM₁₀ registradas entre 1995 y 1999. Los resultados del modelo indicaron que la exposición ponderada por persona en la ZMVM durante el período señalado fue de 64 µg/m³ para PM₁₀ y de 0.114 ppm para O₃, lo que sugiere que para tener niveles saludables por persona, debe reducirse la exposición a PM₁₀ en 14 µg/m³ y cumplir así con el límite de la norma anual de 50 µg/m³. En el caso del O₃, la reducción para cumplir con el estándar implica 0.070 ppm por persona (ECOURS, 2001, disponible en Internet).

Los resultados de este modelo de exposición también mostraron que al menos en un día entre 1995 y 1999, cerca de 11,176,530 de personas estuvieron expuestas a concentraciones mayores a 0.281 ppm de O₃, más del doble de lo que permite el estándar de protección a la salud. En el caso de las PM₁₀, se estimó que al menos en un día del mismo período, cerca de 7,830,342 de personas estuvieron expuestas a concentraciones mayores a 270 µg/m³.

Entre las recomendaciones que arrojó el uso de este modelo de exposición, destaca que la ejecución de estrategias para reducir los niveles de PM₁₀ en la ZMVM, tendrían un mayor beneficio si se enfocaran a las regiones altamente contaminadas y pobladas, como es el caso de los municipios de Netzahualcóyotl y Ecatepec, en el Estado de México.

Efectos

El estado actual de la calidad del aire en la ZMVM es uno de los problemas de mayor preocupación para la sociedad, ya que los efectos en la salud implican el deterioro de su calidad de vida, costos en su bienestar y economía. Además implica costos sociales elevados para el gobierno, ante la demanda de atención médica para personas enfermas y la pérdida de productividad asociada al ausentismo laboral y escolar que provocan estas enfermedades (Leff, 1990; Negrete, 1993; San Martín, 1988).

Lo anterior se observa en el hecho de que la mayoría de la población de la ZMVM percibe que la calidad del aire es "Mala" o "Muy mala", que afecta su vida personal y su salud, principalmente a grupos vulnerables, como los niños y ancianos. Entre las enfermedades y síntomas asociados con la contaminación, están: conjuntivitis, gripa, asma, bronquitis, tos, irritación ocular y de garganta (ECOURS, 2001, disponible en Internet).

En la década de los 80 el plomo (Pb) representó el principal problema de calidad del aire en la ZMVM. Los daños que provoca a la salud motivaron una serie de acciones centradas en la producción de combustibles con menor contenido de Pb. Actualmente los niveles de este metal en la sangre de los habitantes de la ZMVM (Romieu *et al*, 1994; Lacasaña *et al*, 1996) están por debajo del límite máximo establecido en la norma de salud.

El riesgo que constituye el O₃ para la salud de los habitantes de la ZMVM, se debe a que produce diversos efectos tóxicos y síntomas adversos (Molina T. and Molina J., 2002). Por su parte, las PM₁₀ se asocian con diversas patologías del aparato respiratorio y es más relevante la exposición a este contaminante en ambientes intramuros (Wilson *et al*, 1996; Pooley *et al*, 1999; Molina T. and Molina J., 2002). La Tabla 6 indica algunos efectos asociados con la exposición a O₃ y PM₁₀.

Tabla 6. Efectos de salud asociados con la exposición a O₃ y PM₁₀.

MORTALIDAD	O₃	PM₁₀	Efectos en asmáticos	O₃	PM₁₀
Admisión en hospitales			Ataques de asma	√	√
General			Tos sin flema (niños)		√
Afecciones respiratorias	√	√	Tos con flema (niños)		√
Cardio-cerebrovascular	√	√	Tos con flema y uso de broncodilatador		√
Falla congestiva del corazón		√	Síntomas respiratorios (niños)	√	
Visitas a Sala de emergencia			Síntomas respiratorios menores	√	
Respiratoria	√	√	Morbilidad crónica		
Síntomas respiratorios			Bronquitis crónica, casos adicionales		√
Síntomas en vías respiratorias superiores	√	√	Tos crónica, prevalencia (niños)		√
Síntomas en vías respiratorias inferiores	√	√	Mortalidad por exposición crónica		
Sibilancias	√		Total		√
Bronquitis aguda		√	Mortalidad por exposición aguda		
			Total	√	√
			Infantil		√

Fuente: ECOURS, 2001.

No obstante que la población de la ZMVM reconoce que la contaminación afecta su calidad de vida, la mayoría no realiza acciones para proteger su salud cuando la contaminación es alta y no están de acuerdo en realizar acciones pro-ambientales si hay pérdida de comodidades, por ejemplo: la sustitución del automóvil por el transporte público. Al parecer la participación de la sociedad se limita al cumplimiento de acciones, sin tener plena cultura ambiental. Esto a pesar de que en el PROAIRE 1995–2000 se previó la necesidad de un cambio cultural profundo y duradero de la relación entre la sociedad, la ciudad y el ambiente, para modificar los esquemas de valores y prioridades de la sociedad (ECOURS, 2001, disponible en Internet).

Ante esta situación, el PROAIRE 2002–2010 se planeó como un programa a diez años que define la corresponsabilidad de las dependencias gubernamentales, los sectores privado, educativo y a la sociedad en general, que requiere de un proceso de aprendizaje, de intercambio de información, de educación y capacitación profesional, de participación comunitaria y desarrollo de una cultura ambiental. Lo anterior, es motivado por los hallazgos recientes en materia de salud, contaminación del aire y costos sociales (Molina T. and Molina J., 2002; CAM, 2002, disponible en Internet).

El carácter dinámico de este programa permitirá agilizar el proceso de difusión y comprensión por parte de la población, para motivar una participación más decidida y efectiva, mediante el empleo de indicadores de desempeño para evaluar el cumplimiento de sus metas.

De esta forma, el presente documento tiene el propósito de mostrar un panorama integral del estado actual de los contaminantes atmosféricos de la ZMVM y el riesgo que implica en la salud de sus habitantes, así como sus tendencias de 1990 a 2001. Para cumplir este propósito se emplean indicadores que cumplen una serie de requisitos técnicos que garantizan su confiabilidad para evaluar el desempeño ambiental de las acciones de prevención y control. De esta forma se integra un sistema de indicadores con una línea base de información, que permitirá evaluar el impacto de las acciones instrumentadas en el futuro y sustentar la toma de decisiones.

CAPÍTULO 2. SISTEMA DE MONITOREO ATMOSFÉRICO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

A finales del año 2000 se conjuntaron los esfuerzos destinados a la operación de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA), la Red Meteorológica (REDMET), la Red Manual de Monitoreo Atmosférico (REDMA) y la Red de Depósito Atmosférico (REDDA), para consolidar el Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT) de la Ciudad de México, con el propósito de llevar a cabo la vigilancia y evaluación del estado que guarda la calidad del aire para mantener informada a la sociedad, de manera continua y permanente, como medio de protección de la salud y al mismo tiempo apoyar la toma de decisiones de prevención y control de la contaminación.

La RAMA comenzó a operar a partir de 1986. Hoy en día está integrada por 32 estaciones remotas equipadas con equipo automático que reporta un registro cada hora, de las cuales 15 forman parte de la REDMET¹⁰. A su vez, la REDMA cuenta con 19 estaciones remotas equipadas con equipo manual que reportan un registro de 24 horas cada 6 días. En lo concerniente a la REDDA, ésta cuenta con 16 estaciones remotas equipadas con colectores semiautomáticos (depósito húmedo y seco)¹¹ que reportan un registro semanal. Es importante mencionar que el número de sitios de la RAMA, la REDMA y la REDDA ha presentado cambios en años anteriores. En el Mapa 1 se señala la ubicación de cada una de las estaciones del SIMAT.

Los parámetros que se determinan actualmente en el SIMAT se presentan en la Tabla 7 y en el Anexo 2 se presenta la relación de estaciones, los parámetros que registra cada una y las unidades de medición.

Tabla 7. Parámetros que se registran en el SIMAT por tipo de red de monitoreo y tiempo de medición.

TIPO DE RED	PARÁMETRO
RAMA	Concentraciones horarias de los contaminantes criterio: O ₃ , NO ₂ , CO, SO ₂ y PM ₁₀ .
REDMET	Registros horarios de las variables meteorológicas, velocidad del viento (VV), dirección del viento (DV), humedad relativa (HR), temperatura ambiente (TMP), radiación solar UV-b (UVb), radiación solar UV-a (UVa) y radiación global (GR).
REDMA	Concentraciones de partículas suspendidas totales (PST) y PM ₁₀ en muestreos de 24 horas cada 6 días, así como la concentración de algunos metales pesados, entre ellos el Pb.
REDDA	Muestreos semanales de depósito seco y depósito húmedo (agua de lluvia) en este último se determina el pH, la conductividad específica, concentraciones de aniones (nitratos, sulfatos y cloruros) y de cationes (amonio, calcio, magnesio, sodio y potasio).

Como se observa en esta relación, el SIMAT realiza mediciones de PM₁₀ por medio de la RAMA y la REDMET; sin embargo, en México no existe una norma técnica que establezca el método de medición y el procedimiento para calibrar los equipos de medición de este contaminante, por lo que se han adoptado las técnicas y métodos de la Agencia para la Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos de Norteamérica (US EPA, por sus siglas en inglés).

En la REDMA se emplean desde 1986 muestreadores de *Alto Volumen* (HI-VOL por sus siglas en inglés), para obtener muestras de 24 horas cada 6 días de PST y PM₁₀. En la RAMA se

¹⁰ Las estaciones de la REDMET cuentan con sensores tipo termistor para la medición de la temperatura ambiente y sensores tipo capacitivo para la humedad relativa. En 10 estaciones se usan sensores electromecánicos para la velocidad y dirección del viento (veleta y anemómetro respectivamente) y en las 5 restantes se emplean sensores ultrasónicos.

¹¹ A partir de 1997 se comenzaron a reemplazar los equipos convencionales de depósito total por equipos semiautomáticos de depósito (húmedo y seco).

emplean desde 1995 los métodos *TEOM* y *BETA*,¹² para obtener un registro horario de PM10 durante los 365 días del año. La Tabla 8 lista las ventajas y desventajas de ambos equipos.

Mapa 1. Localización de las estaciones del SIMAT de la Ciudad de México (2001).



SIMBOLOGÍA	
▲ RAMA	■ RAMA, REDMA, REDDA, REDMET
◆ RAMA, REDMA	◆ RAMA, REDMET, REDRAS
□ RAMA, REDMA, REDDA, REDMET, REDRAS	● REDDA
⊕ RAMA, REDMA, REDMET, REDRAS	■ REDMA
⊗ RAMA, REDMA, REDMET	▼ REDMA, REDDA
* RAMA, REDMET	⊕ RAMA, REDDA, RETMET, REDRAS

SECRETARIA DEL MEDIO AMBIENTE
GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL

ABREVIATURAS:

RAMA: RED AUTOMÁTICA; REDMA: RED MANUAL; REDMET: REM DE METEOROLOGÍA;
REDRAS: RED DE RADIACIÓN SOLAR REDDA: RED DE DEPÓSITO ATMOSFÉRICO

¹² El equipo TEOM por sus siglas en inglés (*Tapered Element Oscillating Microbalance*), determina continuamente la masa de las partículas recolectadas en un filtro oscilante, mediante el cambio de frecuencia de oscilación debida al depósito de partículas. El equipo BETA determina continuamente la concentración de partículas depositadas en un filtro, por medio de la absorción de un haz de radiación beta. Por su parte, los muestreadores de alto volumen muestrean un flujo de aire de aproximadamente 1.5 m³/min (unos 2000 m³/día), a fin de obtener una muestra de partículas suficiente para análisis gravimétrico y químico.

El análisis comparativo de las mediciones efectuadas en la RAMA y la REDMA en las mismas fechas de 1995 a 2001, refleja que las concentraciones de PM₁₀ registradas con el método de Alto Volumen son mayores que las registradas con métodos TEOM y BETA (Figura 7), en la mayor parte del período, hasta antes del año 2001. Actualmente se han implementado en el SIMAT de la Ciudad de México, acciones para mejorar la calidad en la operación de los equipos automáticos de medición TEOM, mediante su ajuste con métodos de referencia. Esto garantiza que en el futuro los registros efectuados con cualquiera de estos métodos sean igualmente confiables.

Debido a estas diferencias, en el presente informe se consideró únicamente la información reportada por el método de Alto Volumen, ya que además de ser un método de referencia de la US EPA, es un método que disminuye la posibilidad de errores en la medición.

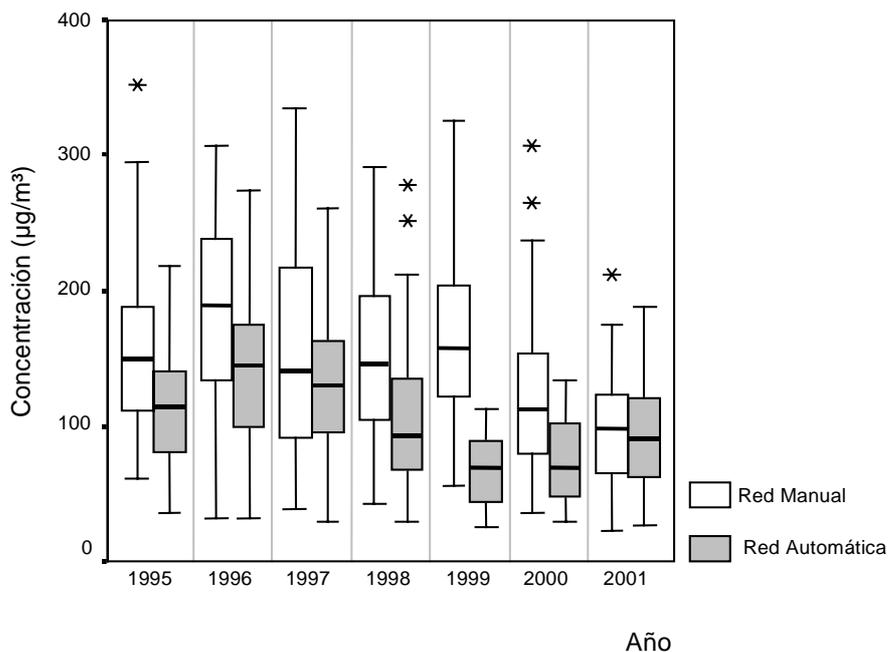
Tabla 8. Comparación de los métodos de medición de PM₁₀.

	Alto Volumen (HI VOL)	TEOM y BETA
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Es un método de referencia de la EPA^a. • Buena precisión y exactitud. • Método sencillo. • Calibración sencilla. • Presenta interferencias mínimas asociadas a la composición de las partículas. • Se emplea en la regulación ambiental. 	<ul style="list-style-type: none"> • Registra datos continuos (cada hora). • Se emplea en la vigilancia ambiental. • Se emplea en la regulación ambiental.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • No se emplea en la vigilancia ambiental. • Interferencia por compuestos gaseosos que reaccionan con el material del filtro/^b. • Un muestreo cada seis días. 	<ul style="list-style-type: none"> • BETA no es un método gravimétrico. • Principio de operación complejo.

^a El método de referencia de la EPA es un método gravimétrico.

^b Emplea filtros de fibra de vidrio.

Figura 7. Registros de PM₁₀ con métodos de medición manual y automática.



Nota: La Red Manual mide con el método de Alto Volumen y la Red Automática con el método TEOM o BETA.

CAPÍTULO 3. CRITERIOS TÉCNICOS PARA LA OBTENCIÓN DE INDICADORES DE ESTADO Y TENDENCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE

La operación del SIMAT ha requerido cambios en su configuración, como son: la ubicación de nuevas estaciones o la reubicación de otras, además del aumento o disminución del número de instrumentos de medición, por lo que se considera un sistema dinámico que se modifica para satisfacer las necesidades de cobertura en la medición de contaminantes. Además es susceptible a la pérdida o invalidación de registros, debido a fallas en la operación de los instrumentos y en la transmisión de la información, contaminación de filtros, cortes en la energía eléctrica o mantenimiento de los equipos.

Aunado a esto, desde el segundo semestre del 2001 el SIMAT implementó un control de calidad en la operación de los equipos de medición de O₃, NO₂, NO_x y SO₂, por lo cual, desde octubre de ese año se considera que estos equipos pueden registrar una concentración “cero”¹³.

Para obtener los indicadores de calidad del aire y del clima del presente informe, se instrumentaron procedimientos que consideran las situaciones antes descritas, buscando con ello garantizar su confiabilidad como instrumentos de evaluación del estado de la calidad del aire y del clima. A continuación se describen estos procedimientos y el sustento de su empleo.

IDENTIFICACIÓN DE ESTACIONES CON EL MEJOR DESEMPEÑO HISTÓRICO

Debido a la pérdida o invalidación de registros en el SIMAT, es necesario llevar a cabo un proceso de depuración de las bases de datos por estación de monitoreo e invalidar registros incongruentes o aislados¹⁴. Este procedimiento permite identificar a las estaciones de monitoreo que cuentan con información suficiente, lo que incrementa la confianza de los indicadores. De esta forma se clasificó el *desempeño anual* de cada estación de monitoreo por medio de tres categorías: *bueno* cuando registró el 75% o más de los datos esperados en el año, *regular* cuando registró más del 50% sin llegar al 75% y *malo* cuando registró 50% o menos de los datos¹⁵. En la Tabla 9 se indica el número de registros para establecer estas categorías en cada uno de los tipos de red que conforman el SIMAT (en el Anexo 3 se presenta el desempeño anual de cada estación de monitoreo del SIMAT).

Tabla 9. Número de registros por red de monitoreo del SIMAT de la Ciudad de México relacionados con las categorías de desempeño.

TIPO DE RED	TIPO DE DATOS	DESEMPEÑO DE LA ESTACIÓN (PORCENTAJE DE DATOS)		
		MALO (menor o igual al 50%)	REGULAR (más de 50% y menos de 75%)	BUENO (mayor o igual al 75%)
RAMA y REDMET	Horario	0 a 4392	4393 a 6587	6588 a 8784 (año bisiesto)
		0 a 4380	4381 a 6569	6570 a 8760 (año no bisiesto)
REDMA	Muestras de 24 horas	0 a 31	32 a 45	46 a 61
REDDA	Muestras Semanales	-	-	Total de eventos de lluvia muestreados

Es importante señalar que la información histórica de los NO_x no se ha validado; sin embargo, se consideró pertinente considerarla para llevar a cabo un análisis preliminar.

Una vez definido el desempeño anual de cada estación de monitoreo, se identificaron aquellas que entre 1990 y 2001 presentaron el *mejor desempeño histórico*, es decir, estaciones de

¹³ En años anteriores al 2001 los equipos no eran sensibles a la medición de concentraciones “cero”.

¹⁴ Se considera como registro aislado aquel que para un período de tiempo específico no cuenta con datos anteriores y posteriores a él, como consecuencia de la pérdida de registros.

¹⁵ Este criterio de desempeño es congruente con el que se empleó en el “Compendio Estadístico del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la ZMVM 1986-2001”.

monitoreo con un 75% o más de años de operación con desempeño anual bueno. En la Tabla 10 se ejemplifica este procedimiento, donde las estaciones 2 y 4 se consideran con mejor desempeño histórico, debido a que en el 75% o más de los años en que han operado tienen un desempeño bueno.

Tabla 10. Ejemplificación del criterio de selección de estaciones de la ZMVM con mejor desempeño histórico.

ESTACIÓN	AÑOS MIDIENDO A PARTIR DE 1990	AÑOS CON DESEMPEÑO BUENO A PARTIR DE 1990	PORCENTAJE DE AÑOS CON DESEMPEÑO BUENO	¿CUENTA CON EL MEJOR DESEMPEÑO HISTORICO?
1	12	8	67%	No
2	12	9	75%	Sí
3	8	5	63%	No
4	8	6	75%	Sí

Después de instrumentar estos procedimientos se consideró que la información de las estaciones del SIMAT listadas en la Tabla 11, es representativa del fenómeno de contaminación atmosférica y del clima que predomina en la metrópoli, por lo tanto, es la "mejor" información para la integración de indicadores.

Tabla 11. Estaciones del SIMAT de la Ciudad de México con mejor desempeño histórico (1990–2001).

Parámetro	RAMA				REDMET			REDMA				REDDA		
	O ₃	CO	SO ₂	NO ₂	HR	TMP	VV	PST	Pb–PST	PM10	Pb–PM10	pH	Aniones	Cationes
Estaciones	LAG	LAG	SUR	TAC	TAC	TAC	EAC	TLA	TLA	TLA	TLA	EDL	EDL	EDL
	TAC	TAC	TAC	EAC	SAG	EAC	SAG	XAL	XAL	XAL	XAL	XCH	XCH	XCH
	AZC	EAC	EAC	SAG	TLA	SAG	TLA	MER	MER	MER	MER	FAN	FAN	FAN
	TLA	TLA	LPR	TLA	XAL	TLA	XAL	PED	PED	PED	PED	LOM	LOM	LOM
	XAL	XAL	LVI	XAL	MER	XAL	PED	CES	CES	CES	CES	TEC	TEC	TEC
	MER	MER	AZC	MER	PED	MER	CES	UIZ	FAN	NTS		TLA	TLA	TLA
	PED	PED	TLA	PED	CES	PED	PLA	FAN	TEC	UIZ		MCM	MCM	MCM
	CES	CES	XAL	CES	PLA	CES	HAN	HAN	CFE			LBFQ	LBFQ	LBFQ
	PLA	PLA	MER	HAN	HAN	PLA		POT						
	HAN	HAN	PED	BJU		HAN		TAX						
	UIZ	UIZ	CES	PLA				TEC						
	BJU	BJU	ARA	LAG				CFE						
	TAX	SAG	LAG	AZC				CHA						
		VAL	PLA	UIZ										
	AZC	UIZ	TAX											
		BJU												
Total	13	15	17	15	9	10	8	13	8	7	5	16	6	16

Nota: FAN, MCM, y XCH se reubicaron en 1998.

Esta distinción de estaciones con mejor desempeño histórico para obtener indicadores, contrasta con algunos reportes que emplean solamente la información de estaciones "históricas" o "representativas" de una región, lo que puede reflejar condiciones particulares del área donde se localizan. En otros reportes se considera la información de estaciones que operaron en algunos años con un desempeño bueno y posteriormente con un desempeño malo (DDF, 1996; DDF 1998; INE, 1997; CAM, 2002, disponible en Internet; GDF, 1999a).

CRITERIOS PARA PROCESAR LA INFORMACIÓN DE ESTACIONES CON MEJOR DESEMPEÑO HISTÓRICO, COMO BASE PARA LA DEFINICIÓN DE INDICADORES

Después de identificar las estaciones con el mejor desempeño histórico se procesó su información para obtener los indicadores, esto requirió aplicar diferentes criterios en función del fenómeno de contaminación atmosférica que caracteriza cada indicador y del tipo de red de que

proviene los datos. En la Tabla 12 se explican estos criterios. La información de la REDMET que aparece en la sección de *Estado* del Capítulo 1, Capítulo 7 y Anexo 7, se procesó considerando los criterios que aparecen al final de la Tabla 12.

Tabla 12. Criterios para procesar la información de las estaciones del SIMAT con mejor desempeño.

TIPO DE RED	CRITERIOS PARA CADA TIPO DE DATO
RAMA	Para el cálculo de indicadores basados en registros horarios (máximo o promedio diario) la información se procesa únicamente si se cuenta con el 75% o más de los registros del día (18 o más horas), de otra manera no se considera la información. En el caso de los indicadores de CO, este criterio se aplica en dos etapas, primero para obtener el promedio móvil de 8 horas (el cual se obtiene al menos con 6 horas con datos), y después para obtener el máximo diario de estos promedios móviles (que se obtiene al menos con 18 promedios móviles con datos).
REDDA	Los indicadores se basan en los muestreos colectados cada 7 días, por lo que las muestras con menos de 6 días o más de 8 no se consideraron en el cálculo.
REDMA	Debido a que las PM10 no cuentan con una norma específica para su medición, para el cálculo de indicadores de este contaminante se aplicó el criterio definido para las PST, basado en la NOM-035-ECOL-1993, que establece que las mediciones deben realizarse en períodos de 24 horas cada seis días o cada tres días. Los registros que no cumplieron con este calendario de muestreo no se consideraron en la obtención de los indicadores.
REDMET	Los registros horarios deben estar en el intervalo de medición del aparato y con valores típicos según la época del año. Dado que la VV y DV se obtienen como promedio vectorial, es necesario que ambos sensores operen correctamente, de tal forma que si en la base un registro carece de información de alguno de estos parámetros, el registro se invalida. Es importante señalar que hasta el 30 de marzo de 1995, la VV se registraba en millas terrestres y que a partir del 1 de abril de 1995 se registra en metros por segundo, por lo cual se utilizó la equivalencia de <i>1 milla terrestre = 1,609 metros</i> ($1 \text{ milla/hr} = 0.4469 \text{ m/s}$) para convertir los registros anteriores al 1 de abril de 1995.

INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AIRE

Después de instrumentar los criterios mencionados se obtuvieron los indicadores, éstos se consideran como medidas estadísticas que proporcionan información o tendencias de uno o más parámetros asociados con algún fenómeno ambiental, lo que permiten evaluar el desempeño ambiental de las acciones de prevención y control (INE-SEMARNAP, 1997). En la Tabla 13 se listan los indicadores empleados en este documento, su descripción y el fenómeno que caracterizan, así como el tipo de dato procesado que puede emplearse para su obtención.

Tabla 13. Indicadores de la calidad del aire para la ZMVM.

INDICADOR	DESCRIPCIÓN	TIPO DE DATOS O BASES DE DATOS PROCESADAS				
		Horarios	Móviles	Diarios	Exposición total diaria	Exposición promedio diaria
Percentil 90, Percentil 75, Percentil 50 o Mediana	Después de ordenar una población de datos por su magnitud (de menor a mayor), el Percentil 90 señala la concentración que acumula el 90% del total de registros ¹⁶ y el Percentil 75 señala la concentración que acumula el 75%. El Percentil 50 señala el valor de la concentración que divide al total de registros en dos grupos de igual tamaño (mediana). La cantidad de registros que integran estos percentiles permite caracterizar adecuadamente el comportamiento cotidiano de un contaminante y evaluar el impacto de los programas ambientales. Es posible identificar fenómenos temporales o regionales.	✓	✓	✓	✓	✓

Tabla 13. Indicadores de la calidad del aire para la ZMVM (continuación).

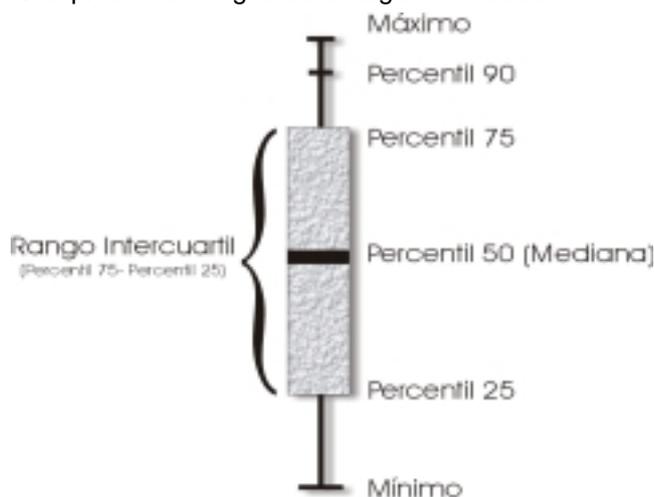
INDICADOR	DESCRIPCIÓN	TIPO DE DATOS O BASES DE DATOS PROCESADAS				
		Horarios	Móviles	Diarios	Exposición total diaria	Exposición promedio diaria
Distribución de días al año por intervalos de concentraciones	Muestra la frecuencia de valores de un contaminante en intervalos específicos, para evaluar su comportamiento en el tiempo. Para contaminantes criterio los intervalos se asocian con sus norma de salud.	✓	✓	✓	✓	✓

¹⁶ Otra manera de interpretar el Percentil 90 es cuando se señala la concentración a partir de la cual se encuentra la décima parte más contaminada del total de registros.

INDICADOR	DESCRIPCIÓN	TIPO DE DATOS O BASES DE DATOS PROCESADAS			
Promedio horario típico	Muestra el comportamiento de un contaminante en el transcurso del día, mostrando los valores "típicos" o "promedio" de cada hora. Se obtiene al promediar los registros del año para una hora en particular. Permite asociar la concentración de los contaminantes con la intensidad de las actividades antropogénicas.	✓			

En la Figura 8 se representa la caracterización que hacen los percentiles y otros indicadores de una población de datos.

Figura 8. Representación gráfica de algunos indicadores estadísticos



A continuación se hace una explicación más detallada de estos indicadores en función del fenómeno de la calidad del aire que se pretende caracterizar, así como las herramientas estadísticas que complementan esta caracterización. Esta explicación se presenta en el orden en que serán abordados en los Capítulos posteriores.

Tendencia

En el Capítulo 4 se analiza la evolución de los contaminantes criterio presentes en la atmósfera de la ZMVM y se identifica la presencia de tendencia, con la finalidad de evaluar de forma indirecta la influencia de las acciones enmarcadas en el PICCA y en el PROAIRE 1995–2000. El indicador empleado fue el Percentil 90 anual de las concentraciones máximas diarias, que permite caracterizar la evolución de las concentraciones máximas cotidianas que se presentan en la ZMVM y se evita la influencia de concentraciones extremas asociadas a eventos extraordinarios o locales, como son los desfogues industriales ocasionales, las tolvaneras o episodios generados por vehículos automotores.

Desde el punto de vista económico la tendencia es la evolución a largo plazo de una determinada variable, que permite apreciar su desplazamiento creciente o decreciente, subyacente a sus fluctuaciones cíclicas; mientras que desde un enfoque estadístico se define como el movimiento de larga duración continuo y lento, que representa la evolución normal de un fenómeno¹⁷.

¹⁷ El Pequeño Larousse Ilustrado, 2001.

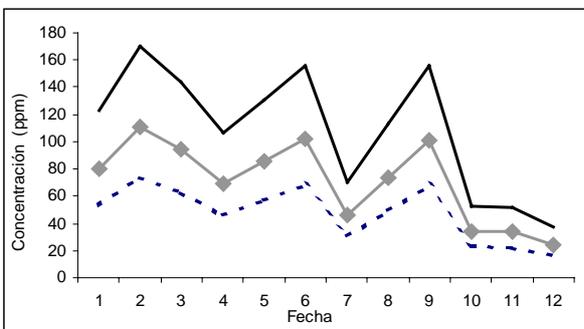
➤ **Prueba no paramétrica para evaluar tendencia**

Debido a que el indicador Percentil 90 se integró con información de varias estaciones, existe la posibilidad de que en alguna de éstas exista una tendencia creciente y en otras decreciente, o que no presenten tendencia. Por esta razón, inicialmente se evaluó que todas las estaciones presentaran el mismo tipo de tendencia, es decir, que fueran homogéneas. Esto requirió emplear una prueba estadística para identificar que el cambio de un contaminante fuera homogéneo en todas las estaciones de monitoreo, denominada *Prueba de Homogeneidad* (Gilbert O. R., 1987).

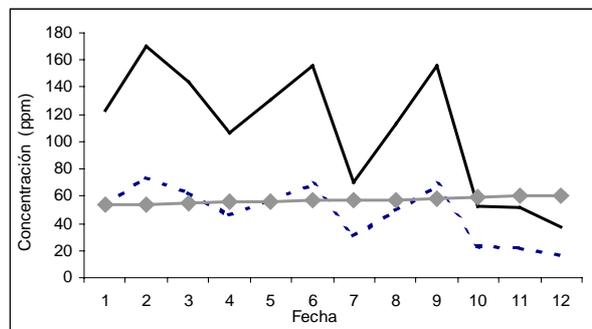
Después de identificar homogeneidad en las estaciones, se determinó la presencia de tendencia con la *Prueba de Mann Kendall* (Gilbert O. R., 1987), que identifica en el comportamiento del Percentil 90 cuando la pendiente de la recta es mayor o igual a cero, considerando los ciclos característicos del comportamiento anual del contaminante. Ambas pruebas se obtienen con un nivel de confianza del 95%, lo que significa que sus resultados pueden tener un margen de error del 5%.

Como ejemplo de homogeneidad y tendencia, se muestran a continuación diferentes casos:

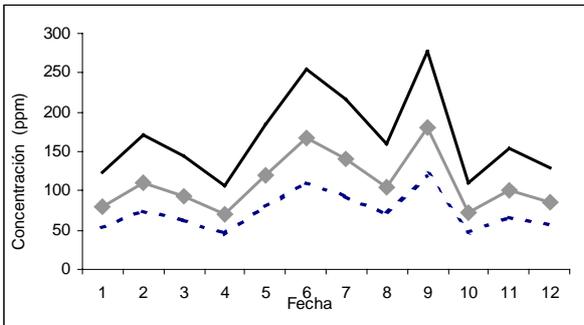
Caso 1. Las tres estaciones cambian en la misma dirección (hay homogeneidad) y presentan tendencia decreciente.



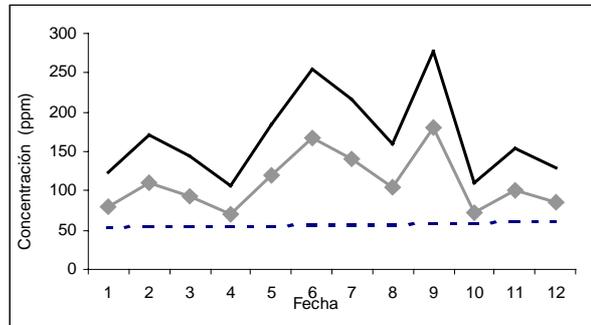
Caso 2. Dos estaciones cambian en la misma dirección y la tercera se mantiene constante, hay homogeneidad y tendencia decreciente.



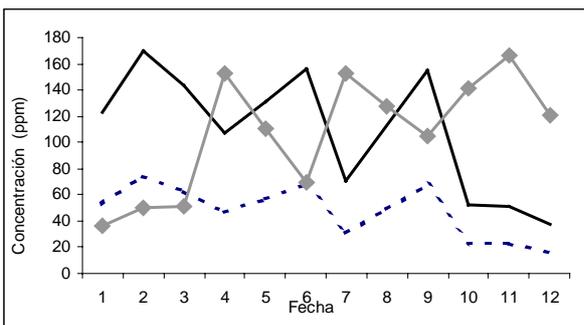
Caso 3. Las tres estaciones muestran el mismo cambio (hay homogeneidad), sin embargo, no hay tendencia (se muestran oscilantes).



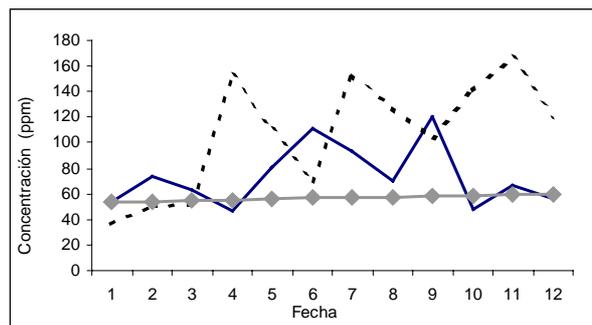
Caso 4. Dos estaciones muestran el mismo cambio y la otra se mantiene constante (hay homogeneidad), pero no hay tendencia.



Caso 5. Dos estaciones muestran un cambio en la misma dirección (tendencia decreciente) y la tercera lo muestra en la dirección opuesta (tendencia creciente), no hay homogeneidad, debido a que presentan tendencia en sentido contrario.



Caso 6. Cada estación presenta un cambio en dirección opuesta a las otras (una presenta tendencia creciente, otra decreciente y la tercera se muestra constante), no hay homogeneidad.



La Tabla 14 resume este procedimiento y su interpretación. En el Capítulo 4 de este documento se indica que hay una *tendencia homogéneamente decreciente* cuando ambas pruebas resultan afirmativas, es decir, todas las estaciones presentan tendencia y ésta es decreciente.

Tabla 14. Formato de resultados de las pruebas de homogeneidad y tendencia.

Primer paso: Prueba de homogeneidad	
Sí	No
Se realiza la prueba de tendencia.	La descripción concluye.
Segundo paso: Prueba de tendencia	
Sí	No
Se calcula el porcentaje de cambio del período en cada una de las estaciones que representan la ZMVM y se obtiene un promedio de estos valores.	La descripción concluye.

Salud y Exposición

Debido a que cada día cobra más importancia la influencia que tiene el ambiente en la salud de la población, tanto en el hogar, el trabajo y el entorno urbano (FUNSALUD, 1994), en el Capítulo 5 de este documento se hace un análisis detallado para describir el estado actual de la calidad del aire y su implicación en la salud de la población.

➤ Normas de protección a la salud

Se evaluó el estado de la calidad del aire con respecto a los límites permisibles de las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) de protección a la salud. El indicador empleado fue el número de días o muestreos anuales con valores por arriba de estos límites. En la Tabla 15 se listan las NOM de cada contaminante, los límites permisibles y la exposición que caracterizan (aguda o crónica)¹⁸.

Tabla 15. Normas Oficiales Mexicanas, Salud Ambiental^{1a}.

CONTAMINANTE (NOM)	VALORES LÍMITE		
	EXPOSICIÓN AGUDA		EXPOSICIÓN CRÓNICA
	CONCENTRACIÓN Y TIEMPO PROMEDIO	FRECUENCIA MÁXIMA ACEPTABLE	CONCENTRACIÓN Y TIEMPO PROMEDIO
Ozono (O ₃) (NOM-020-SSA1-1993)	0.11 ppm (1 hora)	1 vez al año cada 3 años ^b	-----
	0.08 ppm ^c (máximo diario de promedios móviles de 8 horas)	4 veces al año	-----
Monóxido de Carbono (CO) (NOM-021-SSA1-1993)	11 ppm (máximo diario de promedios móviles de 8 horas)	1 vez al año	-----
Bióxido de Azufre (SO ₂) (NOM-022-SSA1-1993)	0.13 ppm (24 horas)	1 vez al año	0.03 ppm (promedio aritmético anual)
Bióxido de Nitrógeno (NO ₂) (NOM-023-SSA1-1993)	0.21 ppm (1 hora)	1 vez al año	-----
Partículas Suspendidas Totales (PST) (NOM-024-SSA1-1993)	260 µg/m ³ (24 horas) 210 µg/m ³ ^c (24 horas)	1 vez al año	75 µg/m ³ (promedio aritmético anual)
Partículas menores a 10 micrómetros (PM ₁₀) (NOM-025-SSA1-1993)	150 µg/m ³ (24 horas) 120 µg/m ³ ^c (24 horas)	1 vez al año	50 µg/m ³ (promedio aritmético anual)
Plomo (Pb) (NOM-026-SSA1-1993)	-----	-----	1.5 µg/m ³ (promedio aritmético de 3 meses)

^{1a} Publicadas en el Diario Oficial de la Federación el 23 de diciembre de 1994.

^b En la modificación de la norma se plantea 1 vez al año, nuevas especificaciones a publicarse en el Diario Oficial de la Federación.

^c Nuevas especificaciones y valores a publicarse en el Diario Oficial de la Federación.

¹⁸ La exposición aguda se produce en períodos de tiempo reducidos (a lo más 24 horas) ante concentraciones altas de un contaminante. La exposición crónica, se produce en períodos prolongados de tiempo (de 3 meses a 1 año) ante concentraciones relativamente bajas y que pueden causar efectos dañinos a la salud.

➤ **Exposición a O₃ y PM₁₀**

En el Capítulo 1 se mencionó que el O₃ rebasa cotidianamente la norma de protección a la salud; sin embargo, ésta se refiere a eventos de una hora y no a períodos prolongados de exposición que tienen un mayor riesgo para la salud de la población. Por esta razón se evaluó el estado de la calidad del aire en función de la exposición diaria a concentraciones que superan el límite permisible de 0.11 ppm de la norma.

Para cumplir con este propósito se empleó el indicador de *Exposición Promedio Diaria*, el cual representa una concentración promedio de exposición durante el día, su magnitud puede asociarse con un mayor riesgo.

Para calcular este indicador, inicialmente se obtuvo la *Exposición Total¹⁹ Diaria* como la suma de las diferencias de los datos horarios del día ([Concentración]_{hr}) mayores a 0.110 ppm (L_p), la diferencia es la exposición horaria ([Concentración]_{hr} - L_p). La siguiente ecuación resume este cálculo:

$$Exp.Tot.día = \sum_{[Concentración]_{hr} > L_p} ([Concentración]_{hr} - L_p)$$

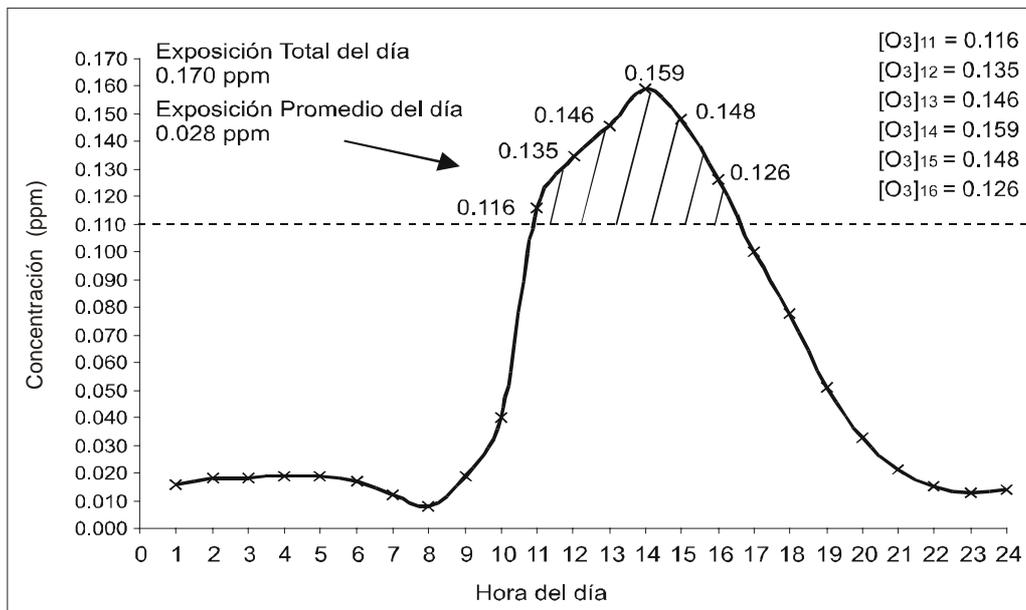
Posteriormente se obtuvo la *Exposición Promedio²⁰ Diaria*. La siguiente ecuación resume el cálculo.

$$Exp.Pr om.día = \frac{Exp.Tot.día}{\text{horas del día que se excede el límite permisible}}$$

En la Figura 9 se ejemplifica el fenómeno que caracteriza este indicador, el cálculo de la exposición promedio diaria se realiza de la siguiente forma:

$$Exp.Pr om.día = \frac{(0.116 - 0.110) + (0.135 - 0.110) + (0.146 - 0.110) + (0.159 - 0.110) + (0.148 - 0.110) + (0.126 - 0.110)}{6} = 0.028 \text{ ppm}$$

Figura 9. Ejemplo de Exposición Total Diaria a O₃.



¹⁹ La *Exposición Total* es el acumulado de las diferencias entre el límite permisible y los registros mayores a éste para un período de tiempo determinado.

²⁰ La *Exposición Promedio* es la relación entre la Exposición Total y el número de horas con concentraciones por arriba del límite permisible.

Para las PM₁₀ el indicador de exposición se obtuvo con la información de muestreos de 24 horas y se visualizó de forma anual. Inicialmente se calculó la *Exposición Total Anual*, considerando los muestreos ([Concentración]_{muestreo}) mayores al límite permisible de 150 µg/m³ (L_p), la diferencia entre el valor del muestreo y el límite permisible, representó la exposición durante el día del muestreo ([Concentración]_{muestreo} - L_p). Para cumplir con este propósito se empleó el indicador de *Exposición Promedio Anual*, el cual representa una concentración promedio de exposición anual, su magnitud se asocia con un mayor riesgo.

La *Exposición Total Anual* se obtuvo como la suma de las diferencias. En la siguiente ecuación se resume la forma de cálculo.

$$Exp.Tot.anual = \sum_{[Concentración]_{muestreo} > L_p} ([Concentración]_{muestreo} - L_p)$$

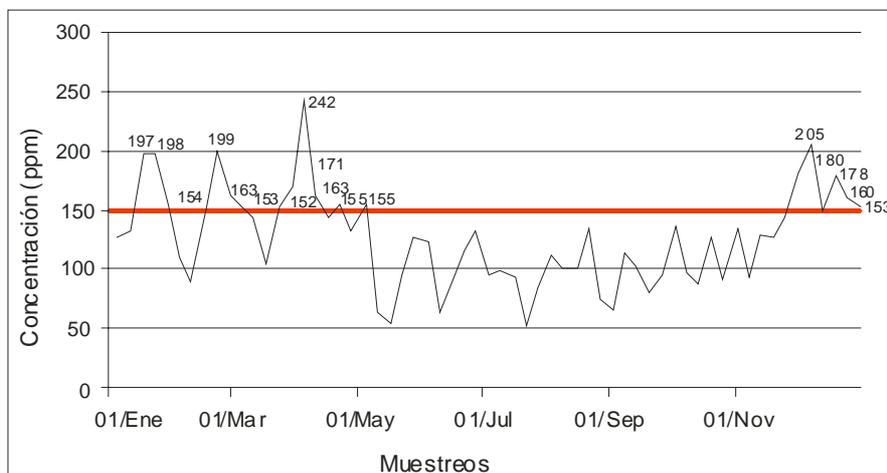
Posteriormente se obtuvo la *Exposición Promedio Anual de PM₁₀*, como se resume en la siguiente ecuación.

$$Exp.Pr om.anual = \frac{Exp.Tot.anual}{muestreos\ del\ año\ que\ se\ excede\ el\ límite\ permisible}$$

La Figura 10 ilustra el fenómeno que caracteriza este indicador, el cual se calculó con base a diecisiete muestreos del año mayores a 150 µg/m³, como se ilustra a continuación.

$$Exp.Pr om.anual = \left\{ \begin{array}{l} (197 - 150) + (198 - 150) + (154 - 150) + (199 - 150) + (163 - 150) + (153 - 150) + (242 - 150) + \\ (171 - 150) + (163 - 150) + (152 - 150) + (155 - 150) + (155 - 150) + (205 - 150) + (180 - 150) + \\ (178 - 150) + (160 - 150) + (153 - 150) \end{array} \right\} \div 17 = 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

Figura 10. Ejemplo de Exposición Total Anual a PM₁₀.



➤ **Variación espacial de la exposición a O₃ y PM₁₀**

En el Capítulo 1 se mencionó que el problema de contaminación del aire en la ZMVM tiene una estrecha relación con la cadena montañosa que la rodea (Sierra Nevada, Sierra de las Cruces y Sierra Ajusco-Chichinautzin) y que evita la dispersión de contaminantes, principalmente en la zona sur; además el uso de suelo determina la presencia de contaminantes en una región, ya sea industrial, servicios o suelos en proceso de erosión.

Estas características determinan que en algunas regiones de la ZMVM la calidad del aire represente un mayor riesgo para la salud de la población. Para identificar las regiones de mayor riesgo por exposición a O₃ y PM₁₀, se llevó a cabo un análisis espacial de sus indicadores de exposición. El análisis temporal en 4 años clave de la gestión de la calidad del aire (1990, 1995, 2000

y 2001) permitió evaluar el desempeño ambiental de los programas de gobierno en términos de disminuir la exposición de la población y proteger su salud.

Comportamiento diario típico

La variación de las conductas y patrones de actividad de la población, así como en los horarios de actividad comercial o de producción, provoca que a lo largo del día las emisiones de contaminantes fluctúen. Este comportamiento se observa en los registros que realiza el SIMAT, de tal forma que algunos contaminantes atmosféricos tienen patrones definidos a lo largo del día, con períodos de horas de concentraciones altas que implican un mayor riesgo para la población, principalmente para quienes realizan actividades al aire libre.

Ante las acciones de prevención y control instrumentadas, es necesario tipificar el comportamiento actual que tienen los contaminantes atmosféricos a lo largo del día, en función de fuentes de emisión específicas. Para cumplir con este propósito en el Capítulo 6 se empleó el *promedio horario anual* como un indicador del comportamiento típico de cada una de las 24 horas del día, es decir, se promedian las concentraciones de la hora 01:00 de los 365 días del año, y así subsecuentemente para las 23 horas restantes. Este indicador se obtuvo para estaciones de monitoreo con un uso de suelo diferente, lo que permitió caracterizar el comportamiento de los contaminantes criterio a lo largo del día en función de fuentes de emisión predominantes.

Comportamiento temporal

En el Capítulo 1 se mencionó que la variación climática que presenta anualmente la ZMVM, influye directamente en la presencia de algunos contaminantes atmosféricos. Se reconoce que en la época de lluvias disminuyen los niveles de partículas y en invierno se acumulan los contaminantes debido a las inversiones térmicas, mientras que en general, en la época de secas los niveles de radiación solar propician la formación de niveles extremos de O₃ que provocan situaciones de emergencia ambiental.

En el Capítulo 7 se realizó el análisis histórico del comportamiento de los contaminantes atmosféricos en tres épocas climáticas que caracterizan a la ZMVM: seca fría, seca caliente y lluvias. El indicador empleado fue el *Percentil 75* de datos diarios (máximos diarios o promedios de 24 horas dependiendo del contaminante), ya que caracteriza los registros cotidianos de cada contaminante en cada época del año y evita la influencia de condiciones climáticas extremas o atípicas; sin embargo, no es posible delimitar la influencia de eventos que inciden a una escala climática mayor, como son el fenómeno de “El Niño” o “La Niña”.

Además del análisis al nivel de época climática, en el caso del O₃ y las PM₁₀ se llevó a cabo un análisis de la variación semanal de los datos diarios, con la finalidad de mejorar la caracterización de cada época y la influencia de días festivos o períodos vacacionales. Este análisis también se realizó en 4 años clave de la gestión de la calidad del aire (1990, 1995, 2000 y 2001), lo que permitió evaluar el desempeño ambiental de los programas de gobierno.

Para facilitar la interpretación de los resultados, los datos diarios se agruparon en intervalos de concentraciones y se les asoció a un color (Tabla 16), por su arreglo de columnas (meses) y renglones (días de la semana) se denominó análisis de mosaico (Figura 11).

Tabla 16. Escala de colores para la generación de mosaicos.

O ₃		PM10	
Concentración (ppm)	color	Concentración (µg/m ³)	color
No se cuenta con información o no es suficiente para un registro diario	X	No se cuenta con información	X
[0.000, 0.060]		[0, 50]	
(0.060, 0.110]		(50, 120]	
(0.110, 0.233]		(120, 150]	
(0.233, 0.257]		(150, 270]	
(0.257, 0.282]		(270, 300]	
> 0.282		>300	

Delimitación de cada mes

Jueves y Viernes santos

Día festivo (1 de mayo, 16 de septiembre, 1 de noviembre, 12 de diciembre)



Nota: Los intervalos de la concentración están definidos en notación matemática, el símbolo “(“ representa valores mayores a (es equivalente a el símbolo “>”), el símbolo “]” representa valores menores o iguales a. De esta manera un ejemplo de la lectura de los intervalos sería de la siguiente manera: concentraciones mayores a 0 y menores o iguales a 0.060 ppm y otra más sería concentraciones mayores a 0.257 y menores o iguales a 0.282 ppm.

Figura 11. Ejemplo de mosaico.

Mes	Enero-2001				
Semana	1	2	3	4	5
Día	1-7	8-14	15-21	22-28	29-31
Lunes					
Martes					
Miércoles					
Jueves					
Viernes					
Sábado					
Domingo					

Depósito Atmosférico

El término *depósito atmosférico* se refiere al proceso por el cual las partículas suspendidas y los gases son transportados del aire hacia el suelo. Este transporte puede ocurrir de manera directa a través de fenómenos físicos (adsorción, absorción, gravedad, etc.), o por disolución en la fase acuosa de las gotas de agua suspendidas en la atmósfera, con el posterior transporte hacia la superficie por medio de la lluvia, niebla, granizo, nieve, rocío, etc. Al primer caso se le conoce como *depósito seco* y al segundo como *depósito húmedo*. El término *lluvia ácida* se emplea de manera común para describir la formación y depósito de ácidos durante los episodios de precipitación pluvial (depósito húmedo). Para los propósitos de este documento, en el análisis del Capítulo 8, el término *lluvia ácida* se referirá al depósito húmedo.

La composición del agua de lluvia depende de diversos factores, como son: el lugar en que se forman las nubes, la meteorología local, la topografía, la distribución e intensidad de la precipitación pluvial; en las grandes ciudades además depende de la forma como se integran los contaminantes a las gotas de lluvia y la distribución de fuentes de emisión. Por lo anterior, a pesar de que en una región se emitan concentraciones altas de un contaminante, si se presentan lluvias esporádicas éstas no causarán el mismo impacto que si se llegan a presentar lluvias con mayor frecuencia.

El indicador empleado en este documento para identificar la composición del depósito húmedo en una estación de monitoreo, denominado *depósito*, permitió mitigar la influencia de las variables señaladas, ya que se expresa como la masa de un compuesto químico²¹ depositada por la lluvia, niebla, granizo, nieve o rocío, sobre una unidad de área. Así mismo el indicador *depósito*

²¹ El término *especie química* se refiere a cualquier molécula, ion o átomo de un elemento o compuesto presente en la muestra.

acumulado se refiere al depósito captado en su totalidad por las estaciones de la REDDA. Es importante señalar que desde 1997 la REDDA emplea equipos automáticos que evitan la combinación del agua de lluvia colectada con el depósito seco.

El depósito no se mide directamente, se estima como el producto de la concentración de una especie química en una muestra de lluvia multiplicado por la cantidad de precipitación. Un evento particular de depósito se calcula como:

$$D = C \times P$$

donde:

D = Depósito (mg/m²)

C = Concentración de la especie de interés (mg/l)

P = Precipitación pluvial (mm de lluvia ó l/m²)

A = Área de captación (m²)

Vol = Volumen captado (ml), conversión a litros (Vol/1000)

Nota: la P se obtuvo considerando el Vol en litros y el A en metros (P = Vol/1000*A)

Para determinar el depósito de un período que involucra varios eventos particulares (como puede ser un mes, la época de lluvias o un año), se estima la concentración ponderada ($C_{ponderada}$), la cual no es recomendable si el número de muestras no válidas es grande. El depósito de un período se obtiene con la siguiente ecuación:

$$D = C_{ponderada} \times P_{tot}$$

donde:

$$C_{ponderada} = \frac{\sum_{i=1}^m (C_i \times p_i)}{\sum_{i=1}^m p_i} \quad \text{y} \quad P_{tot} = \sum_{i=1}^N p_i$$

i = i-ésimo muestreo.

m = Total de muestreos válidos para la especie química de interés en el período.

N = Total de muestras colectadas en el período (válidas y no válidas para la especie química de interés).

C_i = Concentración del compuesto de interés en la i-ésima muestra (mg/l).

p_i = precipitación durante el i-ésimo muestreo (mm de lluvia ó l/m²)
Nota: 1mm = 1 l/m².

C_{ponderada} = promedio ponderado de la concentración durante el período (mg/l)

P_{tot} = Precipitación total durante el período (mm de lluvia ó l/m²)

D = Depósito (mg/m²)

A continuación se ejemplifica el cálculo de la concentración ponderada y del depósito. Para esto se consideran los muestreos diarios de una semana para una especie química de interés, en la Tabla 17 se presentan las concentraciones de la especie y el volumen de agua de lluvia de cada muestra.

Tabla 17. Ejemplo de concentración y volumen en muestreos de depósito húmedo.

	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Total
Concentración (mg/l)	40	80	10	20	125	Invalidado	No determinado	—
Volumen (ml)	0.5	0.25	1.5	0.75	0.20	0.20	0.20	3.2

Para determinar la concentración promedio de la especie química en esta semana, se calcula el promedio ponderado de la siguiente forma:

$$C_{ponderada} = \frac{\sum_{i=1}^m (C_i \times p_i)}{\sum_{i=1}^m p_i} = \frac{(40 * 0.5 + 80 * 0.25 + 10 * 1.5 + 20 * 0.75 + 125 * 0.20) \text{ mg / l * ml}}{(0.5 + 0.25 + 1.5 + 0.75 + 0.20) \text{ ml}} = \frac{95}{3.2} \text{ mg / l} = 29.69 \text{ (mg / l)}$$

Es decir la concentración promedio en la semana es de 29.7 mg/l. Para obtener el depósito es necesario conocer la precipitación pluvial, por lo que se recurre a la equivalencia P = Vol/(1000*A).

Tomando en cuenta que las cubetas de captación tienen un radio de 0.144 m, el área de la superficie de captación se calcula como: $\pi \cdot r^2 = (3.1415 \cdot 0.144 \cdot 0.144) = 0.0651 \text{ m}^2$.

De esta manera, la precipitación pluvial se obtiene como: Vol (l) / Área (m²), y la precipitación total de la semana sería:

$$P_{tot} = \sum_{i=1}^N p_i = \frac{0.5}{1000 \cdot 0.0651} + \frac{0.25}{1000 \cdot 0.0651} + \frac{1.5}{1000 \cdot 0.0651} + \frac{0.75}{1000 \cdot 0.0651} + \frac{0.20}{1000 \cdot 0.0651} + \frac{0.2}{1000 \cdot 0.0651} + \frac{0.20}{1000 \cdot 0.0651} =$$

$$\frac{1}{1000 \cdot 0.0651} * Volumen_{total} = \frac{1}{65.1} * 3.2(l/m^2) = 0.0492(l/m^2)$$

El depósito en la semana de muestreo obtenido con 7 muestras sería

$$D = C_{ponderada} \times P_{tot} = 29.6875 * 0.0492(mg/l * l/m^2) = 1.46 mg/m^2,$$

de lo cual se concluye que en esa semana se depositó 1.46 mg/m²/semana de la especie química en la región aledaña a la estación de monitoreo.

Cabe mencionar que en el caso de la REDDA no se identificaron estaciones con el mejor desempeño histórico debido a que en el período de 1990 a 2001 se emplearon dos técnicas de muestreo con diferente sensibilidad a compuestos de origen local²², depósito total –DT– y depósito húmedo-seco –DH– (GDF, 1997; GDF, 1999b). Por lo cual los registros obtenidos con ambas no son comparables y requieren un tratamiento diferente para el cálculo del depósito antes mencionado, es por esta razón que no se realiza un análisis comparativo del período completo sino únicamente del período en que se mide con la técnica de depósito húmedo-seco. El Anexo A19 muestra un resumen de los cambios presentados a lo largo del período 1990–2001 en la REDDA, tanto en técnicas de monitoreo como en reubicación y cambio de nombre de algunas estaciones de monitoreo.

²² Como son el calcio (Ca²⁺) y el magnesio (Mg²⁺) que entre sus fuentes de origen se encuentra la erosión del suelo.

CAPÍTULO 4. EVOLUCIÓN DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN LA ZMVM

Para conocer la evolución de los contaminantes atmosféricos en la ZMVM de 1990 a 2001 y evaluar el desempeño ambiental del PICCA y el PROAIRE 1995–2000, se analizó el comportamiento de las concentraciones máximas diarias que se registran cotidianamente, por lo cual se empleó como indicador el Percentil 90. En el Anexo 4 de este documento se listan cronológicamente las principales acciones llevadas a cabo por estos programas.

OZONO, BIÓXIDO DE NITRÓGENO Y ÓXIDOS DE NITRÓGENO

Los NO_x comprenden una gama de compuestos químicos que involucran al oxígeno (O₂) y al nitrógeno (N₂), como son: el óxido nítrico (NO), y el NO₂, entre otros. Este último se forma por efecto de las reacciones de oxidación del NO y se caracteriza por su color café rojizo, además de formarse en la combustión industrial y de vehículos automotores (Mugica, Figueroa, 1996). El NO₂ se disocia por la acción de la luz solar en oxígeno (muy reactivo para la formación de O₃) y NO, que al combinarse con agua produce ácido nítrico (HNO₃), óxido nítrico o bien HNO₃ y ácido nitroso (HNO₂), según la cantidad de NO que reaccione con el agua. A su vez, el HNO₃, en solución acuosa se separa en ion nitrato (NO₃⁻) y ion hidronio (H⁺), que es uno de los precursores de la acidez en el agua de lluvia (UNAM-C.C.H. Deterioro Ambiental, disponible en Internet).

Por su parte, el ozono en la troposfera es un contaminante que caracteriza a las grandes ciudades, debido a la reacción fotoquímica de NO_x y HC en presencia de radiación solar.

En el Capítulo 1 se mencionó que las principales fuentes de emisión de HC en la ZMVM, son las fuentes de área o servicios y las fuentes móviles. Las fuentes de emisión de NO_x, incluyen a las fuentes móviles (automóviles, camiones, autobuses, motores de aviones, locomotoras, etc.), fuentes fijas (industrias y termoeléctricas) y fuentes de área (hogares). Entre las acciones más importantes para su control destacan: la instrumentación y mejora del Programa de Verificación Vehicular y la ampliación del sistema de transporte público.

La evolución del O₃ en la ZMVM entre 1990 y 2001, presentó una *tendencia homogéneamente decreciente*, con un cambio promedio de 27%. Este comportamiento tuvo mayor consistencia en el período de vigencia del PROAIRE 1995–2000, dado que el decremento en la tendencia tuvo un cambio promedio de 20%. Por su parte, durante la vigencia del PICCA no hubo tendencia (Figura 12 y Tabla 18).

En el caso del NO₂, también se presentó una *tendencia homogéneamente decreciente* de 1990 a 2001, con un cambio promedio de 34%. Este comportamiento también tuvo mayor consistencia de 1995 a 2001, al presentar un cambio promedio de 23%, mientras que en el período 1990–1995 no presentó tendencia.

En la Figura 12 es notable observar que los NO_x tuvieron un comportamiento irregular entre 1990 y 2001, el análisis por períodos mostró que entre 1995 y 2001 se presentó *tendencia homogéneamente decreciente* con un cambio promedio de 1% (Tabla 18).

La *tendencia homogéneamente decreciente* de 1995 a 2001 que mostraron el O₃ y el NO₂, indica que las acciones instrumentadas en el PROAIRE 1995–2000, tuvieron una influencia favorable en la disminución de la magnitud de las concentraciones máximas diarias que se registran habitualmente en la ZMVM, al presentar un cambio porcentual en este período cercano al 20%.

Por su parte, el comportamiento irregular de los NO_x sugiere que su control aún no es suficiente; sin embargo, como se señaló en el Capítulo 3, la información histórica disponible de este gas no es del todo confiable debido a que no se validó.

Figura 12. Comportamiento del Percentil 90 anual de O₃, NO₂ y NOx en la ZMVM (1990–2001).

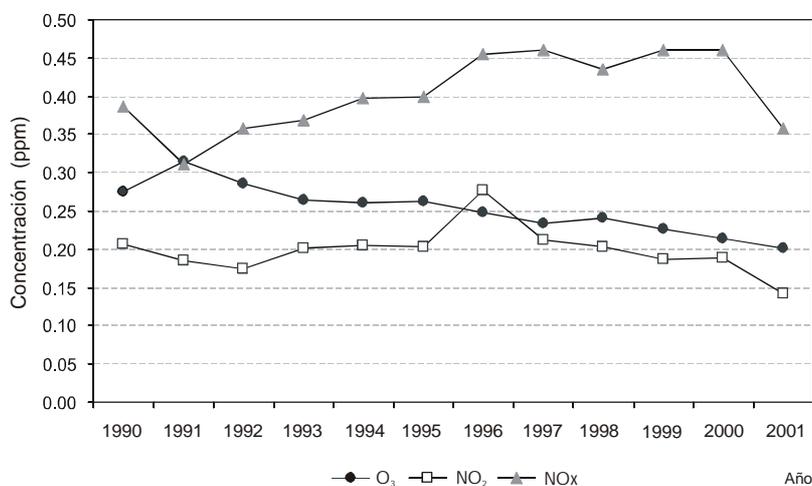


Tabla 18. Análisis de Mann Kendall de homogeneidad por período en la ZMVM para O₃, NO₂ y NOx.

	O ₃	NO ₂	NOx
Período 1990 a 2001			
Homogeneidad	Sí	Sí	Sí
Tendencia	Sí	Sí	No
Porcentaje de cambio	-27	-34	
Período 1990 a 1995			
Homogeneidad	Sí	No	Sí
Tendencia	No		No
Porcentaje de cambio			
Período 1995 a 2001			
Homogeneidad	Sí	Sí	Sí
Tendencia	Sí	Sí	Sí
Porcentaje de cambio	-20	-23	-1

PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES, PARTÍCULAS MENORES A 10 MICRÓMETROS, PLOMO EN PST Y EN PM10

Las PST son fragmentos diminutos de materia sólida o líquida, cuyo tamaño oscila entre 0.3 y 50 micrómetros de diámetro, pueden provenir del polvo, hollín, ceniza, cemento o polen. A su vez, existen partículas más pequeñas denominadas PM₁₀, cuyo tamaño fluctúa entre 2.5 y 10 micrómetros. Entre los elementos que contienen las partículas, destacan por su toxicidad los metales pesados (Revista de Derecho Ecológico, 2002, disponible en Internet), como es el caso del mercurio y plomo (Aldape F. *et al*, 1991; Lehih University, 2002, disponible en Internet)

En la ZMVM la erosión del suelo es la fuente principal de PM₁₀, así como los vehículos que usan diesel (camiones de 3 o más toneladas, tractocamiones y autobuses) y los autos particulares. Durante la aplicación del PICCA y el PROAIRE 1995–2000, se instrumentaron diversas acciones tendientes a evitar la erosión de los suelos, tales como la reforestación, conservación y protección de áreas naturales. En el caso del transporte que emplea diesel, entre 1990 y 2001 se redujo el contenido de azufre de este combustible, además se retiró del mercado el combustóleo industrial. Así mismo, el contenido de Pb en la gasolina se redujo sustancialmente a lo largo de este período, actualmente se distribuye solamente gasolina sin Pb (Anexo 4).

En la Figura 13 se observa que las concentraciones de PST tuvieron una disminución considerable durante la gestión del PICCA y que posteriormente su comportamiento ha sido irregular; sin embargo, es notable que las concentraciones registradas en 2001 son significativamente menores a las que se registraron en 1991. Debido a este comportamiento irregular no se identificó la presencia de tendencia, a pesar de que en todas las estaciones este comportamiento fue homogéneo.

En el caso de las PM₁₀, el comportamiento de las concentraciones máximas registradas anualmente, no presentó una variación considerable entre 1990 y 2001, por lo que no se identificó tendencia. Como se observa en la Tabla 19, el resultado de la prueba de homogeneidad indica que este comportamiento se presentó en todas las estaciones de monitoreo.

En contraste con los resultados antes mencionados, el Pb contenido en PST y en PM₁₀ disminuyó considerablemente de 1990 a 2001, de tal forma que en ambos casos tuvo *tendencia homogéneamente decreciente*. Para PST el cambio promedio en este período fue de 93% y para PM₁₀ de 95%. Cabe resaltar que esta reducción fue mayor de 1990 a 1995 que de 1995 a 2001 (Tabla 19).

Los resultados de PST sugieren que a pesar de haber presentado sus niveles históricos más bajos en 2001, aún no se logra su control, sobretodo por las fluctuaciones que presentó entre 1996 y el 2000, por lo que es necesario reforzar las acciones para su control y disminución. Es importante señalar que durante la instrumentación del PICCA se logró una disminución significativa de sus concentraciones. En el caso de las PM₁₀, los resultados indican que aún persisten concentraciones extremas que evitan definir un comportamiento favorable, por lo que se necesita revisar el enfoque que han tenido las acciones instrumentadas, en cuanto al tipo de fuente de emisión a controlar. En forma contraria, los resultados del análisis de tendencia realizados para el Pb contenido en PST y en PM₁₀, sugieren que las acciones llevadas a cabo para su disminución y control han sido adecuadas.

Figura 13. Comportamiento del Percentil 90 anual de PST, PM₁₀, Pb–PST y Pb–PM₁₀ en la ZMVM (1990–2001).

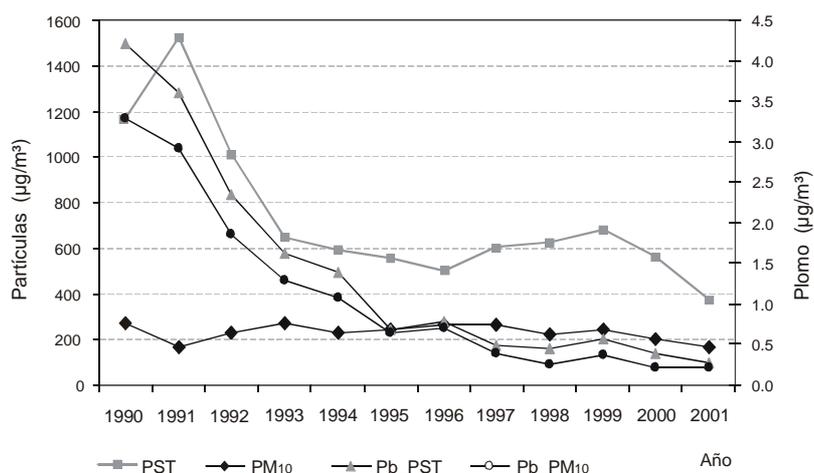


Tabla 19. Análisis de Mann Kendall de homogeneidad por período en la ZMVM para PST, PM₁₀, Pb–PST y Pb–PM₁₀.

	PM ₁₀	PST	Pb(PST)	Pb (PM ₁₀)
Período 1990 a 2001				
Homogeneidad	Sí	Sí	Sí	Sí
Tendencia	No	No	Sí	Sí
Porcentaje de cambio			-93	-95
Período 1990 a 1995 ^{1/}				
Homogeneidad	Sí	Sí	Sí	Sí
Tendencia	No	No	Sí	Sí
Porcentaje de cambio			-82	-83
Período 1995 a 2001				
Homogeneidad	Sí	Sí	Sí	Sí
Tendencia	No	No	Sí	Sí
Porcentaje de cambio			-63	-74

MONÓXIDO DE CARBONO

El CO es un gas inodoro e incoloro, se produce por combustión de carbón u otros combustibles como: gas, gasolina, queroseno, petróleo o madera. En el Capítulo 1 se mencionó que en la ZMVM la principal fuente de emisión de CO son las fuentes móviles, en orden de importancia destacan los autos particulares, vehículos tipo Pick-up, camiones de carga a gasolina, microbuses y taxis. Entre las acciones gubernamentales encaminadas a su disminución y control, se encuentran la introducción de gasolinas oxigenadas y de convertidores catalíticos, el programa Hoy No Circula y la Verificación Vehicular. Estos programas se modernizaron entre 1990 y 2001, restringiendo la circulación de los autos más contaminantes, instrumentando límites máximos permisibles más estrictos y con el programa de renovación de convertidores catalíticos (Anexo 4).

El comportamiento que presenta el CO en la ZMVM de 1990 a 2001, muestra una disminución gradual (Figura 14). El análisis efectuado para este período, indicó *tendencia homogéneamente decreciente*, con un cambio promedio de 49%. Al evaluar esta tendencia durante el período de gestión del PICCA, se obtuvo un cambio promedio de 46%, mientras que en el período de gestión de 1995 a 2001 el cambio promedio fue de 15% (Tabla 20).

Estos resultados indican que durante la gestión del PICCA se logró un abatimiento importante de la magnitud de las concentraciones máximas diarias de CO y que durante la gestión del PROAIRE 1995-2000, se lograron controlar e inclusive continuar disminuyendo sus niveles.

Figura 14. Comportamiento del Percentil 90 anual de CO en la ZMVM (1990–2001).

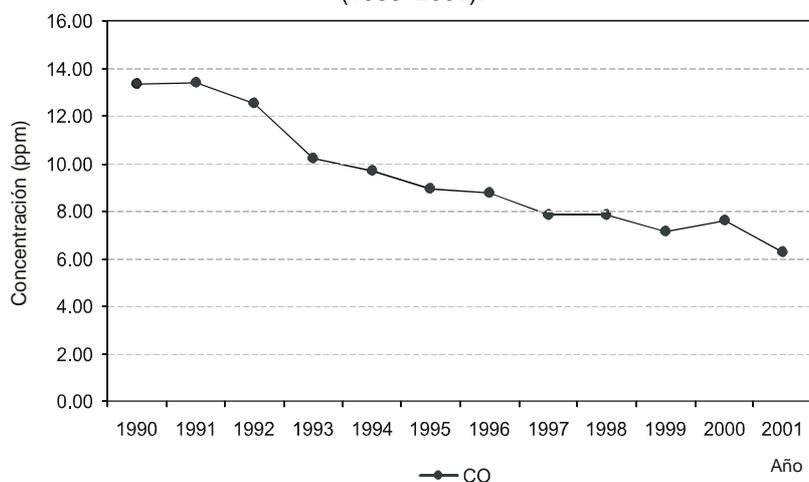


Tabla 20. Análisis de Mann Kendall de homogeneidad por período en la ZMVM para CO.

CO	
Período 1990 a 2001	
Homogeneidad	Sí
Tendencia	Sí
Porcentaje de cambio	-49
Período 1990 a 1995	
Homogeneidad	Sí
Tendencia	Sí
Porcentaje de cambio	-46
Período 1995 a 2001	
Homogeneidad	Sí
Tendencia	Sí
Porcentaje de cambio	-15

BIÓXIDO DE AZUFRE

El SO_2 es un gas incoloro, que en altas concentraciones tiene un olor irritante característico, así mismo, es uno de los principales precursores de la precipitación ácida, debido a que al reaccionar con el agua produce ácidos como el ácido sulfúrico (H_2SO_4), el cual en solución acuosa se separa en ion sulfato (SO_4^{2-}) y H^+ , este último es precursor de la lluvia ácida (UNAM-C.C.H. Deterioro Ambiental, disponible en Internet). En el Capítulo 1 se mencionó que en la ZMVM las fuentes de emisión de este contaminante son las puntuales y móviles, sobre todo por el contenido de azufre de los combustibles que consumen. En las puntuales destacan por sus emisiones anuales las industrias del vestido, química y mineral no metálica, y en las móviles destacan los autos particulares, los taxis, los vehículos tipo Pick-up y vehículos a diesel de 3 o más toneladas. Entre las acciones implementadas para reducir los niveles de este contaminante en la atmósfera, destaca la mejora paulatina que tuvo el diesel al disminuir su contenido de azufre, así como la salida del mercado de combustibles industriales más contaminantes, como el combustóleo que se prohibió su venta en el año 1992 (Anexo 4).

Como se observa en la Figura 15, la magnitud de las concentraciones máximas diarias de SO_2 registradas en 2000 y 2001, aumentaron considerablemente. No obstante, el análisis de homogeneidad para el período de 1995 a 2001, indica que este comportamiento no es homogéneo en toda la ZMVM (Tabla 21). Este comportamiento se asocia con la presencia de eventos extraordinarios de contaminación por SO_2 en el norte de la ZMVM y que su magnitud provoca un sesgo en los análisis de tendencia (Tabla 22).

Por otro lado, el análisis del período 1990–1995, mostró *tendencia homogéneamente decreciente*, con un cambio promedio de 78%. Lo anterior, a pesar del aumento de SO_2 registrado en 1992.

En la Figura 15 se observa la relación inversa que tiene el suministro actual de combustibles con bajo contenido de azufre y los niveles de SO_2 presentes en la atmósfera de la ZMVM; sin embargo, los resultados de este análisis indican que la presencia de SO_2 en algunas regiones es preocupante, por lo que deben instrumentarse acciones de vigilancia para evitar el consumo de combustibles contaminantes o certificar de mejor manera la calidad de los combustibles que se distribuyen en la ZMVM.

Figura 15. Comportamiento del Percentil 90 anual de SO₂ y consumo de combustibles con contenido de azufre (1990–2001)

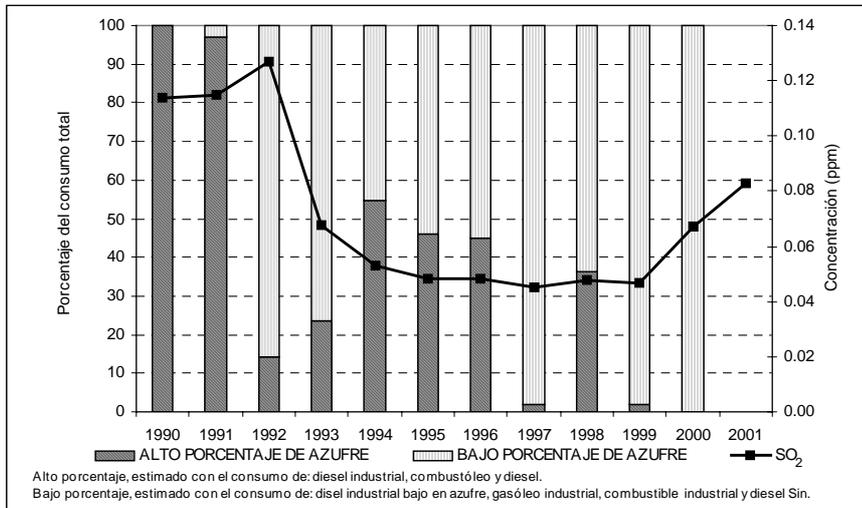


Tabla 21. Análisis de Mann Kendall de homogeneidad por período en la ZMVM para SO₂.

SO ₂	
Periodo 1990 a 2001	
Homogeneidad	No
Tendencia	
Porcentaje de cambio	
Periodo 1990 a 1995	
Homogeneidad	Sí
Tendencia	Sí
Porcentaje de cambio	-78
Periodo 1995 a 2001	
Homogeneidad	No
Tendencia	
Porcentaje de cambio	

Tabla 22. Eventos extraordinarios de SO₂ registrados en la ZMVM (2000–2001), concentración horaria en ppm.

Año	Estación	Zona	# EVENTOS	MÍNIMO	MÁXIMO
2000	TLA	NO	2	0.208	0.400
	XAL	NE	1	–	0.131
2001	TLA	NO	27	0.204	0.499
	XAL	NE	2	0.233	0.241
	ATI	NO	2	0.270	0.373
	EAC	NO	3	0.240	0.481
	TLI	NO	2	0.278	0.386
	LPR	NE	2	0.273	0.273
	LLA	NE	2	0.305	0.424
AZC	NO	1	–	0.289	

CAPÍTULO 5. ESTADO DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN LA ZMVM, EFECTOS ASOCIADOS A LA SALUD

Como se mencionó en el Capítulo 1, la disminución de los niveles de contaminación del aire tiene como propósito principal salvaguardar la salud de la población, debido a la toxicidad que tienen la mayoría de los contaminantes. La importancia de conocer los efectos que tiene un ambiente deteriorado en la salud, radica en la necesidad de llevar a cabo acciones para proporcionar a la población una calidad de vida apropiada y satisfacer su derecho a un ambiente limpio.

Para los habitantes de la ZMVM los síntomas de la exposición a la contaminación del aire, como el dolor torácico pulmonar, la tos, el dolor de cabeza o los malestares respiratorios en la garganta, son bien conocidos. Sin embargo, el nivel de afectación puede ser más grave y depende de la frecuencia y duración de la exposición, el tipo de contaminante y su concentración, el lugar, la hora y día de la semana, la temperatura y el clima. Además, la susceptibilidad individual varía dependiendo de la predisposición genética, la edad, el estado de nutrición, la presencia y severidad de afecciones cardíacas y respiratorias, el uso de medicamentos o la actividad física. Los niños menores de 5 años, las personas de la tercera edad (mayores de 65 años) y las personas con enfermedades respiratorias o con asma, constituyen la población con mayor riesgo a la exposición de contaminantes (CAM, 2002, disponible en Internet).

El tipo de exposición depende del tiempo y la concentración del contaminante. Una exposición aguda se presenta cuando el individuo se expone a concentraciones elevadas de contaminantes durante corto tiempo y una exposición crónica se presenta cuando el individuo se expone en el largo plazo a concentraciones relativamente bajas.

OZONO

Exposición de corto plazo

En la Tabla 6 del apartado de *Efectos* del Capítulo 1 se listan los trastornos asociados con la exposición a O₃, destacando la mortalidad prematura asociada con la exposición a concentraciones altas. Esto ocurre principalmente en personas con padecimientos cardiovasculares y/o respiratorios, uno y cinco días después de la exposición (CAM, 2002, disponible en Internet).

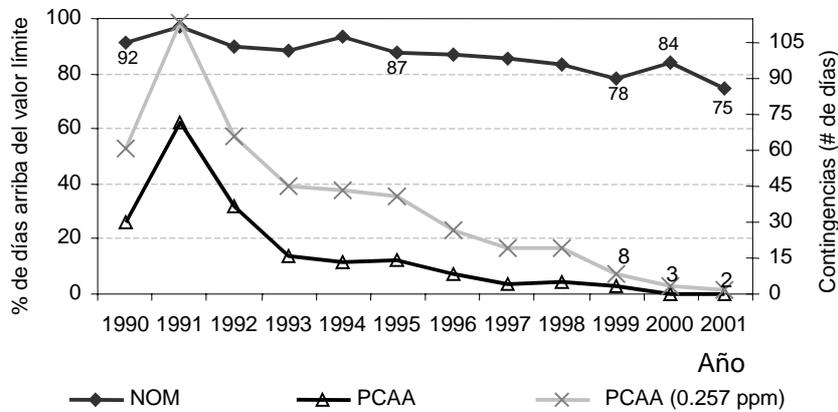
La Norma Oficial Mexicana (NOM) 020–SSA1–1993, establece como límite para evaluar la calidad del aire con respecto al O₃ y proteger la salud de la población susceptible, una concentración máxima de 0.110 ppm, para no ser rebasada más de una hora, una vez al año cada tres años. Estas características permiten su empleo como un indicador de exposición aguda, referido como el porcentaje de días al año en que se rebasa el límite señalado.

En la Figura 16 se observa que el porcentaje de días con concentraciones superiores al límite de la NOM muestra una tendencia paulatina a la disminución en el período de 1990 a 2001. Así, durante 1990, en nueve de cada diez días se rebasó el límite de 0.11 ppm, mientras que en 2001 sólo se rebasó en siete de cada diez, de hecho este último año registró el mayor número de días con una calidad del aire Buena²².

Como se mencionó en el Capítulo 1, no obstante que aún se presenta un alto porcentaje de días con concentraciones máxima de O₃ por arriba de la NOM, la disminución de la intensidad de sus concentraciones máximas ha motivado que no se instrumente el PCAA desde el 15 de octubre de 1999. En la Figura 16 se observa que la instrumentación del PCAA ha disminuido considerablemente de 1991 a 2001, incluso si este programa se hubiera instrumentado con un límite más estricto que el actual (0.257 ppm, equivalente a 220 puntos del IMECA), hubiera sido necesario instrumentarlo sólo en dos ocasiones durante 2001.

²² Estos porcentajes difieren de la información que proporciona el IMECA, ya que este índice se genera con información preliminar que no considera el desempeño posterior de las estaciones.

Figura 16. Porcentaje de días por arriba del valor límite de la NOM de O₃ y número de días con instrumentación del PCAA e instrumentación de un PCAA definido en 0.257 ppm (equivalente a 220 puntos del IMECA), durante el período 1990–2001.



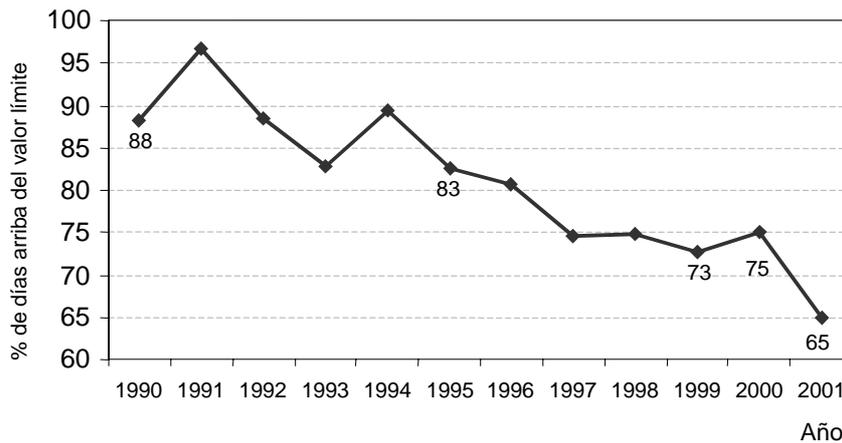
La Tabla A22 del Anexo 6 contiene los datos de este análisis.

Exposición durante períodos continuos de 8 horas

Ante la necesidad de proteger la salud de la población de la ZMVM de los efectos ocasionados por una exposición a períodos de tiempo prolongados, se realizó un proyecto de modificación a la NOM-020-SSA1-1993, añadiendo como límite de protección una concentración de 0.080 ppm (promedio móvil de 8 horas), la cual no debe excederse anualmente tomando como base el quinto máximo anual²³.

Lo anterior, permite emplear el número de días en que se rebasan estos límites como indicador de exposición a períodos de tiempo más prolongados. En la Figura 17 se observa que la calidad del aire ha mejorado con respecto a este tipo de exposición, al considerar el límite que propone el proyecto de modificación a la NOM, en 1990 se hubiese excedido aproximadamente en ocho de cada diez días y en el 2001 solo en seis de cada diez días.

Figura 17. Porcentaje de días al año por arriba del valor límite permisible para los promedios móviles de O₃ en la ZMVM (1990–2001).



La Tabla A23 del Anexo 6 contiene los datos de este análisis.

Distribución espacial de la exposición promedio diaria

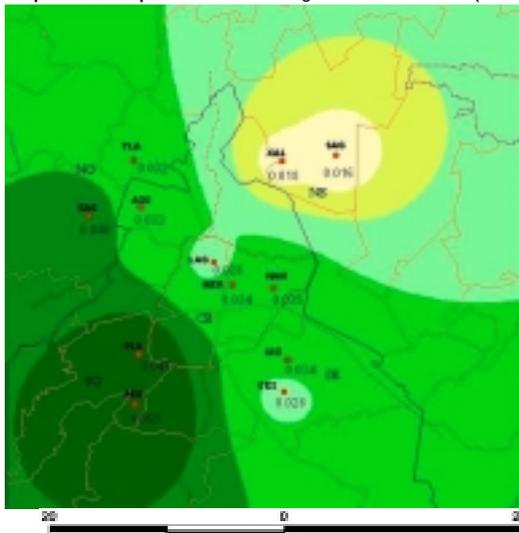
Los resultados del apartado anterior, muestran la necesidad de estimar con mayor detalle el grado de exposición de la población de la ZMVM en relación a su lugar de residencia. Por esta razón,

²³ Se considera que el valor de 0.080 ppm para O₃, podrá excederse hasta el 1.09% de los días del año, es decir, 4 de 365 días.

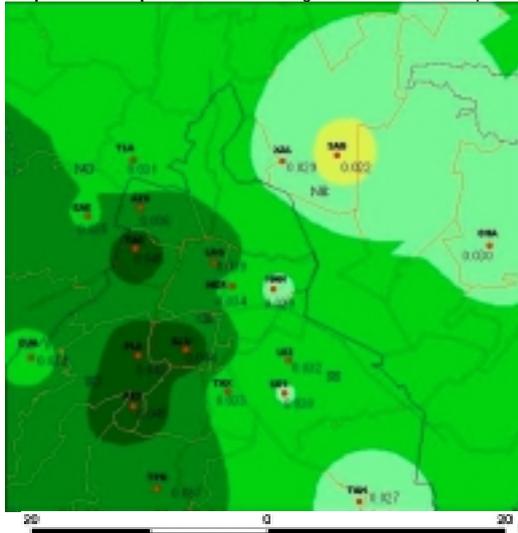
se realizó un análisis de la distribución espacial del O₃, considerando el indicador de exposición promedio²⁴ (definido en el Capítulo 3).

Los resultados de este análisis en 1990, 1995, 2000 y 2001 (Mapas 2 al 5) señalan que hubo una disminución significativa en los valores altos de este indicador en toda la ZMVM y que en la actualidad tiene una distribución más homogénea. En 1990 la exposición más alta por encima del límite permisible, fue de 0.053 ppm en el suroeste de la ZMVM, mientras que en 2001 fue de 0.032 ppm.

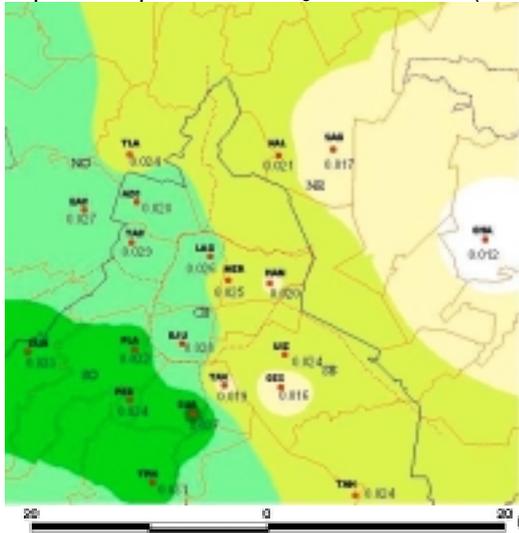
Mapa 2. Distribución espacial de la exposición promedio a O₃ en la ZMVM (1990).



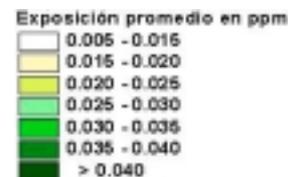
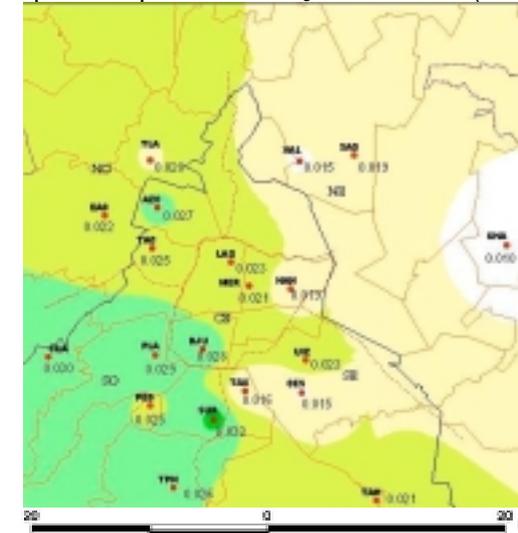
Mapa 3. Distribución espacial de la exposición promedio a O₃ en la ZMVM (1995).



Mapa 4. Distribución espacial de la exposición promedio a O₃ en la ZMVM (2000).



Mapa 5. Distribución espacial de la exposición promedio a O₃ en la ZMVM (2001).



Respecto de las regiones de mayor riesgo para la población, destaca la región que comprende a las delegaciones Álvaro Obregón, Magdalena Contreras, Coyoacán, Tlalpan y Cuajimalpa. Sólo en 1995 la región que comprende las delegaciones Miguel Hidalgo y Azcapotzalco,

²⁴ Para elaborar los mapas espaciales de exposición promedio se consideró la información de todas las estaciones de monitoreo, es decir, sin tomar en cuenta su desempeño histórico. Con la finalidad de tener una cobertura adecuada de la ZMVM y minimizar los errores al momento de interpolar. El número de estaciones consideradas en cada mapa se indica a continuación:

	1990	1995	2000	2001
O ₃	12	19	20	20
PM10	5	5	12	12

representó un mayor riesgo. En 2001 la homogeneidad de los valores de este indicador, dificultó la conformación de regiones de mayor riesgo; sin embargo, las delegaciones Benito Juárez, Álvaro Obregón, Cuajimalpa, Coyoacán, Tlalpan y Magdalena Contreras, destacaron por tener los valores más altos. En la región aledaña a la estación SUR se obtuvo el valor más alto de éste indicador (0.032 ppm).

Los resultados indican que los niveles de O₃ que se registran actualmente en la ZMVM, aun representan un riesgo para la salud de la población, ya sea por una exposición de corto tiempo o una exposición por períodos de horas prolongados, a concentraciones que superan los límites recomendables. El riesgo que representa la presencia de este contaminante es mayor en el suroeste de la ciudad, lo que resulta preocupante para grupos de la sociedad que se exponen durante tiempos prolongados al aire libre o que permanecen en estas regiones la mayor parte del tiempo, como es el caso de niños y personas de la tercera edad.

Es necesario reforzar e instrumentar acciones tendientes a la disminución y control de los precursores del O₃, ya que aun se desconocen los efectos que tiene en la salud una exposición crónica a concentraciones altas de este contaminante. En la medida de que estas acciones tengan un impacto sobre la calidad del aire, la exposición promedio mostrará una tendencia a la baja y se presentaran menos días con concentraciones por encima de los límites permisibles, lo cual será un buen indicador de protección de la salud para la población.

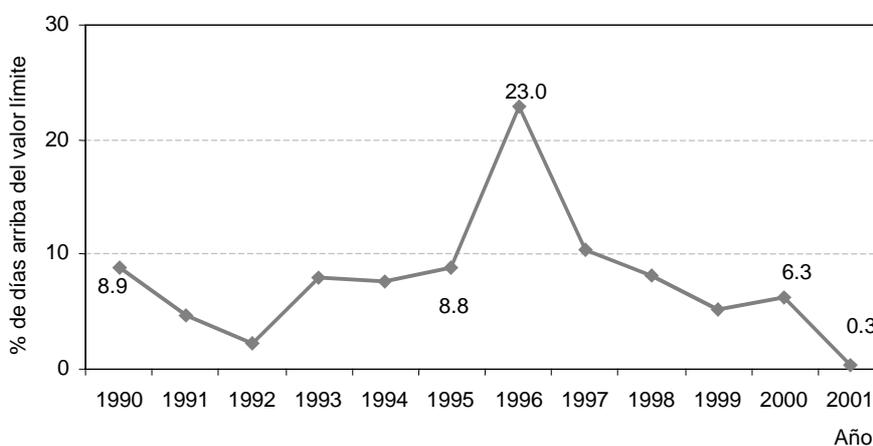
BIÓXIDO DE NITRÓGENO

La población expuesta a concentraciones elevadas de este contaminante presenta enfermedades de las vías respiratorias y disminución de la presión arterial. La exposición a concentraciones bajas durante períodos prolongados puede provocar irritación pulmonar y bronquitis (OPS, 1979; INSP *et al*, 1996). Sin embargo la literatura muestra que el daño provocado por este contaminante no es consistente, pues mientras algunos investigadores han encontrado efectos otros no.

De acuerdo con la NOM-022-SSA1-1993, el NO₂ no debe rebasar una concentración de 0.210 ppm en una hora, una vez al año, como protección a la salud de la población susceptible. El porcentaje de días al año en que se supera el valor de la norma se puede utilizar como un indicador de exposición aguda.

El análisis de la información mostró que el límite que establece la NOM en general no se rebasó en más del 10% de los días de 1990 a 2001 (a excepción de 1996 que se rebasó el 23% de días al año), sobresaliendo el hecho de que 2001 tuvo el menor porcentaje de excedencias, tan sólo un día en todo el año. (Figura 18).

Figura 18. Porcentaje de días al año por arriba del valor límite permisible de NO₂ para la NOM en la ZMVM (1990–2001).



La Tabla A25 del Anexo 6 contiene los datos de este análisis.

PARTÍCULAS MENORES A 10 MICRÓMETROS

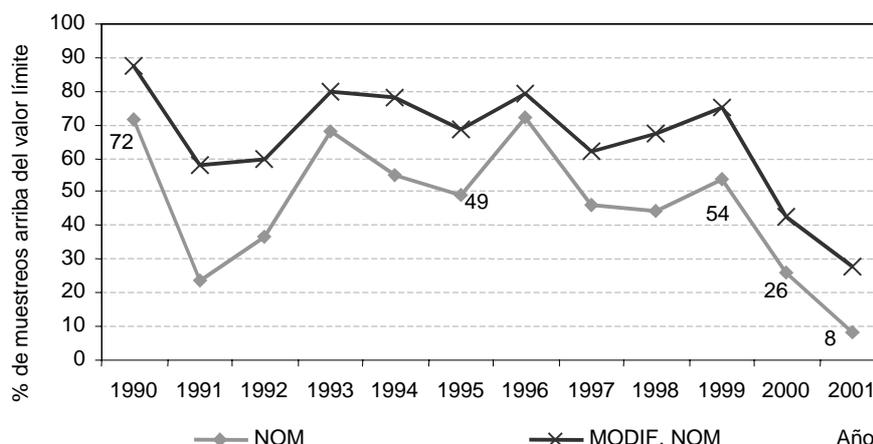
Exposición a concentraciones en períodos de 24 horas y en períodos anuales

En la ZMVM las PM₁₀ se consideran como el segundo contaminante criterio de importancia, en la Tabla 6 del Capítulo 1 se listan las enfermedades asociadas con el aumento de sus concentraciones, así como las causas de mortalidad (INSP *et al*, 1996; Borja-Aburto *et al* 1997; Borja-Aburto *et al* 1998; Loomis, D. *et al* 1999; Castillejos *et al* 2000; Jiménez C. B., 2001; Molina T. and Molina J., 2002)

La NOM-025-SSA1-1993 de salud ambiental establece dos límites para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto a las PM₁₀, el primero de estos es de 150 µg/m³ en 24 horas, y el segundo de 50 µg/m³ como media aritmética anual. El proyecto de modificación a esta norma contempla reducir a 120 µg/m³ el límite de 24 horas. Nuevamente se empleó el porcentaje de muestreos al año en que se rebasó la norma de 24 horas, como un indicador de exposición aguda. Mientras que el límite anual que establece la NOM, se empleó como indicador de exposición crónica.

En la Figura 19 se observa una variación considerable del porcentaje anual de muestreos que superan el límite de la NOM. Destacan 1991 y 2001 como los años con mejor calidad del aire en términos de protección a salud, de hecho en 2001 sólo el 8% de los muestreos rebasaron el límite marcado por la NOM. Al emplear el límite que propone el proyecto de modificación a la NOM, en 2001 se hubieran presentado valores más altos en el 28% de los muestreos.

Figura 19. Porcentaje de muestreos al año por arriba del valor límite permisible de PM₁₀ para la NOM en la ZMVM (1990-2001).



La Tabla A26 del Anexo 6 contiene los datos de este análisis.

Los resultados del promedio anual de PM₁₀ como indicador de exposición crónica²⁵, señalan una problemática general, ya que después de 1995 a penas una estación cumple con el límite de 50 µg/m³. En este análisis destaca el decremento del 51% que tuvo este indicador de 1990 a 2001 (Tabla 23).

Tabla 23. Promedio aritmético anual (µg/m³) de muestreos de PM₁₀ en la ZMVM (1990-2001).

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
MÁXIMO	187	127	139	188	163	155	191	155	144	159	125	95
MÍNIMO.	64	62	50	58	55	50	46	38	52	43	44	42
# ESTAC cumplen con la NOM	0	0	0	0	0	1	2	1	0	1	1	1

²⁵ El promedio anual de PM₁₀ se obtuvo para cada una de las estaciones de la ZMVM (Tabla 10 del Capítulo 3), estos promedios se comparan con el límite permisible de exposición crónica y se cuantifica el total de estaciones que no lo exceden. Los promedios anuales de PST, Pb, SO₂ y NO₂, se calcularon de igual manera.

En el análisis de tendencia del Capítulo 4 se recomendó reforzar las acciones y medidas para que garanticen una disminución continua de las PM₁₀, ya que no hubo indicios de tendencia en el período 1990 – 2001, sin embargo, al realizar un análisis referente a la exposición, a valores por arriba del valor límite permisible, el valor de los indicadores empleados señala una disminución significativa de las PM₁₀ como inductor de efectos en la salud. No obstante, el análisis con el indicador de exposición crónica (promedio anual) mostró la importancia de los niveles altos de PM₁₀ en ciertas localidades donde se rebasa el límite de 50 µg/m³ y el análisis espacial con el indicador de exposición promedio muestra que la región que comprende los municipios de Ecatepec y Nezahualcóyotl es donde la población está expuesta a concentraciones más altas.

Por lo anterior, llevar a cabo acciones que incidan sobre las fuentes de emisión de PM₁₀ que se presentan en esta región de la ZMVM, disminuiría la presencia de concentraciones extremas que inciden sobre el comportamiento de este contaminante cuando se realizan evaluaciones a nivel metropolitano, además de que se alcanzarían niveles de calidad del aire mejor para la salud de sus habitantes. Este decremento también permitiría cumplir con estándares más estrictos que los actuales.

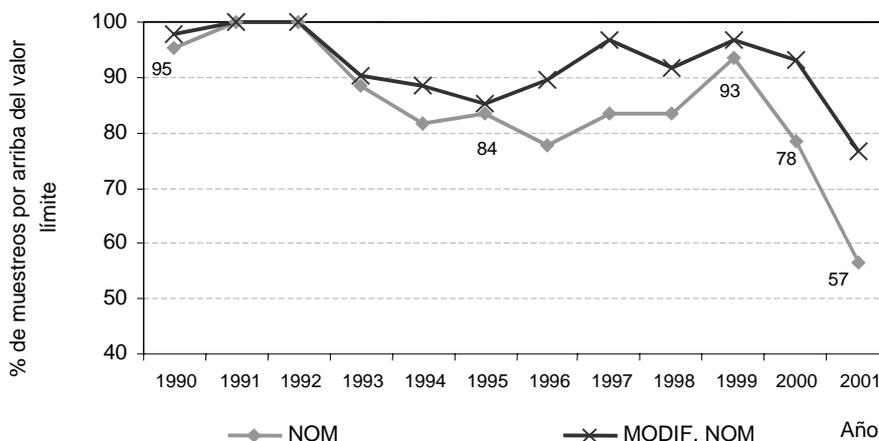
PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES

La NOM–024–SSA1–1993, señala como límites para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto a las PST, concentraciones de 260 µg/m³ en 24 horas y 75 µg/m³ como media aritmética anual para evaluar la exposición crónica. El proyecto de modificación de la NOM, contempla reducir el límite de 24 horas a 210 µg/m³.

Por sus características, en este trabajo se emplearon estos límites como indicadores de exposición aguda y crónica, en el primer caso se consideró el porcentaje de muestreos con concentraciones mayores al límite permisible establecido en la NOM actual y en la del proyecto de modificación. En el caso de exposición crónica se consideró como indicador el promedio anual.

En la Figura 20 se observa que el porcentaje de muestreos que exceden los 260 µg/m³ ha disminuido paulatinamente de 1990 a 2001, destacando este último año por tener el menor porcentaje, ya que aproximadamente cinco de cada diez muestras rebasaron el límite mencionado. Con el límite que se propone en el proyecto de modificación a la NOM, la relación de muestreos fuera de norma en 2001 hubiera sido siete de cada diez.

Figura 20. Porcentaje de muestreos al año por arriba del valor límite permisible de PST para la NOM en la ZMVM (1990–2001).



La Tabla A28 del Anexo 6 contiene los datos de este análisis.

El análisis realizado con el indicador de exposición crónica referido a la NOM, señala que a pesar de la disminución paulatina que han tenido las concentraciones de este contaminante desde 1990, la exposición durante períodos de tiempo prolongados representa aún un riesgo para la salud.

En la Tabla 24 se observa esta situación, tanto con el valor máximo como con el mínimo de este indicador.

Tabla 24. Promedio aritmético anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de muestreos de PST en la ZMVM (1990–2001).

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
MÁXIMO	639	957	702	433	413	375	365	405	431	466	369	277
MÍNIMO	125	130	91	108	101	100	109	92	156	140	127	97

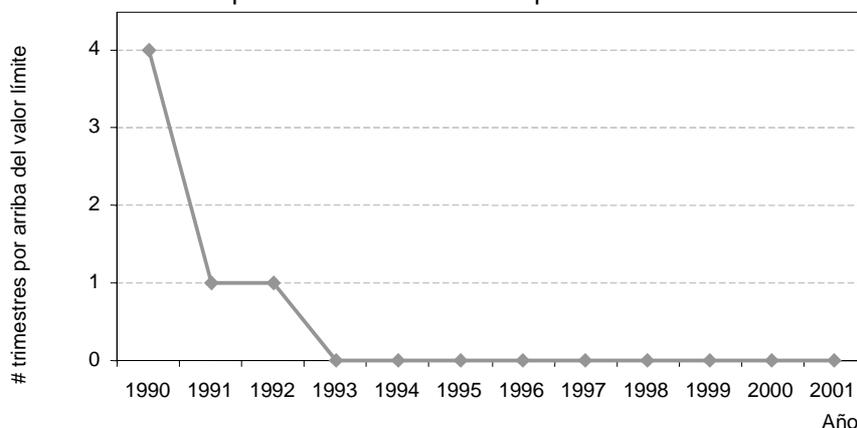
El análisis detallado de la información mostró que esta situación es particularmente grave en ciertas regiones de la ZMVM. Entre 1990 y 1992 los promedios anuales más altos correspondieron a la estación TAX (entre 630 y 960 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y desde 1993 corresponden a la estación XAL (entre 270 y 470 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Al igual que las PM_{10} , el control de las PST en localidades donde se rebasan los indicadores como el de exposición crónica, disminuiría la presencia de concentraciones extremas que influyen en las evaluaciones a nivel metropolitano y permitiría alcanzar niveles adecuados para la salud de sus habitantes. Además, se podrán cumplir estándares de PST más estrictos que los actuales.

PLOMO EN PST

La absorción de Pb en el organismo humano se realiza principalmente por las vías respiratorias y, en segundo término, por la ingesta de alimentos. Se ha demostrado que entre el 30 y 50% del Pb que llega a los alvéolos pasa a la circulación sanguínea, mientras que por vía digestiva los adultos absorben entre un 10 y 15%, en los niños la absorción llega a ser de un 50%. Dentro del organismo²⁶, el Pb circula libremente por la sangre y se acumula progresivamente, por lo que muchos de los efectos asociados no se reflejan inmediatamente. Los niños son el grupo etáreo más susceptible a los efectos del Pb, debido a que su cerebro y sistema nervioso está en desarrollo. Este contaminante puede provocar una reducción del coeficiente intelectual, hiperactividad y problemas de comportamiento. En los adultos la presencia de niveles bajos de Pb puede provocar hipertensión, afección de los riñones, hígado y el sistema reproductivo. En mujeres embarazadas el Pb puede traspasar la barrera placentaria y afectar al producto (IMSS, UAEMex, 2001; Alianza Contra el Envenenamiento por Plomo, 1998). En México actualmente la principal fuente de Pb es por vía digestiva, por el uso de loza vidriada con Pb, sin embargo, anteriormente eran las gasolineras.

El límite permisible de Pb en el país es una concentración de 1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, como promedio trimestral. Este límite, se puede utilizar como indicador de efectos en salud, al considerar el número de trimestres al año en que se rebasa el promedio de 1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. El comportamiento de este indicador (Figura 21) muestra que la presencia de Pb en la atmósfera de la ZMVM no representa un riesgo para la salud desde 1994 al evaluarlo con la NOM.

Figura 21. Número de trimestres por arriba del valor límite permisible de Pb en la ZMVM (1990–2001).



²⁶ Aproximadamente el tiempo de llegada a la sangre es de un mes, de cinco meses en los tejidos y de veinte a veintisiete años en los huesos.

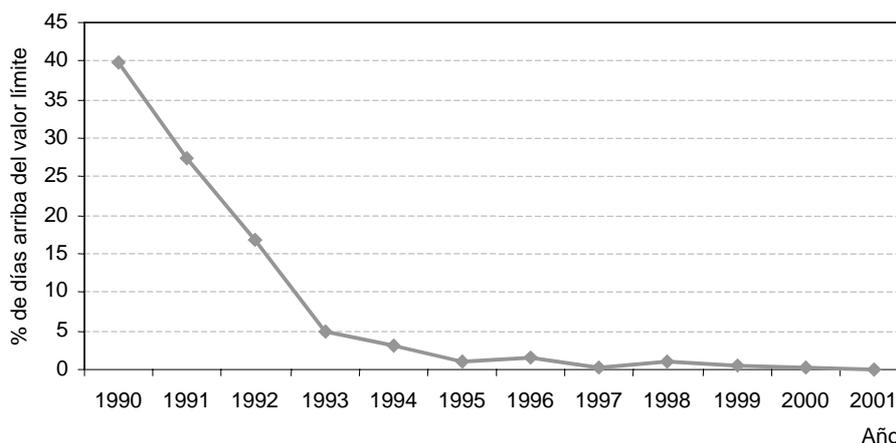
MONÓXIDO DE CARBONO

Los niños, ancianos, personas con problemas de nutrición y personas con tipos de hemoglobina anormal²⁷, son los grupos de la población más susceptibles a la exposición a CO. Sus efectos se reflejan como cansancio, disminución de la percepción visual, destreza manual y habilidad para el aprendizaje. Su acumulación en áreas cerradas puede provocar la muerte por insuficiencia cardíaca o pérdida de la conciencia, ya que el CO se liga a la hemoglobina formando la carboxihemoglobina, que evita que el oxígeno pueda llegar a órganos tan importantes como el sistema nervioso central (SNC) y el corazón. El monóxido de carbono tiene una afinidad 210 veces mayor que el oxígeno con la hemoglobina (INSP *et al*, 1996).

La NOM-021-SSA1-1993 especifica que la concentración de CO, como contaminante atmosférico, no debe rebasar una concentración de 11 ppm, como promedio móvil de 8 horas.

Al considerar como indicador el porcentaje de días del año que rebasan este límite, los resultados indican que desde 1994 la NOM se rebasa en menos del 5% de los días del año, mientras que en 1990 se excedía cerca del 40% de los días. (Figura 22). Estos resultados señalan la importancia de las acciones que se han llevado a cabo; que repercute en la protección de la salud de la población, sobre todo aquélla que es más susceptible.

Figura 22. Porcentaje de días al año por arriba del valor límite permisible de CO para la NOM en la ZMVM (1990-2001).



La Tabla A27 del Anexo 6 contiene los datos de este análisis.

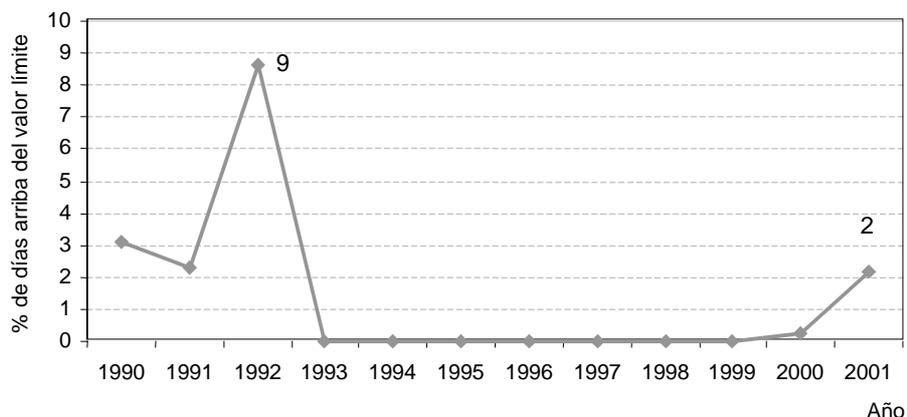
BIÓXIDO DE AZUFRE

La exposición a SO₂ provoca enfermedades respiratorias y aumento de síntomas, anomalías en la defensa pulmonar, agravación de enfermedades respiratorias y cardiovasculares existentes (CNDH, 1992). La NOM-022-SSA1-1993, señala como límite máximo aceptable una concentración de 0.130 ppm, durante 24 horas, una vez al año y 0.030 ppm como promedio anual.

Este límite permiten definir como indicador de exposición aguda al porcentaje de días del año en que se rebasa el valor normado y al promedio anual como indicador de exposición crónica. Los resultados de la exposición de 24 horas, indican que durante 2001 hubo un incremento considerable del porcentaje de días con excedencias (Figura 23).

²⁷ La hemoglobina anormal es la enfermedad que afectan la capacidad de la sangre para transportar oxígeno.

Figura 23. Porcentaje de días al año por arriba del valor límite permisible de SO₂ para la NOM en la ZMVM (1990–2001).



La Tabla A24 del Anexo 6 contiene los datos de este análisis.

Con relación a la exposición crónica a SO₂, durante 2000 y 2001 se obtuvieron promedios anuales máximos que superaron el límite establecido en la NOM. Estos promedios correspondieron a la estación TLA. (Tabla 25).

Tabla 25. Promedio aritmético anual (ppm) de SO₂ en la ZMVM (1990–2001).

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
MÁXIMO	0.069	0.081	0.072	0.032	0.025	0.023	0.020	0.020	0.018	0.019	0.030	0.036
MÍNIMO	0.040	0.037	0.025	0.012	0.015	0.013	0.012	0.010	0.009	0.008	0.010	0.010
# ESTAC que exceden la NOM	11	11	11	2	0	0	0	0	0	0	1	1

En el Capítulo 4 se mencionó la necesidad de instrumentar acciones inmediatas de vigilancia, sobre todo en el norte de la ZMVM donde se han registrado eventos extraordinarios de este contaminante en los últimos dos años del análisis. Esto refuerza la recomendación anterior, dado que su presencia puede representar un riesgo para la salud de la población, ya sea por exposición durante períodos de 24 horas o por exposición crónica.

CAPÍTULO 6. COMPORTAMIENTO DIARIO TÍPICO DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN LA ZMVM

En las grandes ciudades la emisión de contaminantes primarios está asociada directamente con las actividades socioeconómicas. En la ZMVM estas actividades mantienen un ritmo constante, que permite identificar patrones de comportamiento diario de los contaminantes atmosféricos. Cuando estas actividades disminuyen, como ocurre en días festivos o períodos vacacionales, se registra una reducción de los niveles de contaminación.

Los patrones de comportamiento diario de un contaminante atmosférico permiten identificar los períodos de mayor riesgo para la población cuando se expone al aire libre, así mismo, sustentan el diseño de acciones encaminadas a disminuir la intensidad de estos períodos y proteger la salud de la población. Cabe señalar que estos patrones diarios pueden modificarse de un año a otro, como resultado de las acciones de prevención y control, ya sea en la duración de los períodos o en la intensidad de las concentraciones.

En este documento se consideró pertinente identificar el comportamiento diario típico (la información sobre este indicador se muestra en el Capítulo 3) que presentan los contaminantes atmosféricos en 2001 y su relación con el uso de suelo de algunas estaciones de monitoreo, para caracterizar el comportamiento diario en áreas donde predominan comercios, residencias, servicios o áreas sin construcción, así como áreas cercanas a avenidas o al aeropuerto. La Tabla 26 presenta las estaciones de monitoreo consideradas para cada caso; sin embargo, por la complejidad en su entorno algunas de éstas pueden implicar más de un tipo de uso de suelo.

Los resultados de este análisis pueden extrapolarse a áreas de la ZMVM donde el uso de suelo es similar, y asociarse con un posible riesgo para sus habitantes. Al mismo tiempo permite asociar los resultados del Inventario de Emisiones (Capítulo 1), con respecto a la importancia de las fuentes de mayor emisión de CO, NOx y SO₂.

Tabla 26. Estaciones clasificadas por tipo de uso de suelo (2001).

Tipo de uso de suelo	CO	NO ₂	NOx	SO ₂
Residencial	PED	VIF	VIF	PED
Residencial en expansión	ATI	ATI	ATI	TAH
Corredor vial	TAX	TAX	TAX	TAX
Comercial	MER	MER	MER	MER
Servicios	LAG	LAG	LAG	LAG
Aeropuerto	HAN	HAN	HAN	HAN
Industrial	XAL	XAL	XAL	XAL

Clasificación conforme la caracterización del entorno de las estaciones de monitoreo del SIMAT, actualizada al año 2001.

OZONO, BIÓXIDO DE NITRÓGENO Y ÓXIDOS DE NITRÓGENO

La Figura 24 ilustra la variación horaria que caracteriza a los NOx y al NO₂ en la ZMVM²⁸, el pico que se presenta por la mañana tiene una mayor asociación con el tránsito de vehículos automotores. Posterior a este aumento, el NO reacciona con los hidrocarburos en presencia de radiación solar y produce O₃²⁹. El comportamiento diario típico del 2001 en la ZMVM (Figura 25), indica que los compuestos de nitrógeno aumentaron desde las 06:00 horas, predominando los niveles máximos de NOx a las 8:00 horas (constituido principalmente por NO) y de NO₂ a las 11:00 horas. Por su parte, el O₃ aumentó entre las 10:00 y 20:00 horas, con concentraciones máximas entre las 14:00 y 15:00 horas. Cabe destacar que el incremento del O₃ está influenciado por la disminución del NO₂.

²⁸ Se consideraron las estaciones con el mejor desempeño histórico

²⁹ Debido a la falta de mediciones de COV, para efectos del presente informe únicamente se hará referencia a la asociación de NOx y O₃.

Debido a que la ZMVM presenta regularmente estabilidad atmosférica por la mañana, es posible asociar el aumento de las concentraciones de NOx con fuentes de contaminación locales³⁰. El análisis de la magnitud de concentraciones de NOx mostró que éstas fueron mayores en la estación XAL, la cual está rodeada de industrias y cercana a vías con tráfico intenso, seguidas en orden de importancia por las concentraciones registradas en las estaciones TAX y HAN (Figura 26), ambas están cercanas a una vía rápida y la segunda esta ubicada al extremo sur del aeropuerto. Como se mencionó en el Capítulo 1, las fuentes móviles son la causa principal de las emisiones de NOx en la ZMVM, lo que se refleja en la magnitud de las concentraciones de NOx que registran estas 3 estaciones, al colindar con avenidas de tránsito intenso, XAL con la Avenida Emiliano Zapata, HAN con la Avenida Hangares y la estación TAX con la Avenida Taxqueña. Entre los resultados destaca que en 1990 las concentraciones más altas se registraron en la estación MER que caracteriza una área comercial con tráfico intenso.

Por su parte, el NO₂ también presentó concentraciones altas en la estación TAX, así como en las estaciones MER, LAG y HAN, en las cuales predominan respectivamente un uso de suelo comercial, de servicios y el aeropuerto; sin embargo, también se encuentran cercanas a avenidas de tránsito intenso (Figura 27).

Figura 24. Comportamiento diario típico de NOx y NO₂ en la ZMVM (2001).

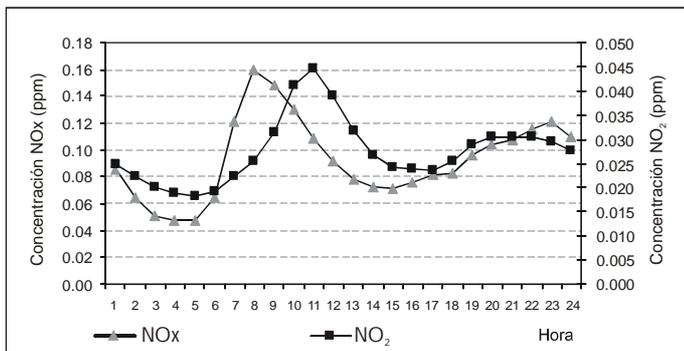


Figura 25. Comportamiento diario típico de O₃ y NOx en la ZMVM (2001).

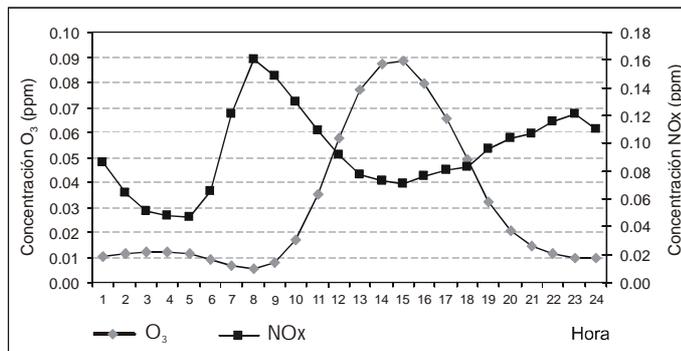


Figura 26. Comportamiento de NOx por uso de suelo en estaciones de monitoreo (1990, 1995, 2000 y 2001).

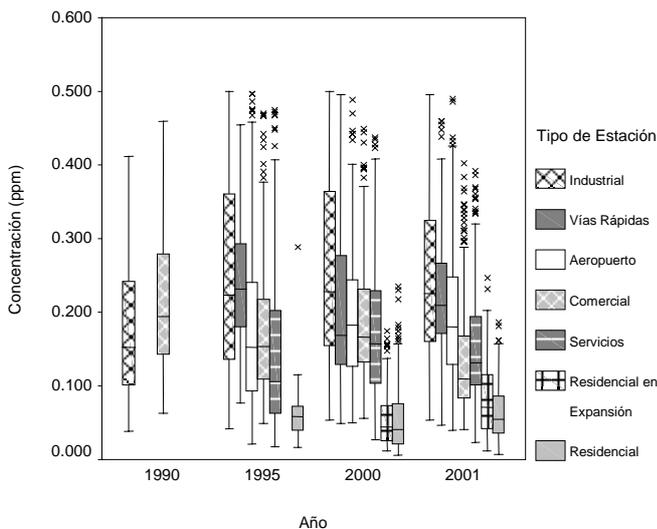
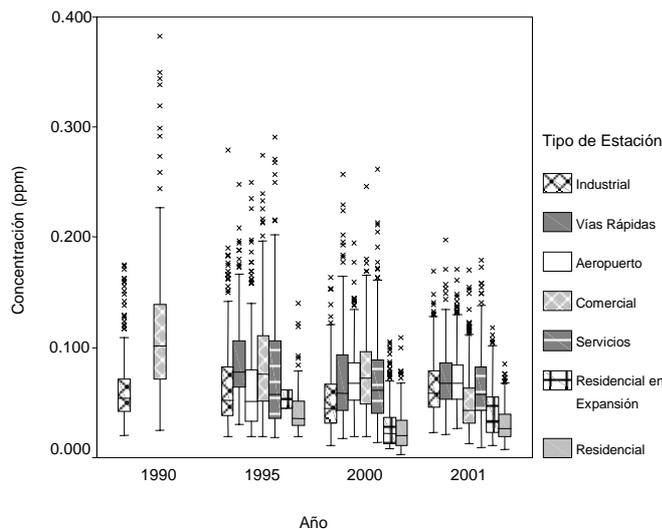


Figura 27. Comportamiento de NO₂ por uso de suelo en estaciones de monitoreo (1990, 1995, 2000 y 2001).



³⁰ Las estaciones que caracterizan cada región son: industrial XAL, vías rápidas TAX, aeropuerto HAN, servicios LAG, comercial MER, residencial en expansión ATI y residencial VIF.

MONÓXIDO DE CARBONO

Durante 2001 el CO se caracterizó por presentar sus niveles máximos alrededor de las 09:00 horas (Figura 28). Al comparar el comportamiento de este contaminante con los NO_x, se observa que ambos siguen patrones similares a lo largo del día, con picos por la mañana y noche, lo que ilustra su origen de emisiones vehiculares.

Al analizar la magnitud de las concentraciones por tipo de uso de suelo (Figura 29), se observó que en los últimos años las concentraciones más altas de CO predominan en la estación TAX que caracteriza una vía rápida (localizada a 20 metros de Av. Taxqueña); no obstante, el resto de las estaciones también están influenciadas por vías cercanas: la estación HAN se localiza a 30 m de la Av. Hangares, la estación LAG se localiza a 30 m del Eje 1 Norte y la estación XAL se localiza a 40 m de la Av. Emiliano Zapata. Estos resultados son congruentes con el Inventario de Emisiones de 1998, que identifica a las fuentes móviles como la fuente principal de este contaminante.

Figura 28. Comportamiento diario típico de CO y NO_x en la ZMVM (2001).

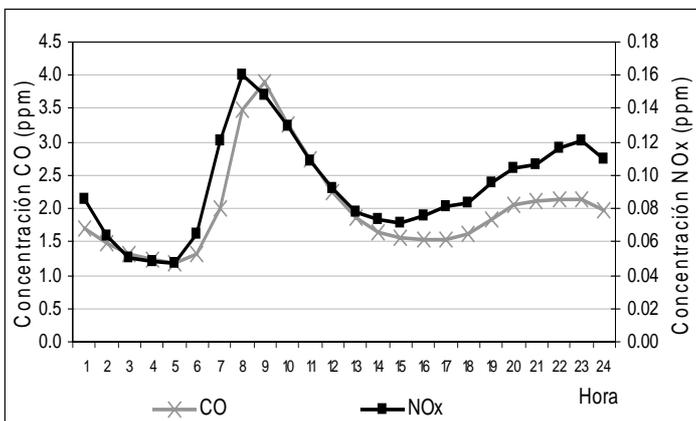
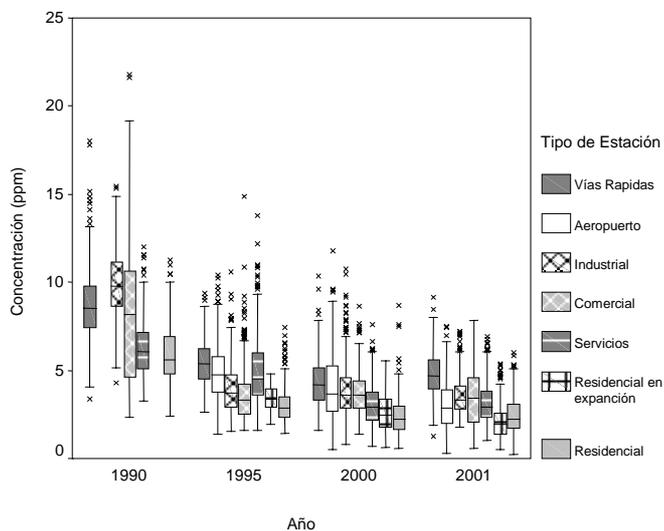


Figura 29. Comportamiento de CO por uso de suelo en estaciones de monitoreo (1990, 1995, 2000 y 2001).



BIÓXIDO DE AZUFRE

El patrón típico diario del SO₂ en 2001 mostró dos períodos de incremento a lo largo del día, el primero de estos de 08:00 a 15:00 horas, el cual se caracterizó por integrar las concentraciones máximas alrededor de las 10:00 horas; y el segundo período de 21:00 horas a 05:00 horas del día siguiente. La intensidad que alcanza el primer período se puede asociar con la actividad industrial y el transporte, mientras que en el segundo predomina la actividad industrial (Figura 30).

En el análisis de la magnitud de las concentraciones de SO₂, la estación XAL que se caracteriza por el uso de suelo industrial, registró las concentraciones máximas en la ZMVM (Figura 31). En orden de importancia le siguieron las estaciones MER y HAN, las cuales se encuentran cercanas a comercios y al aeropuerto, sus concentraciones se asocian con el transporte de carga que circula en la Av. Congreso de la Unión (localizada a 30 m de la estación MER) y la Av. Hangares (localizada a 30 m de la estación HAN), así como la emisión de servicios (baños públicos, hoteles y panaderías, entre otros).

El resultado de este análisis muestra la importancia que tiene la industria como principal emisor de SO₂, seguida del transporte de carga; lo cual es congruente con el Inventario de Emisiones de 1998.

Figura 30. Comportamiento diario típico de SO₂ en la ZMVM (2001).

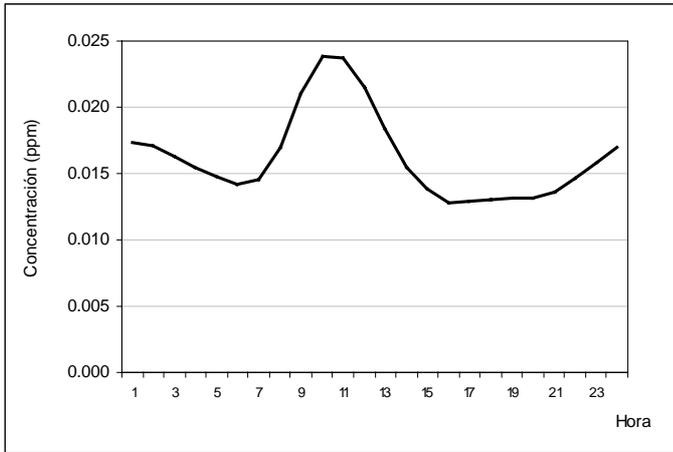
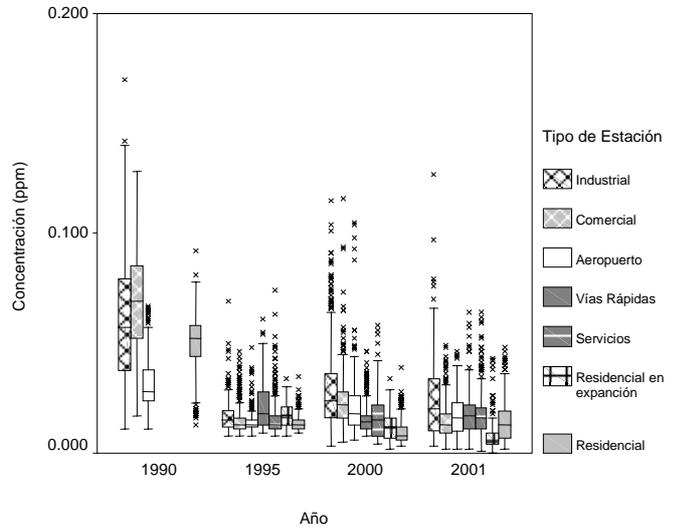


Figura 31. Comportamiento de SO₂ por uso de suelo en estaciones de monitoreo (1990, 1995, 2000 y 2001).



Los resultados obtenidos para el CO, NO_x y NO₂, muestran la importancia de continuar instrumentando acciones tendientes a disminuir las emisiones provenientes de las fuentes móviles. En el futuro, este tipo de perfiles deberá mostrar una disminución de la intensidad de sus concentraciones durante los períodos de incremento. Una acción inmediata para atenuar el impacto de estos períodos de aumento es incrementar la velocidad de los vehículos durante los períodos de horas críticas, principalmente en avenidas de tránsito intenso.

CAPÍTULO 7. COMPORTAMIENTO ESTACIONAL DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN LA ZMVM

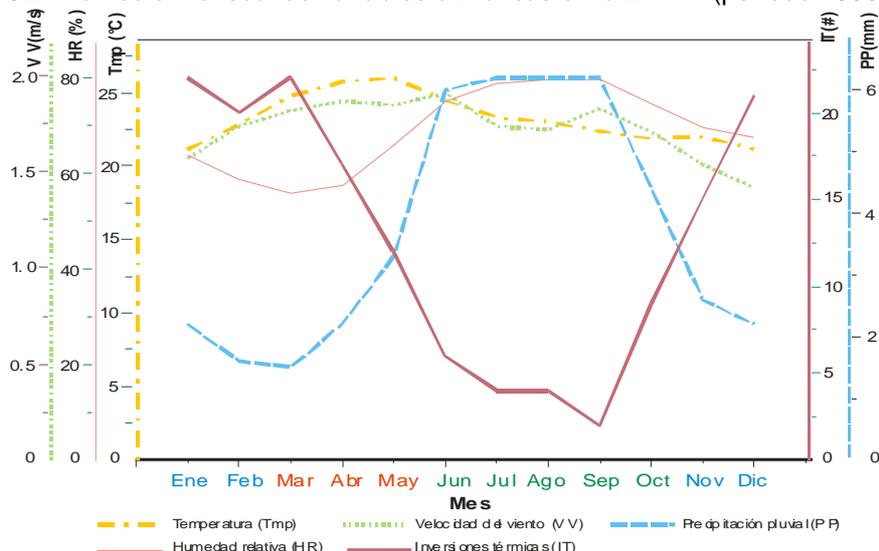
ÉPOCAS CLIMÁTICAS EN LA ZMVM

El clima en la ZMVM es un factor que determina en mayor o menor medida el tiempo de permanencia y comportamiento de los contaminantes atmosféricos. Entre las variables que lo caracterizan destacan: la distancia entre una determinada región y una fuente de humedad (océanos, lagos y ríos), sus barreras orográficas, su altitud y latitud. En la ZMVM³⁰ confluyen seis tipos de clima³¹, los de mayor cobertura son el clima templado subhúmedo que ocupa el 63.6% de la metrópoli –región norte y centro–, el semifrío húmedo con el 18.0% –región sur– y el semiseco templado con 18.4% –región noreste- (INEGI, 2001).

Por la posición latitudinal del país, durante el invierno la ZMVM está afectada por masas de aire de tipo polar o de aire frío, que provienen del norte del continente; durante el verano la ZMVM está afectada por masas de aire de tipo tropical o de aire caliente, originados por la afluencia de aire tropical (normalmente húmedo) proveniente del Océano Pacífico, Mar Caribe y Golfo de México.

Es así como los sistemas meteorológicos predominantes definen claramente dos épocas climáticas en la ZMVM: la época de *lluvias* (de junio a octubre), caracterizada por aire marítimo con alto contenido de humedad y la época de *secas* (de noviembre a mayo), identificada por presentar bajo contenido de humedad; la transición entre ambas se refleja en el cambio de masas de aire, ya que en el mes de noviembre las masas de aire frío comienzan a desplazar a las masas de aire caliente, distinguiéndose dos subépocas en la época de secas (*seca-fría* –de noviembre a febrero– y *seca-caliente* –de marzo a mayo–). En la Figura 32 se aprecia el comportamiento mensual de las variables climáticas que registra el SIMAT, así como la información de precipitación pluvial proporcionada por la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) y la información de inversiones térmicas proporcionada por la Subdirección de Meteorología y Modelación³². El análisis detallado de las condiciones climáticas se presenta en el Anexo 7.

Figura 32. Promedio mensual de variables climáticas en la ZMVM (período 1990–2001).



³⁰ La ZMVM se localiza a más de 400 km de distancia de la fuente de humedad más cercana (Golfo de México), además se encuentra enclavada entre las sierras de las Cruces, Ajusco, Guadalupe y Santa Catarina.

³¹ En el Capítulo 1 se mencionó que el INEGI considera 34 municipios del Estado de México, por lo cual la superficie de la ZMVM se estima en 4,925 km² (INEGI, 2001).

³² Perteneciente a la Dirección de Inventarios y Modelación de la Dirección General de Gestión Ambiental del Aire de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal.

COMPORTAMIENTO DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS POR ÉPOCA CLIMÁTICA

Al analizar el estado de la calidad del aire en las 3 épocas climáticas que predominan en la ZMVM por medio del *Percentil 75*³³, para identificar su influencia en la acumulación y/o dispersión de los contaminantes, así como la que representa un mayor riesgo a la salud de la población, se encontró que en la mayoría de los años analizados la época de lluvias representa una mejoría en las condiciones de calidad del aire, principalmente en el caso de contaminantes como las PST, PM₁₀, CO, SO₂, NO₂ y NO_x. Este comportamiento muestra la influencia de la actividad convectiva y el lavado de la atmósfera que caracterizan a esta época (Figuras 34 a 39).

En el caso del O₃, no se observaron diferencias considerables en el valor del *Percentil 75* entre las concentraciones registradas en la época de lluvias y las concentraciones registradas en la época seca-fría, mientras que en la época seca-caliente las concentraciones muestran valores más altos. En los años recientes la diferencia más notable se presentó en 1998, cuando en la época seca-caliente se registraron concentraciones extremas (Figura 33).

Por su parte, las concentraciones de Pb que se registran en las muestras de PST muestran diferencias mínimas de una época a otra en los últimos años y sólo un ligero decremento en la época de lluvias (Figura 40).

Figura 33 Concentraciones máximas diarias de O₃ en la ZMVM por época climática (1990–2001).

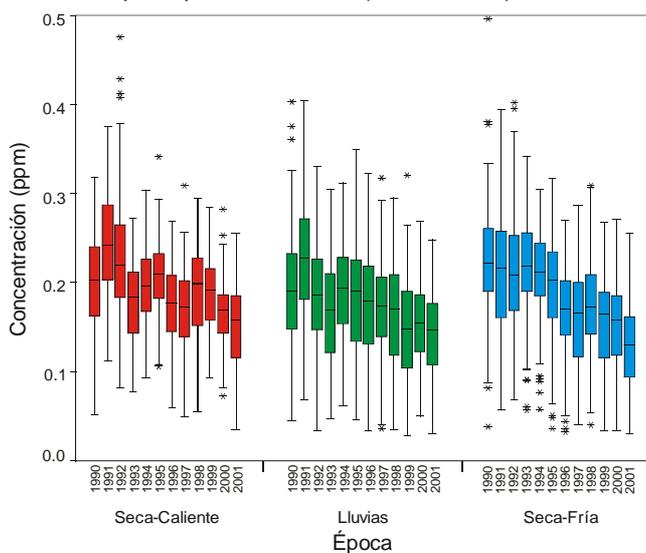
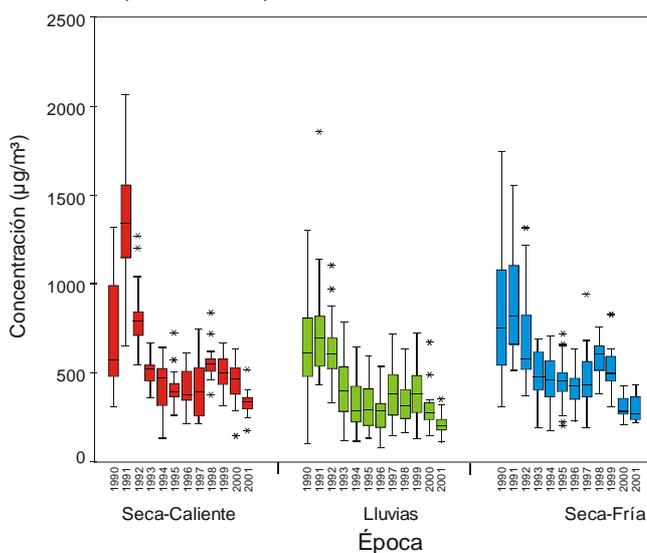


Figura 34. Muestréos de PST en la ZMVM por época climática (1990–2001).



³³ En la Tabla 13 del Capítulo 3 se define el Percentil 75 y el Rango Inter cuartil; y en la Figura 8 del mismo capítulo se muestra la representación gráfica de estos. Esta representación se emplea en las figuras del presente capítulo.

Figura 35. Muestréos de PM₁₀ en la ZMVM por época climática (1990–2001).

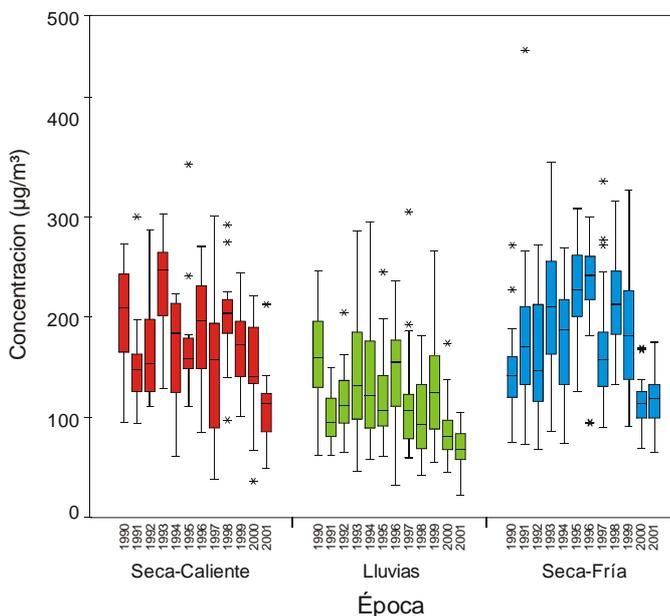


Figura 36. Concentraciones máximas diarias de CO en la ZMVM por época climática (1990–2001).

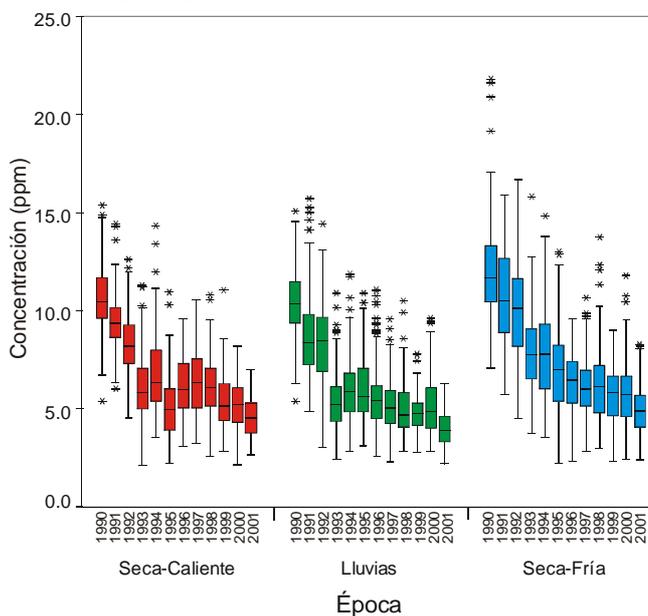


Figura 37. Concentraciones promedio diarias de SO₂ en la ZMVM por época climática (1990–2001).

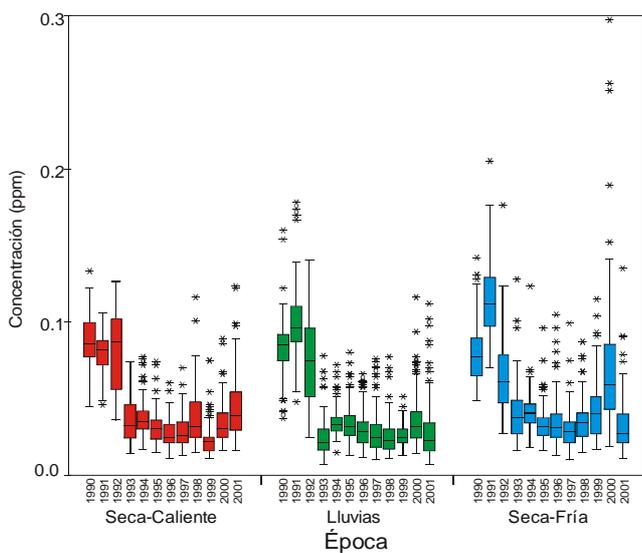


Figura 38. Concentraciones máximas diarias de NO₂ en la ZMVM por época climática (1990–2001).

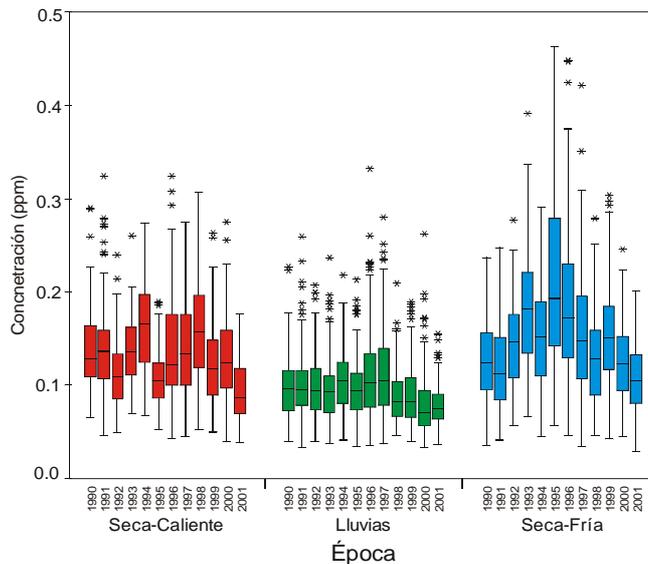


Figura 39. Concentraciones máximas diarias de NOx en la ZMVM por época climática (1990–2001).

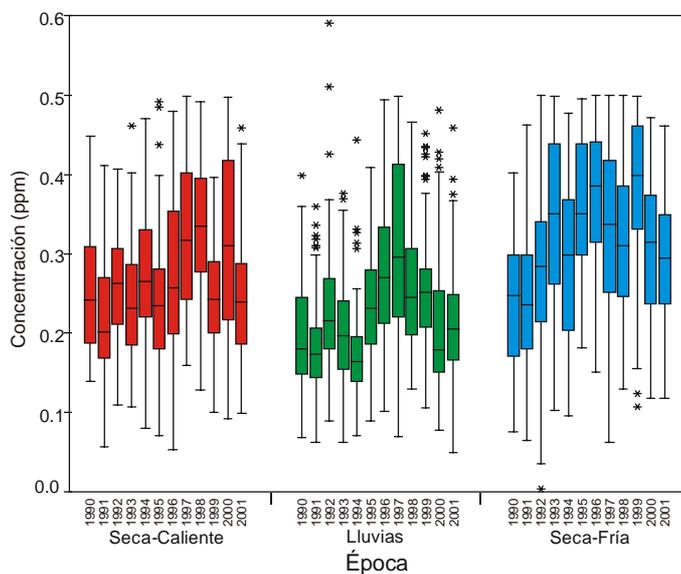
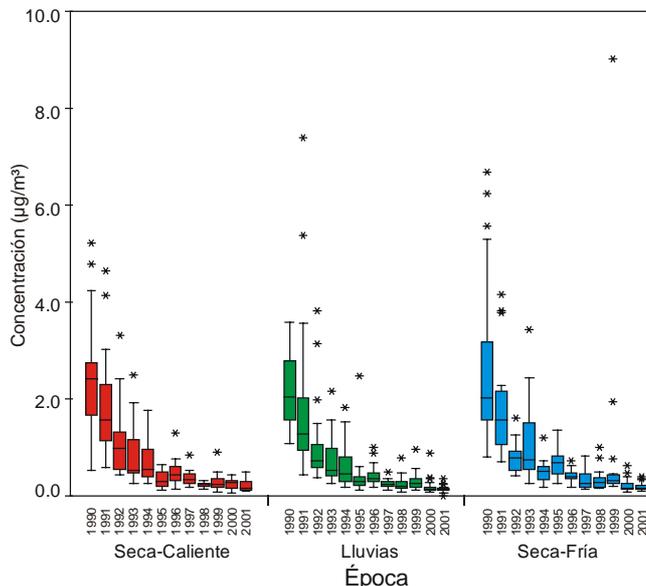


Figura 40. Muestras de Pb–PST en la ZMVM por época climática (1990–2001).



ANÁLISIS DE MOSAICO PARA REGISTROS DIARIOS DE OZONO Y PARTÍCULAS MENORES A 10 MICRÓMETROS

En esta sección de análisis de mosaicos se evalúan cuatro años de interés particular para la gestión ambiental (1990, 1995, 2000 y 2001) y los contaminantes O₃ y PM₁₀, ya que rebasan con mayor frecuencia el límite permisible de las norma (comentado en el Capítulo 1).

En el caso del O₃ las concentraciones máximas diarias más frecuentes se ubican en el intervalo de 0.110 ppm a 0.233 ppm³⁴ (Figura 41), las cuales representaron el 62% en 1990 y el 80% en el 2000. En 2001 se redujo al 72%, por lo que aumentó el intervalo de 0.060 a 0.110 ppm, indicando una mejora de la calidad del aire (para mayor detalle ver el Anexo 6).

Al analizar el comportamiento de las concentraciones de O₃ en el intervalo de concentraciones de 0.110 a 0.233 ppm, por día de la semana y época climática, se observó que éstas predominaron los días domingo y lunes en la época seca fría, domingo en la época seca caliente y sábado y domingo en la época de lluvias (Tabla 27).

En el caso de las PM₁₀, en 1990 y 1995 prevalecieron concentraciones en el intervalo de 150 a 270 µg/m³, lo que representó respectivamente el 53% y el 48% de los muestreos realizados; mientras que en 2000 y 2001, las concentraciones que prevalecieron en el 61% y 65% de los muestreos respectivos, estuvieron entre 50 hasta 120 µg/m³. Este comportamiento también indica una mejora en la calidad del aire por PM₁₀ (Figura 42).

El análisis por época climática en estos 4 años mostró cambios importantes en la frecuencia de concentraciones, ya que en la época seca fría de 1990 predominaron muestreos con concentraciones en el intervalo de 120 a 150 µg/m³, y en 2000 y 2001 predominaron concentraciones de 50 a 120 µg/m³. Por su parte, sólo en la época de lluvias de 1990 se observó el predominio de concentraciones entre 150 y 270 µg/m³, en el resto de los años de análisis fue frecuente la presencia de concentraciones mayores a 50 y menores a 120 µg/m³. En el caso de la época seca caliente, fue característico observar que durante el año 2000 las concentraciones más frecuentes estuvieron entre 120 y 150 µg/m³.

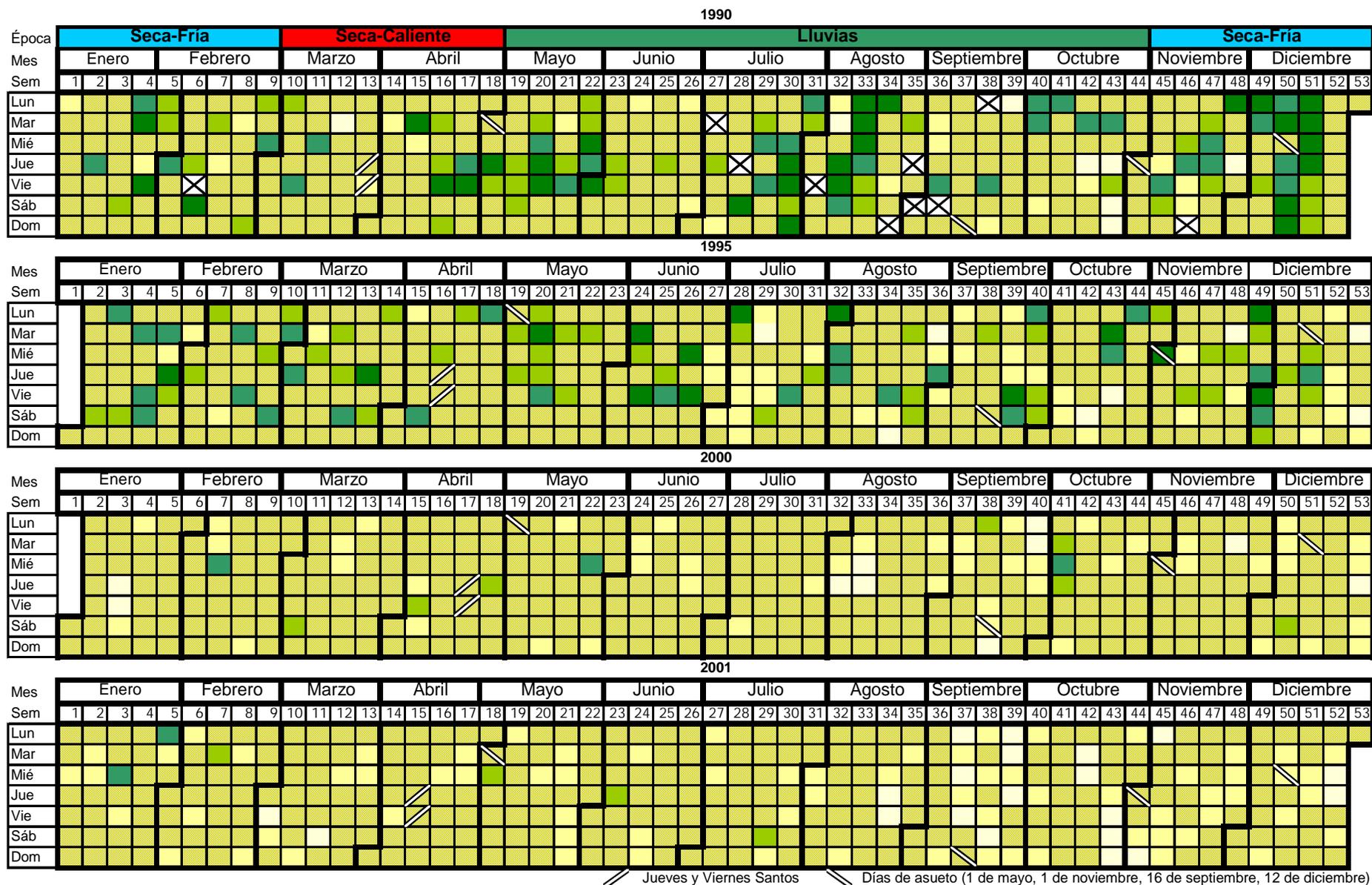
³⁴ Este intervalo equivale en puntos IMECA a: más de 100 y hasta 200 puntos.

Al centrar la atención en las concentraciones más altas de cada época climática, se observó que éstas son más frecuentes los días viernes y lunes de la época seca-caliente, los días viernes, lunes y martes de la época seca-fría y los sábados, domingos y jueves de la época de lluvias

Tabla 27. Días de la semana predominantes en el intervalo de mayor frecuencia por época climática para O₃ y PM₁₀ (1990, 1995, 2000 y 2001).

PARÁMETRO	ÉPOCA CLIMÁTICA	AÑO	INTERVALO MAYOR FRECUENCIA	DÍAS MÁS FRECUENTES	DÍAS MEDIANAMENTE FRECUENTES	DÍAS MENOS FRECUENTES
O ₃ (ppm)	Seca-fría	1990, 1995, 2000 y 2001	(0.110, 0.233]	Domingo y Lunes	Jueves, Viernes y Sábado	Martes y Miércoles
	Seca-Caliente			Domingo	Jueves, Viernes, Sábado y Lunes	Martes
	Lluvias			Sábado y Domingo	Lunes, Martes y Viernes	Miércoles y Jueves
PM ₁₀ (µg/m ³)	Seca-Fría	1990	(120, 150]	Sábado y Lunes	Martes, Miércoles, Jueves y Domingo	Viernes
		1995	(150, 270]	Viernes, Lunes y Martes	Jueves	Sábado, Domingo y Miércoles
		2000 y 2001	(50, 120]	Viernes	Sábado, Domingo, Lunes, Martes y Jueves	Miércoles
	Seca-Caliente	1990 y 1995	(150, 270]	Viernes	Jueves y Domingo	Lunes, Martes, Miércoles y Sábado
		2000	(120, 150]	Lunes	Martes a Domingo	—
		2001	(50, 120]	Lunes y Miércoles	Martes, Jueves y Domingo,	Viernes y Sábado
	Lluvias	1990	(150, 270]	Sábado	Miércoles, Jueves y Viernes	Domingo, Lunes y Martes
		1995, 2000 y 2001	(50, 120]	Jueves, Sábado y Domingo	Miércoles y Viernes	Lunes y Martes

Figura 41 . Mosaicos de O₃ en la ZMVM (1990, 1995, 2000 y 2001)



/// Jueves y Viernes Santos // Días de asueto (1 de mayo, 1 de noviembre, 16 de septiembre, 12 de diciembre)

En el Capítulo 3 se presentan los intervalos y la gama de colores asociados.

CAPÍTULO 8. DEPÓSITO ATMOSFÉRICO EN LA ZMVM

DEPÓSITO HÚMEDO O LLUVIA ÁCIDA

Como se comentó en el Capítulo 3 el *depósito atmosférico* se conforma por el *depósito seco* y el *depósito húmedo*, también referido como *lluvia ácida*. Su monitoreo permite estimar la transferencia de compuestos químicos suspendidos en la atmósfera a los ecosistemas terrestres y acuáticos, permitiendo ampliar el conocimiento acerca del flujo químico de estos compuestos y la dinámica de la contaminación, sus fuentes e impactos.

El SO₂ y los NO_x presentes en la atmósfera pueden transformarse en compuestos ácidos a través de reacciones que involucran el vapor de agua, la luz solar y otros gases. Estos ácidos se encuentran en forma de pequeñas gotas suspendidas, que pueden absorberse en la superficie de algunas partículas o formar núcleos que generan nuevas gotas o partículas. Durante un evento de precipitación pluvial, nieve, rocío, niebla, neblina, agua nieve o granizo, estas partículas o gotas ácidas pueden arrastrarse, incrementando la acidez del agua contenida en estos meteoros (Henry J. G. y Heinke G. W., 1989).

Es importante señalar que en condiciones normales, el agua de lluvia presenta una ligera acidez, causada por el equilibrio del ácido carbónico –CO₂– en el agua (Informe Anual 2000, disponible en Internet). En algunas circunstancias puede tornarse alcalina por efecto del polvo de origen geológico.

La lluvia ácida es producto de la contaminación de la atmósfera, la cual puede generarse y depositarse localmente, pero también puede ser arrastrada a cientos o miles de kilómetros por los vientos prevalecientes, este fenómeno es conocido como *Transporte Aéreo de Contaminantes a Grandes Distancias* (TACGD) (Henry J. G. y Heinke G. W., 1989). Los especialistas en esta área describen el comportamiento de la lluvia ácida, como aquél que ocurre viento abajo de las fuentes de emisión de SO₂ y NO_x, los cuales pueden reaccionar químicamente para transformarse en ácido sulfúrico (H₂SO₄) y ácido nítrico (HNO₃), respectivamente. Existen otros ácidos orgánicos e inorgánicos formados en la atmósfera que tienen una contribución menor.

La lluvia ácida contribuye a la acidificación de ríos y lagos, afectando directamente a las poblaciones de estos ecosistemas. Otros compuestos como el nitrógeno (N), contribuyen al proceso de eutrofización³⁴ de los lagos. En el caso de los bosques, la lluvia ácida puede provocar el debilitamiento de los árboles y la disponibilidad de nutrientes del suelo, así como la formación de otros compuestos. En zonas donde el suelo tiene poca capacidad para neutralizar la acidez del agua de lluvia, se incrementa la disolución de compuestos, como el aluminio, los cuales se transportan hacia los cuerpos de agua.

Los compuestos de la lluvia ácida contribuyen a la corrosión en superficies metálicas y al deterioro de la infraestructura urbana, pintura de automóviles, construcciones y monumentos históricos. Aun cuando la lluvia ácida no provoca un daño directo a la salud humana, sus precursores están asociados a la formación de partículas finas y la disminución de la visibilidad. Como se mencionó en el Capítulo 1, las concentraciones elevadas de partículas se asocian con padecimientos respiratorios y con casos de muerte prematura por afecciones cardíacas o respiratorias.

La acidez del agua de lluvia se reporta en unidades de pH o potencial de hidrógeno, que indica la concentración de iones hidrónio (H⁺) en una solución. La acidez es proporcional a la concentración de H⁺ y se relacionan de la siguiente manera:

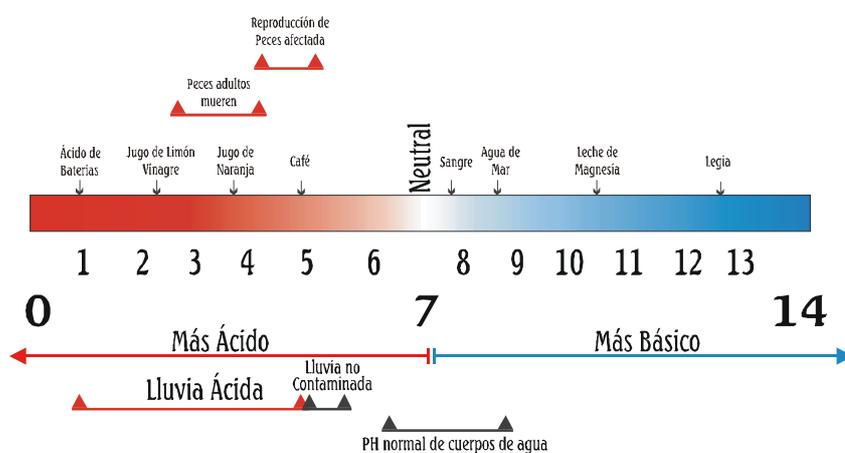
$$pH = -\log[H^+] \quad \text{y} \quad [H^+] = 10^{-pH}$$

³⁴ La *eutrofización* se presenta cuando se observa una reducción en la concentración de oxígeno disuelto en el agua. Los síntomas de la eutrofización son el crecimiento desmedido de algas, la pérdida de la salud de los peces y crustáceos, y cambios notables en la cadena alimenticia.

El pH de una solución se encuentra en un intervalo de 0 a 14 (Figura 43). Las soluciones ácidas tienen un pH menor a 7, las básicas o alcalinas tienen un valor mayor a 7. Un valor de pH de 7 es considerado como neutro, el agua pura tiene un pH aproximado de 7 (CIID, disponible en Internet; Finlayson-Pitts, 1948; Ahrens, 1999).

La manera de interpretar la escala del pH es la siguiente: una solución con un pH de 4, es diez veces más ácida que una de 5 y cien veces más ácida que una de 6; la proporción se va multiplicando por diez a medida que disminuyen los valores del pH (REDES–Amigos de la Tierra, disponible en Internet). El pH natural del agua de lluvia es de 5.6, ligeramente ácido debido a la presencia de ácido carbónico, a partir de este valor puede ir hasta 2.5 y excepcionalmente hasta 1.5. Cabe señalar que en los ecosistemas acuáticos, la disminución del pH y el incremento de compuestos como el aluminio, puede provocar la muerte en especies sensibles o la disminución de peso y talla.

Figura 43. Escala de pH.



Fuente: Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID)

COMPOSICIÓN DEL DEPÓSITO HÚMEDO

La composición del depósito húmedo es un indicador del impacto en los ecosistemas y materiales antes señalados, y permite ampliar el conocimiento acerca del flujo de sustancias químicas de la atmósfera a la superficie terrestre. Los compuestos analizados en la REDDA son:

➤ Ion Hidrónico (H⁺)

La acidez del agua de lluvia depende de la concentración de iones H⁺ presentes (medidos a través del pH), que pueden producirse por la disociación de ácidos orgánicos (por ejemplo: ácido fórmico, ácido acético) e inorgánicos (ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido sulfuroso, entre otros) en la fase acuosa.

➤ Ion Nitrato (NO₃⁻)

El ion NO₃⁻ se forma en la atmósfera por la oxidación de los NO_x, a través de diversos mecanismos de reacción. El NO₃⁻ se encuentra en las fases sólida y líquida de las partículas, formando sales o en pequeñas gotas de HNO₃; también se encuentra en disolución acuosa en las nubes y el agua de lluvia.

➤ Ion Sulfato (SO₄²⁻)

Los sulfatos se forman a partir de la oxidación en fase gaseosa o acuosa del SO₂. Al igual que los nitratos se encuentran en las fases sólida y líquida de las partículas suspendidas y en disolución acuosa en las nubes y el agua de lluvia.

➤ **Cationes (NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+)**

Entre los compuestos de origen natural que neutralizan la acidez del agua se encuentran: calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), potasio (K^+) y sodio (Na^+), que provienen principalmente del polvo, aerosoles marinos o incendios forestales (Tabla 28). Entre los compuestos de origen antropogénico se encuentra el amonio (NH_4^+).

Tabla 28. Cationes analizados en el agua de lluvia, SIMAT de la Ciudad de México.

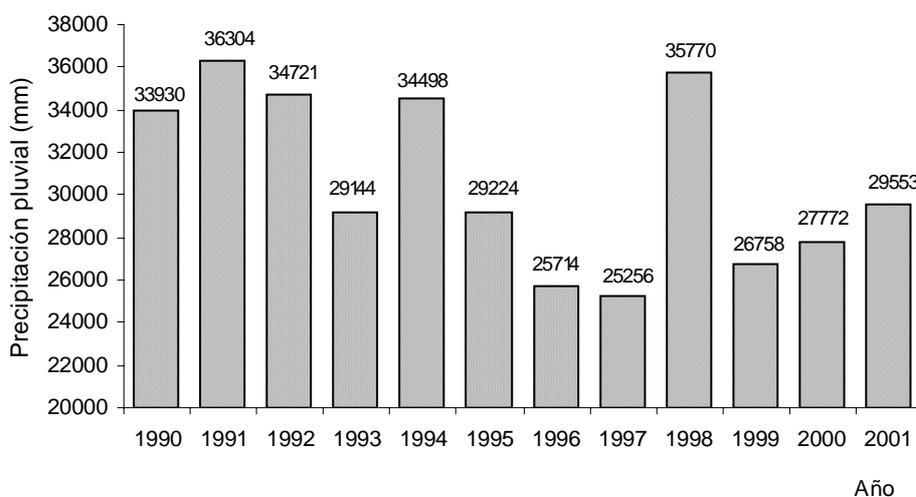
PARÁMETRO	FUENTES DE ORIGEN	PRECURSOR
Amonio (NH_4^+)	Producción ganadera, uso de fertilizantes, procesos industriales (elaboración de alimentos y forrajes), en menor proporción por flujo vehicular, combustión de carbón, actividad bacteriana y de la respiración humana, materia en descomposición abundante en tiraderos a cielo abierto.	Amoniaco
Calcio (Ca^{2+})	Erosión del suelo, origen natural en rocas silíceas.	Suelos alcalinos
Magnesio (Mg^{2+})	Erosión del suelo, origen natural en plantas, agua de mar y corteza terrestre.	Suelos ricos en magnesita y dolomita
Sodio (Na^+)	Erosión del suelo, polvos provenientes de la corteza terrestre.	Cloruro de sodio
Potasio (K^+)	Erosión del suelo e incendios, polvos provenientes de la corteza terrestre.	Combustión de material vegetal.

COMPORTAMIENTO DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL EN LA ÉPOCA DE LLUVIAS DE LA ZMVM

En el Capítulo 7 se comentó que debido al "lavado" de la atmósfera durante la época de lluvias de la ZMVM (junio a octubre), la mayoría de los contaminantes atmosféricos presentan concentraciones bajas, lo que permite una mejor calidad del aire. No obstante, el análisis de la composición y propiedades³⁵ del agua de lluvia, por medio del depósito húmedo, permite estimar el impacto que puede provocar en los ecosistemas y materiales.

Previo a este análisis es necesario destacar que la cantidad de lluvia captada en la ZMVM durante la época de lluvias, ha variado a lo largo del período de 1990 a 2001 (Figura 44). En el caso de 1998, la diferencia que presenta con respecto a los otros años, se debió principalmente a las intensas lluvias registradas en septiembre.

Figura 44. Precipitación pluvial captada durante la época de lluvias (junio-octubre) en la ZMVM (período 1990–2001).

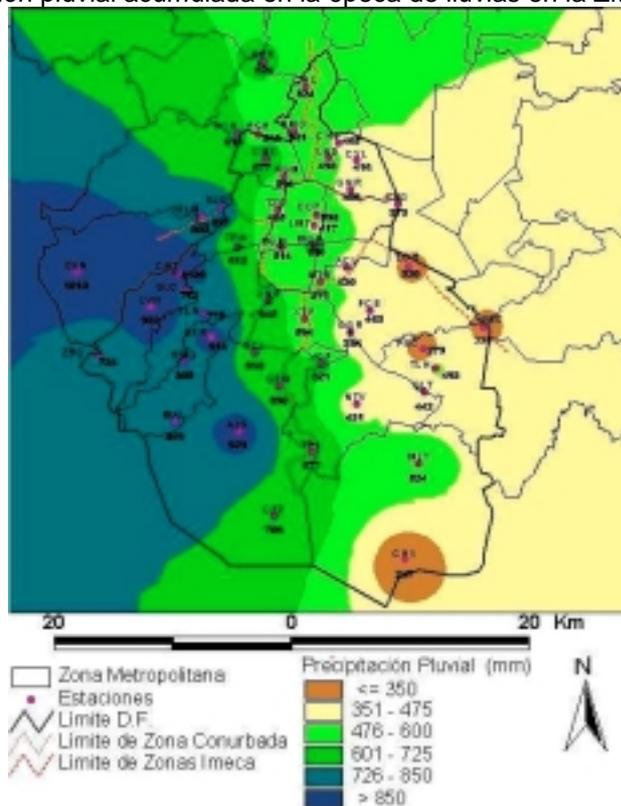


Fuente de datos: DGCOH

³⁵ Las propiedades químicas del agua de lluvia que se analizan son pH, aniones y cationes y de las características físicas la conductividad específica.

Así mismo, es necesario considerar que la precipitación pluvial no es homogénea en la ZMVM, ya que en la región que comprenden las delegaciones Tlalpan, Magdalena Contreras, Álvaro Obregón, Cuajimalpa y los municipios de Huixquilucan y Naucalpan, se registra un mayor volumen de precipitación; mientras que en la región que comprende las delegaciones Gustavo A. Madero, Venustiano Carranza, Iztacalco, Iztapalapa, Tláhuac, Milpa Alta y los municipios conurbados del este, se registra el menor volumen (Mapa 10).

Mapa 10. Precipitación pluvial acumulada en la época de lluvias en la ZMVM (2001).



Fuente de datos: DGCOH

Al analizar los resultados del depósito húmedo se debe considerar el comportamiento temporal y espacial de la precipitación pluvial en la ZMVM, ya que la presencia de los compuestos antes señalados está influenciada por la intensidad de la precipitación, ya que en medida del incremento en volumen aumenta el depósito de los compuestos indicados.

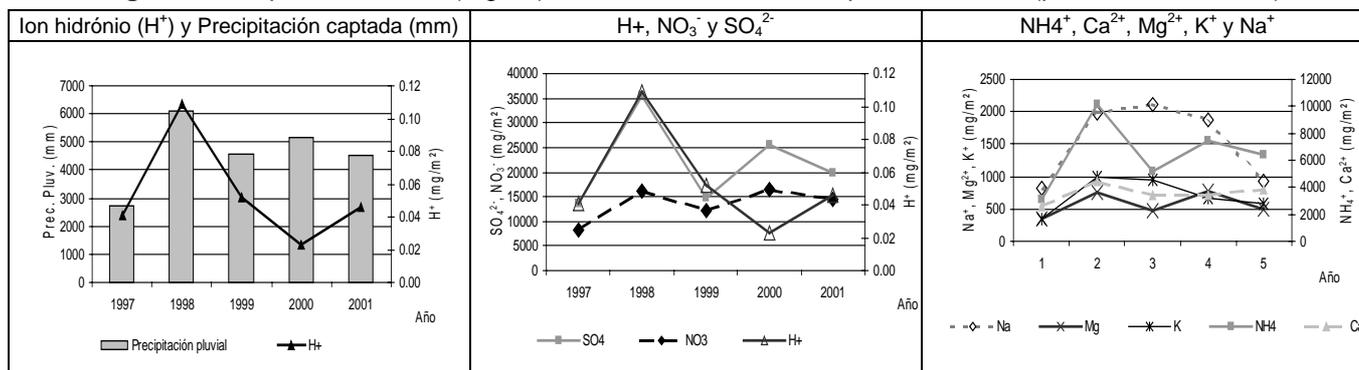
COMPORTAMIENTO DE LOS COMPUESTOS DEL DEPÓSITO HÚMEDO EN LA ZMVM, 1997 A 2001

Al evaluar el comportamiento del indicador de depósito acumulado para los compuestos del agua captada durante la época de lluvias del período 1997–2001, se aprecia que en 1998 se registró el mayor depósito de estos compuestos (Figura 45). Por el contrario, en 1997 cuando se registraron niveles bajos de precipitación pluvial, los compuestos de origen natural (K^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} y Na^+), tuvieron un menor depósito húmedo.³⁶

En relación con el año 2000, destaca por haber presentado niveles bajos del H^+ , aun cuando los niveles de NO_3^- y SO_4^{2-} aumentaron. Al mismo tiempo se presentó un aumento en el depósito de los compuestos de origen natural (K^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} y Na^+). Por su parte, en el año 2001 volvió a incrementarse la presencia del H^+ , por lo que debió incrementarse la acidez de la lluvia.

³⁶ El Anexo 8 muestra el comportamiento para cada compuesto por estación de monitoreo a lo largo del período 1997-2001 (Promedio ponderado y Depósito).

Figura 45. Depósito húmedo (mg/m^2) en la ZMVM durante la época de lluvias (período 1997–2001).



COMPORTAMIENTO ESPACIAL DE LOS COMPUESTOS DEL DEPÓSITO HÚMEDO

El comportamiento espacial de los indicadores depósito y promedio ponderado (ver Capítulo 3) durante la época de lluvia de 2001, ilustran el proceso de transporte viento abajo de contaminantes atmosféricos en la ZMVM. En el caso del promedio ponderado, los valores obtenidos para NO_3^- y SO_4^{2-} en la región sur, son tan altos o mayores que los obtenidos en el norte de la ciudad, mientras que los valores más bajos de pH (4.6 a 5.0) prevalecieron en el suroeste. Por su parte, los compuestos de origen natural reflejan una posible influencia de fuentes de emisión localizadas hacia el norte y este de la ciudad, donde predominan suelos sin cubierta vegetal (Mapa 11).

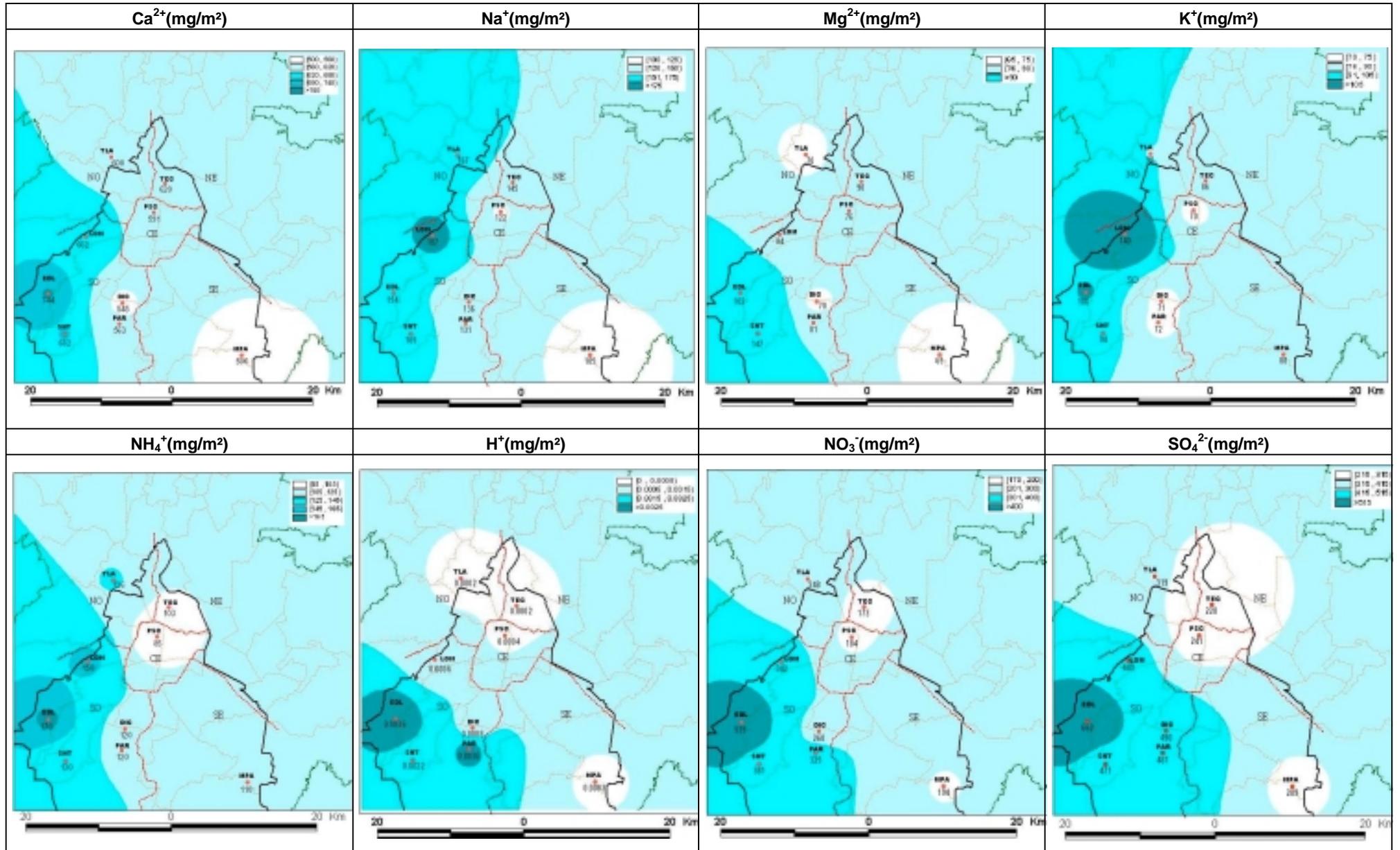
Por su parte, el análisis del depósito mostró que la región comprendida por las delegaciones Cuajimalpa, Álvaro Obregón, Magdalena Contreras, Tlalpan y Coyoacán, y el municipio de Huixquilucan del Estado de México, recibió la mayor cantidad de iones depositados (Mapa 12). Esta región se caracteriza por recibir la mayor cantidad de precipitación pluvial. Así mismo la región que comprenden las delegaciones Gustavo A. Madero, Tláhuac y Milpa Alta, y el municipio de Tlalnepantla, se caracterizaron por registrar un menor depósito.

En adición a los resultados del apartado anterior, se concluye que durante 1998 se registró la mayor cantidad de compuestos en el agua de lluvia y que la región suroeste de la ZMVM recibe en mayor proporción aniones y cationes, al mismo tiempo que presenta los niveles más ácidos en el agua de lluvia. Cabe señalar que esta región concentra áreas de conservación ecológica, cuya altura máxima llega a alcanzar hasta 3,800 msnm (considerada como una de las de mayor altitud en la ZMVM), con diversidad de climas³⁷ y uso de suelo (bosque, pastizal y agrícola), dos de las tres subcuencas hidrológicas de la ZMVM (Río Huajapa y Río Huautla), cuerpos de agua (Río Almoloya-Otzolotepec), varias corrientes de agua (El Sordo, Texcalatlaco, La Magdalena y El Cuatzin) y el Acuífero Tarango (INEGI, 2001).

Es importante comentar que la variación que presentó el pH durante 2001 en la ZMVM, fue similar a la que reporta la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA, por sus siglas en inglés) en el Programa Nacional de Deposito Atmosférico (NADP, por sus siglas en inglés, disponible en Internet).

³⁷ Templado subhúmedo, semifrío subhúmedo y semifrío húmedo con abundantes lluvias en verano.

Mapa 12. Depósito húmedo de los compuestos captados en agua de lluvia en la ZMVM durante la época de lluvias 2001.



ANEXO 1. CONSUMO DE COMBUSTIBLES EN LA ZMVM

La Tabla A1 indica el consumo energético anual de cada uno de los combustibles que se distribuyen en la ZMVM

Tabla A1. Consumo energético anual en la ZMVM, desagregado por sector y tipo de combustible (1990–2001).

Sector	Combustible	Consumo en Pentajoules											
		Año	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Transporte	Gasolina Nova	177.95	189.04	162.64	143.22	135.4	119.36	100.89	27.01				
	Gasolina Magna	1.55	14.73	40.41	65.54	87.14	94.07	106.12	177.95	200.76	193.14	201.08	201.35
	PEMEX Diesel				11.57	53.16	49.77	52.74	55.27	57.94	58.23	58.37	59.08
	Diesel Especial	29.74	22.3	24.92	26.68								
	Gasolina Premium							0.17	6.36	13.41	16.07	21.21	25.27
	Diesel Nacional	6.46	1.22										
	Subtotal	215.70	227.29	227.97	247.01	275.70	263.20	259.92	266.59	272.11	267.44	280.66	285.70
%	48	50	49	46	47	48	47	47	47	47	44	46	47
Industria y servicios	Gas Natural	157.38	151.85	128.97	191.39	192.35	167.58	172.38	183.35	190.59	207.43	217.1	230.34
	Gasóleo Industrial		0.73	15.98	15.63	12.64	11.73	12.44	12.87				
	Diesel Industrial				2.04	12.67	10.15	9.98					
	Combustible Industrial									15.13	9.96	5.31	ND
	Diesel Industrial de bajo azufre						0.01	0.04	10.03	8.92	11.47	12.2	10.79
	Diáfano	1.47	1.15	0.99	0.83	1.07	0.91	0.85	0.27				
	Gasóleo Doméstico								0.03	0.11	0.06	0.01	ND
	Subtotal	158.85	153.73	145.94	209.89	218.73	190.38	195.69	206.55	214.75	228.92	234.62	241.13
%	35	33	32	39	37	35	36	37	37	38	39	39	
Residencial	Gas LP	77.89	78.15	89.06	85.86	94.84	97.37	94.43	91.47	92.59	105.13	90.47	84.29
	Subtotal	77.89	78.15	89.06	85.86	94.84	97.37	94.43	91.47	92.59	105.13	90.47	84.29
	%	17	17	19	16	16	18	17	16	16	17	15	14
Total		452.44	459.17	462.97	542.76	589.27	550.95	550.04	564.61	579.45	601.49	605.75	611.12

Un Pentajoule equivale a 10¹⁵ Joules
ND- No disponible

ANEXO 2. SISTEMA DE MONITOREO ATMOSFÉRICO DE LA CIUDAD DE MÉXICO, 2001

Tabla A2. Parámetros registrados por el SIMAT de la Ciudad de México durante 2001.

ZONA	ESTACIÓN	CLAVE	RED AUTOMÁTICA							RED MANUAL					RED DEP. ATMOSFÉRICO				
			O ₃	CO	SO ₂	NO ₂	PM ₁₀	MET	RAD	GR	PST	PM ₁₀	Pb	Mn	NO ₃	SO ₄	pH	CE	A
NOROESTE	Vallejo	VAL																	
	Tacuba	TAC																	
	ENEP Acatlán	EAC																	
	Azcapotzalco	AZC																	
	Tlalnepantla	TLA																	
	I.M.P.	IMP																	
	Tultitlán	TLI																	
	Atizapán	ATI																	
	Legaria ^a	IBM																	
	Lab.Bact y Físicoquímica	LBFQ																	
Secretaría de Hacienda	SHA																		
NORESTE	Los Laureles	LLA																	
	La Presa	LPR																	
	La Villa	LVI																	
	San Agustín	SAG																	
	Xalostoc	XAL																	
	Aragón	ARA																	
	Netzahualcóyotl	NET																	
	Villa de las Flores	VIF																	
	Chapingo	CHA																	
	Netzahualcóyotl Sur	NTS																	
Cerro del Tepeyac	TEC																		
CENTRO	Lagunilla	LAG																	
	Merced	MER																	
	Hangares	HAN																	
	Benito Juárez	BJU																	
	Insurgentes	MIN																	
	Museo de la Cd. México	MCM																	
	Plaza de Sta. Catarina ^b	PSC																	
	Santa Ursula	SUR																	
SUROESTE	Pedregal	PED																	
	Plateros	PLA																	
	Cuajimalpa	CUA																	
	Tlalpan	TPN																	
	Lomas	LOM																	
	Diconsá ^c	DIC																	
	Ecoguardas Ajusco	EAJ																	
	Picacho	PIC																	
	Exconv. Desierto Leones ^d	EDL																	
	Parres	PAR																	
San Nicolás Totolapan	SNT																		
SURESTE	Cerro de la Estrella	CES																	
	UAM Iztapalapa	UIZ																	
	Taxqueña	TAX																	
	Tlahuac	TAH																	
	C.Edu. Amb. Acuexcómatl ^e	CEA																	
	Milpa Alta	MPA																	

^{/a} SHA en la REDDA fue reubicado y nombrada IBM.

^{/b} MCM en la REDDA fue reubicado y nombrada PSC.

^{/c} FAN en la REDDA fue reubicado y nombrada DIC.

^{/d} PED en la REDDA fue reubicado y nombrada EDL.

^{/e} XCH en la REDDA fue reubicado y nombrada CEA.

Tabla A3. Parámetros y unidades de medición del SIMAT de la Ciudad de México.

SIMBOLO	PARAMETRO	UNIDADES	SIMBOLO	PARAMETRO	UNIDADES
Gases y partículas			Depósito atmosférico		
O ₃	Ozono	ppm	pH	Potencial hidrógeno	unidades pH
SO ₂	Bióxido de azufre	ppm	A	Aniones (nitratos y sulfatos)	mg/l
NO ₂	Bióxido de nitrógeno	ppm	C	Cationes (amonio, calcio, magnesio, sodio y potasio)	mg/l
CO	Monóxido de carbono	ppm	CE	Conductividad electrolítica	µS/cm
PM ₁₀	Partículas menores a 10 micrómetros	µg/m ³	MET	Parámetros meteorológicos	
PST	Partículas suspendidas totales	µg/m ³	VV	Velocidad del viento	m/s
Metales en Partículas			TMP	Temperatura	°C
Mn	Manganeso		DV	Dirección del viento	grados azimut
NO ₃ ⁻	Nitratos		HR	Humedad relativa	%
SO ₄ ⁼	Sulfatos		RAD	Radiación UV-b, UVa	med/hr, mw/cm ²
Pb	Plomo	µg/m ³	GR	Radiación global	watts/m ²

ppm:	partes por millón.
µg/m ³ :	microgramos por metro cúbico.
mg/l:	miligramos por litro.
µS/cm:	microSiems por centímetro.
m/s:	metros por segundo.
°C:	grados centígrados.
%:	porcentaje.
med/hr:	dosis mínima de eritema por hora.
mw/cm ² :	miliwatts por centímetro cuadrado.
Watts/m ² :	watts por metro cuadrado.

Nota: las estaciones que aparecen en los siguientes Anexos que no están descritas en la Tabla A2, se pueden consultar en el **Compendio Estadístico del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la ZMMV 1986-2001**, disponible en la página de la Secretaría del Medio Ambiente del GDF, dirección url: <http://www.sma.df.gob.mx> en el apartado de Publicaciones\Aire.

ANEXO 3. DESEMPEÑO ANUAL DE LAS ESTACIONES DEL SISTEMA DE MONITOREO ATMOSFÉRICO DE LA CIUDAD DE MÉXICO, 1990 A 2001

En la Tabla A4 se ilustra la apariencia para el desempeño de las estaciones del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la ZMVM, identificándose de la siguiente manera:

- Desempeño malo: celdas en color gris oscuro.
- Desempeño regular: celdas en color gris claro.
- Desempeño bueno: celdas en color blanco.

Tabla A4. Apariencia de los identificadores de desempeño.

TIPO DE RED	APARIENCIA DE LA CELDA
Cualquier Red de Monitoreo	Desempeño malo: menor o igual al 50% de información anual
	Desempeño regular: más del 50% y menos del 75% de la información anual
	Desempeño bueno: mayor o igual al 75% de la información anual
REDMA	<i>Desempeño bueno con más del 100% de los muestreos del año</i>
Promedios trimestrales de Pb en la REDMA	Desempeño malo: con falta de un mes de muestreos y no más de 11 muestreos en el trimestre
	<i>Desempeño malo con falta de un mes de muestreos y más de 11 muestreos en el trimestre</i>

Tabla A5. Desempeño de O₃ en el período de 1990 a 2001.

Estación		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
LAG	No.	3259	6110	5827	7111	8372	7845	7987	8517	8730	8760	8518	8602
	%	37	70	66	81	96	90	91	97	100	100	97	98
TAC	No.				4279	8313	8417	8464	7914	8635	8759	8729	8467
	%				49	95	96	96	90	99	100	99	97
EAC	No.	3026	5964	5804	6293	8382	8334	7873	8088	8630	7908	7095	8170
	%	35	68	66	72	96	95	90	92	99	90	81	93
SAG	No.	4861	3316	5417	6165	8277	8261	8513	8350	8634	8756	8683	8400
	%	55	38	62	70	94	94	97	95	99	100	99	96
AZC	No.	5703	2781	7082	6122	8569	7565	8290	8610	8715	8760	8484	8531
	%	65	32	81	70	98	86	94	98	99	100	97	97
TLA	No.	7949	6952	6042	7323	8106	8492	8497	8482	8495	8753	8062	8560
	%	91	79	69	84	93	97	97	97	97	100	92	98
XAL	No.	7728	6128	6764	6823	8204	8600	8476	8696	8638	8756	8580	8376
	%	88	70	77	78	94	98	96	99	99	100	98	96
MER	No.	7354	6263	6546	7383	8198	8335	8410	8489	8707	8760	8423	8610
	%	84	71	75	84	94	95	96	97	99	100	96	98
PED	No.	7895	7689	7041	7973	8348	8627	8671	8367	8716	8760	8681	8499
	%	90	88	80	91	95	98	99	96	99	100	99	97
CES	No.	7086	7344	6859	6700	8086	8385	8487	8072	8718	8760	8702	8369
	%	81	84	78	76	92	96	97	92	100	100	99	96
PLA	No.	6817	7207	6871	7377	8354	8505	8693	8483	8684	8760	8408	8511
	%	78	82	78	84	95	97	99	97	99	100	96	97
HAN	No.	5646	6940	6574	7491	8057	8442	8474	8349	8641	8760	8269	8465
	%	64	79	75	86	92	96	96	95	99	100	94	97
UIZ	No.	4449	5682	4746	7128	7737	8491	7375	7304	8689	8760	8132	8626
	%	51	65	54	81	88	97	84	83	99	100	93	98
BJU	No.			1163	7404	8251	8004	7421	8525	8737	8616	8299	8513
	%			13	85	94	91	84	97	100	98	94	97
TAX	No.				5752	7485	8111	7779	8132	8684	8728	8526	8332
	%				66	85	93	89	93	99	100	97	95
CUA	No.				17	5636	6819	5878	5501	8351	8669	7755	7989
	%				0.19	64	78	67	63	95	99	88	91
TPN	No.				18	5634	6630	5814	5501	8406	8758	8065	7712
	%				0.21	64	76	66	63	96	100	92	88
CHA	No.					5455	5532	5498	5501	8318	8749	8384	8325
	%					62	63	63	63	95	100	95	95
TAH	No.					5650	6972	6042	5500	8467	8760	8512	8368
	%					64	80	69	63	97	100	97	96
SUR	No.											3881	7586
	%											44	87

Tabla A6. Desempeño de CO en el período de 1990 a 2001.

Estación		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
LAG	No.	5921	5616	5935	7272	8286	8034	8267	8511	8733	8757	8689	8467
	%	68	64	68	83	95	92	94	97	100	100	99	97
TAC	No.			64	6642	8053	8190	8494	7797	8627	8759	8737	8456
	%			1	76	92	93	97	89	98	100	99	97
EAC	No.			798	7535	8128	7939	8092	7903	8450	7908	7017	8315
	%			9	86	93	91	92	90	96	90	80	95
TLA	No.	5583	6680	6000	7466	8029	8379	8492	8427	8419	8752	8022	8473
	%	64	76	68	85	92	96	97	96	96	100	91	97
XAL	No.	5886	6786	6627	6598	8149	8557	8472	8640	8485	8755	8530	8544
	%	67	77	75	75	93	98	96	99	97	100	97	98
MER	No.	7956	6326	5985	7465	8164	8404	8275	8407	8711	8759	8477	8609
	%	91	72	68	85	93	96	94	96	99	100	97	98
PED	No.	7317	7678	7304	7612	8412	8361	8572	8182	8682	8760	8462	7939
	%	84	88	83	87	96	95	98	93	99	100	96	91
CES	No.	6750	7127	5463	6506	8368	8286	8574	7979	8657	8757	8496	8416
	%	77	81	62	74	96	95	98	91	99	100	97	96
PLA	No.	6997	7398	7057	7408	8152	7812	8543	8434	8670	8758	8491	8488
	%	80	84	80	85	93	89	97	96	99	100	97	97
HAN	No.				4280	8019	8452	8577	8217	8636	8760	8398	8463
	%				49	92	96	98	94	99	100	96	97
UIZ	No.	5750	5514	4507	6868	7556	8436	7824	7143	8670	8752	8190	8393
	%	66	63	51	78	86	96	89	82	99	100	93	96
ARA	No.	6057	5491	4534	4274	7960	8389	8726	8376	8658	8755	8413	8614
	%	69	63	52	49	91	96	99	96	99	100	96	98
NET	No.	6988	4835	6154	4925	7701	8006	7634	7175	8645	8755	448	
	%	80	55	70	56	88	91	87	82	99	100	5	
IMP	No.	6044	539	3290	6221	8304	7385	8416	8046	8700	8759	8575	8078
	%	69	6	37	71	95	84	96	92	99	100	98	92
BJU	No.	5440	6502	6921	8439	8380	8145	7434	8200	8667	8616	8457	8508
	%	62	74	79	96	96	93	85	94	99	98	96	97
TAX	No.	4681	4807	2700	4595	7259	8025	8143	8061	8561	8728	8473	8566
	%	53	55	31	52	83	92	93	92	98	100	96	98
MIN	No.	6572	5509	6386	5602	7975	5948	6425	5501	8595	8754	6524	7640
	%	75	63	73	64	91	68	73	63	98	100	74	87
CUI	No.	6293	7695	7803	6917	72							
	%	72	88	89	79	1							
TLI	No.				541	5407	6563	6181	5501	8549	8751	8117	8047
	%				6	62	75	70	63	98	100	92	92
ATI	No.				545	5496	5676	6178	5501	8219	8749	6946	6693
	%				6	63	65	70	63	94	100	79	76
VIF	No.				536	5260	6184	6472	5501	8425	8752	8348	8169
	%				6	60	71	74	63	96	100	95	93
SAG	No.						8256	8457	7516	8553	8755	8508	8300
	%						94	96	86	98	100	97	95
VAL	No.						8717	8541	8063	8702	8756	8361	8606
	%						100	97	92	99	100	95	98
AZC	No.						7803	8084	8513	8672	8754	8479	8341
	%						89	92	97	99	100	97	95
CHA	No.						5721	1825					
	%						65	21					
TAH	No.						5689	1823					
	%						65	21					
SUR	No.											4030	7224
	%											46	82

Tabla A7. Desempeño de SO₂ en el período de 1990 a 2001.

Estación		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
VAL	No.	6310	3819	6205	5978	7841	8717	8641	8211	8704	8759	8752	8645
	%	72	44	71	68	90	100	98	94	99	100	100	99
SUR	No.	2714	6011	7666	7142	7614	7488	8022	8020	8670	8757	7730	7130
	%	31	69	87	82	87	85	91	92	99	100	88	81
TAC	No.	5819	7315	5888	6241	8235	8099	8517	7877	8569	8760	8687	8428
	%	66	84	67	71	94	92	97	90	98	100	99	96
EAC	No.	6700	5984	5513	6424	8455	8107	8127	8031	8621	7906	7233	8220
	%	76	68	63	73	97	93	93	92	98	90	82	94
LLA	No.	3109	3318	5076	5296	7463	7901	8675	7916	8570	8759	8395	8366
	%	35	38	58	60	85	90	99	90	98	100	96	96
LPR	No.	4281	5836	7176	2655	7900	8199	8225	7788	8725	8760	8398	8250
	%	49	67	82	30	90	94	94	89	100	100	96	94
LVI	No.	7418	7439	5856	7439	8409	8531	8462	8616	8712	8755	8708	8629
	%	85	85	67	85	96	97	96	98	99	100	99	99
SAG	No.	2498	1851	4222	5122	8283	8105	8589	8109	8634	8757	8608	8019
	%	29	21	48	58	95	93	98	93	99	100	98	92
AZC	No.	5423	3041	6722	5856	8460	7740	8377	8602	8715	8758	8276	8422
	%	62	35	77	67	97	88	95	98	99	100	94	96
TLA	No.	7428	5871	5845	6867	8324	8151	8464	8354	8469	8755	7838	8423
	%	85	67	67	78	95	93	96	95	97	100	89	96
XAL	No.	6924	6572	5839	6083	8041	7899	8337	8511	8580	8754	8213	8222
	%	79	75	66	69	92	90	95	97	98	100	93	94
MER	No.	7072	5741	5983	7120	8007	8031	8461	8451	8683	8759	8479	8330
	%	81	66	68	81	91	92	96	96	99	100	97	95
PED	No.	6168	7035	6340	6530	7988	8147	8604	8286	8722	8760	8520	7977
	%	70	80	72	75	91	93	98	95	100	100	97	91
CES	No.	4489	6816	5891	4268	8100	8048	8497	8031	8684	8760	8679	8135
	%	51	78	67	49	92	92	97	92	99	100	99	93
HAN	No.	2924	6259	6584	5310	7856	8511	8347	8287	8610	8760	8568	8403
	%	33	71	75	61	90	97	95	95	98	100	98	96
ARA	No.			1	2727	7793	7895	8716	8512	8702	8757	8154	8303
	%			0.01	31	89	90	99	97	99	100	93	95
NET	No.				3892	8077	8180	7426	7276	8710	8755	449	
	%				44	92	93	85	83	99	100	5	
TLI	No.				416	5525	6458	6180	5501	8626	8751	8061	7886
	%				5	63	74	70	63	98	100	92	90
ATI	No.				409	5543	5679	6177	5501	8137	8751	6754	6337
	%				5	63	65	70	63	93	100	77	72
VIF	No.				453	5450	6010	6460	5501	8404	8758	8589	8447
	%				5	62	69	74	63	96	100	98	96
TAH	No.				628	5536	6776	6555	5500	8639	8757	8388	8132
	%				7	63	77	75	63	99	100	95	93
LAG	No.						7924	8308	8112	8731	8760	8672	8270
	%						90	95	93	100	100	99	94
PLA	No.						8201	8696	8656	8677	8760	8578	8441
	%						94	99	99	99	100	98	96
UIZ	No.						8477	7986	7215	8669	8759	8174	8277
	%						97	91	82	99	100	93	94
BJU	No.						8040	7925	8480	8733	8616	8570	8168
	%						92	90	97	100	98	98	93
TAX	No.						7871	8026	8053	8664	8726	8578	8317
	%						90	91	92	99	100	98	95

Tabla A8. Desempeño de NO₂ en el período de 1990 a 2001.

Estación		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
TAC	No.				6289	8299	8260	8448	7861	8614	8760	8738	8503
	%				72	95	94	96	90	98	100	99	97
EAC	No.			781	4082	8319	8311	7911	8118	8630	7908	7143	8154
	%			8.89	47	95	95	90	93	99	90	81	93
SAG	No.			1032	5644	8359	8203	8535	8318	8634	8757	8656	8225
	%			12	64	95	94	97	95	99	100	99	94
TLA	No.	6985	6984	7532	6001	8343	8637	8475	8395	8506	8754	8002	8501
	%	80	80	86	69	95	99	96	96	97	100	91	97
XAL	No.	6320	6364	7758	6202	8301	8669	8430	8696	8401	8755	8554	8530
	%	72	73	88	71	95	99	96	99	96	100	97	97
MER	No.	7117	4219	7157	7607	8186	8442	8466	8076	8715	8760	8561	8664
	%	81	48	81	87	93	96	96	92	99	100	97	99
PED	No.	7318	7668	7720	8068	8376	8616	8630	8355	8722	8760	8714	8259
	%	84	88	88	92	96	98	98	95	100	100	99	94
CES	No.	6955	6725	7819	7790	8351	8478	8467	7975	8657	8760	8681	8377
	%	79	77	89	89	95	97	96	91	99	100	99	96
HAN	No.				5702	7883	8470	8508	8369	8594	8760	8653	8635
	%				65	90	97	97	96	98	100	99	99
BJU	No.			139	6130	8420	8102	7509	8449	8741	8616	8616	8507
	%			1.58	70	96	92	85	96	100	98	98	97
TLI	No.				311	5437	6107	5493	5501	8651	8753	8252	7988
	%				3.55	62	70	63	63	99	100	94	91
ATI	No.				310	5556	5474	5490	5501	8207	8751	7005	6900
	%				3.54	63	62	63	63	94	100	80	79
VIF	No.				479	5536	6100	5875	5501	8428	8758	8613	8425
	%				5.47	63	70	67	63	96	100	98	96
PLA	No.						8223	8677	8671	8656	8760	8567	8538
	%						94	99	99	99	100	98	97
LAG	No.						7551	8242	8550	8732	8760	8723	8511
	%						86	94	98	100	100	99	97
AZC	No.						7455	8180	8624	8733	8757	8521	8494
	%						85	93	98	100	100	97	97
UIZ	No.						8507	7852	7338	8689	8756	8176	8651
	%						97	89	84	99	100	93	99
TAX	No.						8120	8135	8137	8685	8728	8600	8577
	%						93	93	93	99	100	98	98
TAH	No.						5481	1514					
	%						63	17					
SUR	No.											4051	7393
	%											46	84

Tabla A9. Desempeño de PM10 en el período de 1995 a 2001.

Estación		1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
LVI	No.	8647	8609	8629	8708	8760	8525	8041
	%	99	98	99	99	100	97	92
TLA	No.	8678	8554	8359	8432	8754	7841	8519
	%	99	97	95	96	100	89	97
XAL	No.	8076	8466	8022	8412	8754	8080	7826
	%	92	96	92	96	100	92	89
MER	No.	8450	8493	8432	8705	8759	8105	8625
	%	96	97	96	99	100	92	98
PED	No.	8512	8588	8176	8715	8760	8599	8201
	%	97	98	93	99	100	98	94
CES	No.	8526	8538	7946	8691	8760	8365	8363
	%	97	97	91	99	100	95	95
NET	No.	8286	7668	7293	8656	8755	448	
	%	95	87	83	99	100	5	
TLI	No.	7558	6183	5500	8616	8754	7387	5782
	%	86	70	63	98	100	84	66
VIF	No.	7370	6472	5501	8392	8757	8001	7596
	%	84	74	63	96	100	91	87
TAH	No.	8050	6553	5501	8426	8755	8067	6584
	%	92	75	63	96	100	92	75
SUR	No.						3436	7268
	%						39	83
EAC	No.						4663	7621
	%						53	87
HAN	No.						4824	8482
	%						55	97
PLA	No.						4602	8245
	%						52	94
SAG	No.						4812	8094
	%						55	92
TAX	No.						4768	8438
	%						54	96

Tabla A10. Desempeño de HR en el período de 1990 a 2001.

Estación		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
TAC	No.	4280	5765	6284	6831	7670	7625	8031	6602	8216	8215	8039	8395
	%	49	66	72	78	88	87	91	75	94	94	92	96
EAC	No.	5337	6444	5620	7493	8214	7923	7028	7129	8069	6148	6667	7994
	%	61	74	64	86	94	90	80	81	92	70	76	91
SAG	No.	2928	2423	5421	7483	7872	7532	8333	7699	8109	6838	8123	7978
	%	33	28	62	85	90	86	95	88	93	78	92	91
TLA	No.	4611	6086	6032	7497	7737	8497	7999	8073	8080	8377	7660	7641
	%	53	69	69	86	88	97	91	92	92	96	87	87
XAL	No.	6487	6704	6943	6709	7592	8510	8078	8584	8250	8173	7831	8219
	%	74	77	79	77	87	97	92	98	94	93	89	94
MER	No.	7555	5570	6447	7482	7579	8139	7973	8026	8415	6680	7437	8404
	%	86	64	73	85	87	93	91	92	96	76	85	96
PED	No.	7854	7332	7311	7953	7971	8416	8575	7716	8479	8642	8056	8247
	%	90	84	83	91	91	96	98	88	97	99	92	94
CES	No.	6341	6602	6309	6583	7698	7863	8023	7016	8374	6401	8007	7723
	%	72	75	72	75	88	90	91	80	96	73	91	88
PLA	No.	6572	7472	6808	7488	8388	8358	8642	8540	8502	8650	8297	8177
	%	75	85	78	85	96	95	98	97	97	99	94	93
HAN	No.	5125	6943	6366	7806	7210	8214	8248	7682	8240	8546	7910	8161
	%	59	79	72	89	82	94	94	88	94	98	90	93
VIF	No.											4853	7152
	%											55	82
CUA	No.											4038	7031
	%											46	80
TPN	No.											3992	6785
	%											45	77
CHA	No.											4025	7684
	%											46	88
TAH	No.											4186	8006
	%											48	91

Tabla A11. Desempeño de TMP en el período de 1990 a 2001.

Estación		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
TAC	No.	6354	7206	5835	6783	7665	7517	8016	6538	8248	8290	8238	8358
	%	73	82	66	77	88	86	91	75	94	95	94	95
EAC	No.	7743	7301	6578	7472	8259	7928	6794	7137	8231	6336	7046	8055
	%	88	83	75	85	94	91	77	81	94	72	80	92
SAG	No.	6019	3674	5427	7498	7869	7469	8197	7691	8086	8135	8448	7996
	%	69	42	62	86	90	85	93	88	92	93	96	91
TLA	No.	8164	6809	6161	7731	7836	8242	7966	8071	8037	8375	7696	8147
	%	93	78	70	88	89	94	91	92	92	96	88	93
XAL	No.	6418	6561	6932	6711	7588	8429	8099	8605	8278	8186	8309	8045
	%	73	75	79	77	87	96	92	98	94	93	95	92
MER	No.	8023	6281	6778	7449	7576	8200	7973	7918	8420	8388	7504	8497
	%	92	72	77	85	86	94	91	90	96	96	85	97
PED	No.	7811	7628	7353	7954	8032	8401	8546	7720	8510	8640	8141	8451
	%	89	87	84	91	92	96	97	88	97	99	93	96
CES	No.	7530	6795	5857	6621	7822	7735	7935	7028	8532	8521	8506	8180
	%	86	78	67	76	89	88	90	80	97	97	97	93
PLA	No.	6475	7561	6873	7488	8397	8185	8580	8558	8496	8650	8328	8460
	%	74	86	78	85	96	93	98	98	97	99	95	97
HAN	No.	6498	7063	6710	7837	7145	8142	7909	7683	8445	8546	8382	8337
	%	74	81	76	89	82	93	90	88	96	98	95	95
VIF	No.											4719	7463
	%											54	85
CUA	No.											4012	7698
	%											46	88
TPN	No.											3746	6794
	%											43	78
CHA	No.											4362	7860
	%											50	90
TAH	No.											4205	8034
	%											48	92

Tabla A12. Desempeño de DV en el período de 1990 a 2001.

Estación		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
TAC	No.	5799	6413	6359	6798	7670	7492	7833	6521	8282	8480	8210	8346
	%	66	73	72	78	88	86	89	74	95	97	93	95
EAC	No.	6791	6829	3040	4778	8245	7886	6728	7126	8235	5178	7045	8017
	%	78	78	35	55	94	90	77	81	94	59	80	92
SAG	No.	4573	3014	5097	7487	7869	7455	8296	7645	8074	7198	7240	7939
	%	52	34	58	85	90	85	94	87	92	82	82	91
TLA	No.	7476	6371	5918	7690	7817	8225	7948	8036	8011	7629	7343	6372
	%	85	73	67	88	89	94	90	92	91	87	84	73
XAL	No.	6736	5403	6821	6654	7204	8425	8087	8588	8243	8183	8292	8416
	%	77	62	78	76	82	96	92	98	94	93	94	96
MER	No.	5915	6002	5683	6547	7516	8195	7941	7874	8405	8385	7596	8353
	%	68	69	65	75	86	94	90	90	96	96	86	95
PED	No.	7273	7355	7223	7872	8067	8396	8513	7711	8505	8630	8335	8469
	%	83	84	82	90	92	96	97	88	97	99	95	97
CES	No.	5667	7037	6059	6619	7793	7751	7910	6979	8525	7562	7784	7900
	%	65	80	69	76	89	88	90	80	97	86	89	90
PLA	No.	5768	6180	6709	6779	8381	8182	8570	8556	8398	8633	8339	8004
	%	66	71	76	77	96	93	98	98	96	99	95	91
HAN	No.	5345	6445	6508	7782	7186	8138	7898	7682	8420	8431	8319	8245
	%	61	74	74	89	82	93	90	88	96	96	95	94
VIF	No.											4824	6405
	%											55	73
CUA	No.											3643	7485
	%											41	85
TPN	No.											3830	5760
	%											44	66
CHA	No.											3060	7611
	%											35	87
TAH	No.											3888	8266
	%											44	94

Tabla A13. Desempeño de VV en el período de 1990 a 2001.

Estación		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
TAC	No.	5799	6413	6359	6798	7670	7492	7833	6521	8282	8480	8210	8346
	%	66	73	72	78	88	86	89	74	95	97	93	95
EAC	No.	6791	6829	3040	4778	8245	7886	6728	7126	8235	5178	7045	8017
	%	78	78	35	55	94	90	77	81	94	59	80	92
SAG	No.	4573	3014	5097	7487	7869	7455	8296	7645	8074	7198	7240	7939
	%	52	34	58	85	90	85	94	87	92	82	82	91
TLA	No.	7476	6371	5918	7690	7817	8225	7948	8036	8011	7629	7343	6372
	%	85	73	67	88	89	94	90	92	91	87	84	73
XAL	No.	6736	5403	6821	6654	7204	8425	8087	8588	8243	8183	8292	8416
	%	77	62	78	76	82	96	92	98	94	93	94	96
MER	No.	5915	6002	5683	6547	7516	8195	7941	7874	8405	8385	7596	8353
	%	68	69	65	75	86	94	90	90	96	96	86	95
PED	No.	7273	7355	7223	7872	8067	8396	8513	7711	8505	8630	8335	8469
	%	83	84	82	90	92	96	97	88	97	99	95	97
CES	No.	5667	7037	6059	6619	7793	7751	7910	6979	8525	7562	7784	7900
	%	65	80	69	76	89	88	90	80	97	86	89	90
PLA	No.	5768	6180	6709	6779	8381	8182	8570	8556	8398	8633	8339	8004
	%	66	71	76	77	96	93	98	98	96	99	95	91
HAN	No.	5345	6445	6508	7782	7186	8138	7898	7682	8420	8431	8319	8245
	%	61	74	74	89	82	93	90	88	96	96	95	94
VIF	No.											4824	6405
	%											55	73
CUA	No.											3643	7485
	%											41	85
TPN	No.											3830	5760
	%											44	66
CHA	No.											3060	7611
	%											35	87
TAH	No.											3888	8266
	%											44	94

Tabla A14. Desempeño de los muestreos de PST en el período de 1990 a 2001.

Estación		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
CES	No.	84	71	60	60	60	61	57	61	60	60	59	61
	%	138	116	98	98	98	100	93	100	98	98	97	100
MER	No.	81	72	60	60	60	60	58	61	59	61	60	61
	%	133	118	98	98	98	98	95	100	97	100	98	100
PED	No.	86	72	61	61	59	61	57	60	61	61	60	61
	%	141	118	100	100	97	100	93	98	100	100	98	100
TLA	No.	84	71	60	61	60	61	58	61	61	60	60	59
	%	138	116	98	100	98	100	95	100	100	98	98	97
XAL	No.	87	72	61	61	60	61	54	61	60	61	60	60
	%	143	118	100	100	98	100	89	100	98	100	98	98
NTS	No.	62	61	61	61	60	61	32	43	59	35	47	
	%	102	100	100	100	98	100	52	70	97	57	77	
UIZ	No.	55	61	61	61	60	61	41	32	61	61	52	
	%	90	100	100	100	98	100	67	52	100	100	85	
LPR	No.	59	60	60	61	60	61	42	24	60	34		
	%	97	98	98	100	98	100	69	39	98	56		
MCM	No.	76	69	61	61	60	61	41	41	61	35		
	%	125	113	100	100	98	100	67	67	100	57		
LOM	No.	57	58	60	61	60	61	40	32	53	35		
	%	93	95	98	100	98	100	66	52	87	57		
SHA	No.	60	60	60	60	60	61	42	32	60	35		
	%	98	98	98	98	98	100	69	52	98	57		
FAN	No.	87	70	61	61	60	61	41					
	%	143	115	100	100	98	100	67					
HAN	No.	63	61	61	61	60	61	41					
	%	103	100	100	100	98	100	67					
POT	No.	61	61	61	61	60	61	41					
	%	100	100	100	100	98	100	67					
TAX	No.	62	61	61	60	60	61	41					
	%	102	100	100	98	98	100	67					
TEC	No.	86	72	61	61	60	61	42					
	%	141	118	100	100	98	100	69					
CFE	No.	83	72	61	61	60	61	42					
	%	136	118	100	100	98	100	69					
XCH	No.	61	57	61	59	60	60	41	29	60	35		
	%	100	93	100	97	98	98	67	48	98	57		
CHA	No.	47	57	60	61	59	60	29					
	%	77	93	98	100	97	98	48					
CUI	No.												
	%												
UMV	No.			2									
	%			3									
CJ	No.												
	%												
DCA	No.		6										
	%		10										
POZ	No.				7								
	%				11								

Tabla A15. Desempeño de los muestreos de Pb-PST en el período de 1990 a 2001.

Estación		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
CES	No.	81	71	56	60	60	56	57	61	60	60	60	53
	%	132.8	116.4	91.8	98.4	98.4	91.8	93.4	100	98.4	98.4	98.4	87
MER	No.	78	74	56	61	60	56	58	61	59	61	61	53
	%	127.9	121.3	91.8	100	98.4	91.8	95.1	100	96.7	100	100	87
PED	No.	83	70	56	61	59	56	57	60	61	61	61	53
	%	136.1	114.8	91.8	100	96.7	91.8	93.4	98.4	100	100	100	87
TLA	No.	82	71	55	61	60	56	58	61	61	60	61	52
	%	134.4	116.4	90.2	100	98.4	91.8	95.1	100	100	98.4	100	85
XAL	No.	84	71	56	61	60	56	54	61	59	61	61	52
	%	137.7	116.4	91.8	100	98.4	91.8	88.5	100	96.7	100	100	85
MCM	No.	73	65	53	60	59	56	41	41	61	35		
	%	119.7	106.6	86.9	98.4	96.7	91.8	67.2	67.2	100	57.4		
FAN	No.	84	69	56	61	60	56	41					
	%	137.7	113.1	91.8	100	98.4	91.8	67.2					
TEC	No.	83	71	56	60	60	56	42					
	%	136.1	116.4	91.8	98.4	98.4	91.8	68.9					
CFE	No.	80	71	56	61	60	56	42					
	%	131.1	116.4	91.8	100	98.4	91.8	68.9					
NTS	No.						38	32	43	58	35	47	
	%						62.3	52.5	70.5	95.1	57.4	77.0	
UIZ	No.						38	41	31	61	61	52	
	%						62.3	67.2	50.8	100	100	85.2	
LPR	No.						38	42	24	59	34		
	%						62.3	68.9	39.3	96.7	55.7		
LOM	No.						38	40	32	53	35		
	%						62.3	65.6	52.5	86.9	57.4		
SHA	No.						38	42	32	60	35		
	%						62.3	68.9	52.5	98.4	57.4		
XCH	No.		28	5			37	41	29	60	35		
	%		45.9	8.2			60.7	67.2	47.5	98.4	57.4		
CHA	No.		21	49	61	59	55	29					
	%		34.4	80.3	100	96.7	90.2	47.5					
HAN	No.						38	41					
	%						62.3	67.2					
TAX	No.						38	41					
	%						62.3	67.2					
POT	No.						38	41					
	%						62.3	67.2					
UMV	No.			7									
	%			11.5									
POZ	No.				7								
	%				11.5								

Tabla A16. Desempeño de los muestreos de PM10 en el período de 1990 a 2001.

Estación		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001*
CES	No.	79	54	57	59	60	60	57	61	59	61	60	61
	%	130	89	93	97	98	98	93	100	97	100	98	100
MER	No.	74	55	57	59	59	60	58	61	61	61	61	61
	%	121	90	93	97	97	98	95	100	100	100	100	100
PED	No.	81	54	57	60	59	61	57	60	61	61	61	61
	%	133	89	93	98	97	100	93	98	100	100	100	100
TLA	No.	68	54	57	60	60	61	58	61	61	61	61	61
	%	111	89	93	98	98	100	95	100	100	100	100	100
XAL	No.	79	55	57	60	60	61	54	60	60	61	60	60
	%	130	90	93	98	98	100	89	98	98	100	98	98
LOM	No.								41	53	35	7	61
	%								67	87	57	11	100
LPR	No.								24	60	35	7	61
	%								39	98	57	11	100
MCM	No.								41	61	35	7	61
	%								67	100	57	11	100
NTS	No.								46	60	35	54	59
	%								75	98	57	89	97
SHA	No.								41	61	35	7	61
	%								67	100	57	11	100
UIZ	No.								41	61	61	59	61
	%								67	100	100	97	100
XCH	No.								29	61	35		
	%								48	100	57		
HAN	No.											7	61
	%											11	100

Tabla A17. Desempeño de los muestreos de Pb-PM10 en el período de 1990 a 2001.

Estación		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
CES	No.	76	69	56	60	50	55	57	61	59	61	61	53
	%	125	113	92	98	82	90	93	100	97	100	100	87
MER	No.	73	71	55	60	50	55	58	61	61	61	61	53
	%	120	116	90	98	82	90	95	100	100	100	100	87
PED	No.	78	69	56	61	49	56	57	60	61	61	61	53
	%	128	113	92	100	80	92	93	98	100	100	100	87
TLA	No.	66	70	56	61	50	56	58	61	61	61	61	53
	%	108	115	92	100	82	92	95	100	100	100	100	87
XAL	No.	78	71	53	60	50	56	54	60	59	61	61	53
	%	128	116	87	98	82	92	89	98	97	100	100	87
MCM	No.								41	61	35	7	12
	%								67	100	57	11	20
NTS	No.								46	59	35	54	14
	%								75	97	57	89	23
UIZ	No.								42	61	61	61	14
	%								69	100	100	100	23
LPR	No.								24	59	35	7	14
	%								39	97	57	11	23
LOM	No.								41	53	35	7	14
	%								67	87	57	11	23
SHA	No.								41	61	35	7	14
	%								67	100	57	11	23
XCH	No.								29	61	35		
	%								48	100	57		
HAN	No.											7	14
	%											11	23

Tabla A18. Estaciones de monitoreo de la REDDA y técnicas de muestreo.

Estación	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
XCH/CEA	DT	DH	DH	DH	DH	—						
CES	DT	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
CHA	—	—	—	—	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DH	—
FAN/DIC	DT	DH	DH	DH	DH	DH						
EAJ	—	—	—	—	—	—	—	—	DT	DT	DH	—
EDL	—	—	—	—	—	—	—	—	DH	DH	DH	DH
SHA/IBM	DT	DH	DH	—								
LBFQH	—	—	—	—	—	—	—	DH	DH	DH	DH	DH
LAB/LBFQT	—	—	—	—	—	DT	DT	DT	DT	DT	DT	—
LOM	DT	DH	DH	DH	DH	DH						
MPA	—	—	—	—	—	—	—	—	DT	DH	DH	DH
NET/NTS	DT	DH	DH	DH	DH	—						
PAR	—	—	—	—	—	—	—	—	DT	DH	DH	DH
PED	DT	DH	—	—	—	—						
MCM/RAMA/ PSC	DT	DH	DH	DH	DH	DH						
SNT	—	—	—	—	—	—	—	—	DT	DT	DH	DH
TEC	DT	DH	DH	DH	DH	DH						
TLA	—	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DH	DH	DH	DH	DH
XAL	—	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DH	DH	DH	DH	—

Se reubicaron varias estaciones: en 1997 MCM en RAMA, en 1998 XCH en CEA, FAN en DIC y SHA en IBM

Se renombraron otras tantas: en 1994 NET por NTS, en 1997 LAB por LBFQ, y en 2000 RAMA por PSC

Durante el periodo 1997–2000 la estación LBFQ monitoreo con ambas técnicas (LBFQT y LBFQH)

Simbología de la técnica de muestreo: DT Depósito Total, DH Depósito húmedo-seco

ANEXO 4. ACCIONES INSTRUMENTADAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AIRE EN LA ZMVM, 1986 A 2001

Los gobiernos estatales y federal, a lo largo de las décadas han implementado acciones dirigidas al control y vigilancia de la calidad del aire en la ZMVM, con estricto apego a la gestión ambiental interpuesta para este fin, es por ello que a continuación se presentan dichas acciones considerando el período de vigencia de cada programa implementado:

PROGRAMA	VIGENCIA
• Programa Coordinado para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México (PCMCA).	1986–1990
• Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (PICCA).	1990–1995
• Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000 (PROAIRE).	1996–2000

Tabla A19. Acciones implementadas en la ZMVM y contaminantes ambientales que involucran (1986–2001).

AÑO	ACCIONES	Contaminante involucrado						
		O ₃	NO _x	CO	SO ₂	PST	Pb	HC
1986	Decreto del 14 de febrero que establece las 21 medidas para controlar la contaminación ambiental.	X	X	X	X	X	X	X
	Se fomentó el uso de gas natural en el sector industrial y termoeléctricas.	X	X		X	X		
	Se inició la distribución de diesel desulfurado especial con un contenido de azufre en peso de 0.5%.				X		X	
	Se establece un rango del contenido de tetra-etilo de plomo de 0.5 a 1.0 ml/gal en lugar del límite máximo especificado de 3.5 ml/gal.						X	
	Se sustituye el combustóleo pesado con un contenido de azufre en peso de entre 3.5-3.8%, por combustóleo ligero especial del 3%.				X			
1987	Se da a conocer el Programa "100 acciones necesarias contra la contaminación".	X	X	X	X	X	X	X
	Inicia la sustitución gradual de combustóleo por gas natural en las termoeléctricas del Valle de México.	X	X		X	X		
	Incremento de 161.3 km en el transporte eléctrico.	X	X	X	X	X	X	X
	Restauración ecológica en Xochimilco.					X		
1988	Publicación de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.	X	X	X	X	X	X	X
	De 1993 a 1988 se plantaron 30 millones de arboles en la ZMVM.					X		
1989	Inicia el Programa obligatorio de verificación vehicular utilizando BAR-84.			X		X		X
	Inicia el Programa "Hoy No Circula".	X	X	X	X	X	X	X

Tabla A19. Acciones implementadas en la ZMVM y contaminantes ambientales que involucran (1986–2001) continuación.

AÑO	ACCIONES	Contaminante involucrado						
		O ₃	NOx	CO	SO ₂	PST	Pb	HC
1990	Se instrumenta el programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (PICCA).	X	X	X	X	X	X	X
	Se sustituye la gasolina Extra Plus por la Pemex Magna Sin.						X	
	Inicia el traslado de la industria altamente contaminante fuera de la ZMVM.	X	X	X	X	X		X
1991	Se introduce al comercio, automóviles con convertidor catalítico de dos vías.	X		X				X
	Se reduce el rango especificado de contenido de tetra-etilo de plomo en las gasolinas Nova y Nova Plus, en aproximadamente un 50%, de 0.5-1.0 ml/gal a 0.3-0.54 ml/gal.						X	
	Se prohibió el uso de combustibles industriales cuyo contenido de azufre sea mayor al 2%, para lo cual se sustituyó el combustóleo ligero por gasóleo industrial con 2% en peso máximo de azufre”.				X			
	Se cerró la Refinería “18 de Marzo”.	X	X	X	X	X	X	X
1992	Las termoeléctricas consumen al 100% gas natural.	X	X		X	X		
	Se establece una nueva especificación en el contenido de tetraetilo de plomo en las gasolinas nova y nova plus de 0.3 a 0.2 ml/gal y en todas las gasolinas se fijaron valores máximos en volumen de contenido de aromáticos (30%), olefinas (15) y benceno (2%) y se estableció un nuevo rango de PVR de 6.5-8.5 psi en lugar de 7-9.5 psi.						X	
1993	Se sustituye el diesel desulfurado con un contenido de azufre en peso de 0.5% por PEMEX diesel con un contenido máximo de 0.05%.				X			
	Se llevó a cabo la instalación de equipo anticontaminante en 3,500 unidades de la ExRuta 100.	X	X	X		X		X
	Se incorpora el convertidor catalítico de tres vías en todos los vehículos nuevos, junto con los sistemas de inyección de combustible.	X	X	X				X
1994	Entra en vigor la NOM 085 y 086, que establece los límites de emisión permisibles en la industria y la calidad de los combustibles.	X	X		X	X		
	Como medida para la temporada invernal se reducen los límites máximos de aromáticos, olefinas, benceno en las gasolinas sin plomo y además en las gasolinas con plomo se redujo también el tetraetilo de plomo.						X	X
1995	PEMEX Refinación incorporó sistemas de recuperación de vapores (fase 0), en 4 terminales de distribución y almacenamiento de gasolina.							X
1996	Se publica el “Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000”.	X	X	X	X	X	X	X
	En la termoeléctrica Valle de México, se modificó el diseño del sistema de aire y gases en la combustión de los generadores de vapor.	X	X	X		X		X
	Se modifica el Programa Hoy No Circula, introduciendo hologramas: 0, 1 y 2.	X	X	X	X	X	X	X

Tabla A19. Acciones implementadas en la ZMVM y contaminantes ambientales que involucran (1986–2001) continuación.

AÑO	ACCIONES	Contaminante involucrado						
		O ₃	NOx	CO	SO ₂	PST	Pb	HC
1996	Se aplicó una nueva regulación a las gasolinas, limitando de manera importante: la presión de vapor, el contenido de olefinas, aromáticos, benceno y azufre, para lo cual Pemex introdujo la gasolina PEMEX Premium.	X			X			X
	Se concluyó la instalación de Sistemas de Recuperación de Vapores en tanques de almacenamiento y descarga de combustibles (fase 0 y 1).	X						X
1997	Se retira del mercado la gasolina con Pb, Nova Plus en la ZMVM.						X	
	El diesel industrial es sustituido por diesel industrial bajo en azufre (0.05%).				X			
	PEMEX sustituyó el gasóleo Industrial con 2% de azufre por un combustible industrial cuyo contenido máximo en peso de azufre es del 1%.				X			
	Introducción de transporte eléctrico dedicados a la distribución de refrescos y alimentos perecederos en el primer cuadro de la Ciudad de México.	X	X	X	X	X	X	X
	PEMEX puso a la venta la nueva gasolina Pemex Magna Reformulada, que sustituyó a la PEMEX Magna.	X					X	X
	Se moderniza el Programa de Verificación Vehicular con la introducción de equipo BAR 97, iniciando la medición de NOx.	X	X	X		X		X
1998	Se consolida la instalación de sistemas de recuperación de vapores en las gasolineras.	X						X
	Entro en vigor para el sector industrial la aplicación de la segunda etapa de los límites de emisión de la NOM-085-ECOL-1994, los cuales son más estrictos.	X	X		X	X		
	Inicia el programa piloto de Gas Natural Comprimido (GNC) para vehículos de pasajeros y de carga de la ZMVM.	X	X	X	X	X	X	X
	Se modifica el Programa Hoy No Circula, introduciendo el holograma: doble cero.	X	X	X	X	X	X	X
	Se fortalece la reforestación, la cual tiene como meta la plantación de 9.0 millones de árboles en 7 años.					X		
1999	Restauración de la zona noroeste del Valle de México.					X		
	Inicia el programa para mitigar la emisión de partículas suspendidas en el Valle de México.					X		
	El GDF hizo entrega de 100 nuevos autobuses que se incorporarán al transporte público de pasajeros.	X	X	X		X		X
	Inicia el Programa Integral de Reducción de Emisiones Contaminantes (PIREC), para sustituir los convertidores catalíticos.	X	X	X				X
	Se pone en funcionamiento la línea B del Sistema de Transporte Colectivo (METRO), en el tramo de Buena Vista a Villa de Aragón.	X	X	X	X	X	X	X
2000	El gobierno francés otorgó recursos al D.F., para que 860 microbuses de transporte público usaran GNC (año-modelo 1992 y 1993).	X	X	X	X	X	X	X

Tabla A19. Acciones implementadas en la ZMVM y contaminantes ambientales que involucran (1986–2001) continuación.

AÑO	ACCIONES	Contaminante involucrado						
		O ₃	NO _x	CO	SO ₂	PST	Pb	HC
2000	Se amplió el sistema de trolebuses de la Ciudad de México con 200 nuevas unidades.	X	X	X	X	X	X	X
	De 1996 al 2000 el GEM renovó 52,608 unidades del transporte público	X	X	X		X		X
	Se reforestó la zona Chinampera y se dio mantenimiento a la zona lacustre en Xochimilco.					X		
	Se pone en funcionamiento el segundo tramo de la línea B del Sistema de Transporte Colectivo (METRO), que va de Continentes a Ciudad Azteca.	X	X	X	X	X	X	X
2001	En el D. F., se adquieren 1,033 unidades vehiculares de uso intensivo que utilizan gas natural.	X	X	X	X	X	X	X
	El GDF compro 881 autobuses, que se incorporaron a la Red de Transporte Público de Pasajeros y retiró de la circulación 361 autobuses viejos.	X	X	X	X	X	X	X

Tabla A20. Normas Oficiales Mexicanas relacionadas con la calidad del aire en la ZMVM (1995–2000).

TIPO	AÑO PUBLICACIÓN	NORMAS
Monitoreo Ambiental	1993	NOM-034-ECOL-1993. Establece los métodos de medición para determinar la concentración de monóxido de carbono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.
	1993	NOM-035-ECOL-1993. Establece los métodos de medición para determinar la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente y el procedimiento para la calibración de los equipos de medición.
	1993	NOM-036-ECOL-1993. Establece los métodos de medición para determinar la concentración de ozono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.
	1993	NOM-037-ECOL-1993. Establece los métodos de medición para determinar la concentración de bióxido de nitrógeno en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.
	1993	NOM-038-ECOL-1993. Establece los métodos de medición para determinar la concentración de bióxido de azufre en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.
Industria (Fuentes fijas)	1993	NOM-039-ECOL-1993. Plantas productoras de ácido sulfúrico. (Bióxido y Trióxido de Azufre)
	1993	NOM-040-ECOL-1993. Fabricación de cemento. (Emisiones Fugitivas)
	1993	NOM-043-ECOL-1993. Partículas sólidas provenientes de Fuentes Fijas.
	1993	NOM-046-ECOL-1993. Procesos de producción de ácido dodecibencensulfónico en Fuentes Fijas.
	1993	NOM-051-ECOL-1993. Gasóleo industrial que se consume por Fuentes Fijas en la ZMCM.
	1995	NOM-075-ECOL-1995. Compuestos orgánicos volátiles provenientes del proceso de separadores agua-aceite de las refinerías de petróleo.
	1994	NOM-085-ECOL-1994. Combustibles para equipo de calentamiento indirecto y directo por combustión.
	1994	NOM-086-ECOL-1994. Contaminación atmosférica especificaciones sobre protección ambiental que deben reunir los combustibles fósiles líquidos y gaseosos que se usan en Fuentes Fijas y Móviles.
	1995	NOM-092-ECOL-1995. Instalación de sistemas de recuperación de vapores de gasolina en estaciones de servicio y de autoconsumo en el Valle de México.
	1995	NOM-093-ECOL-1995. Sistemas de recuperación de vapores de Gasolina en estaciones de servicio y autoconsumo. (Método de prueba)
	1996	NOM-097-ECOL-1995. Material particulado y óxidos de nitrógeno en los procesos de fabricación de vidrio en el país.
	1998	NOM-105-ECOL-1996. Que establece los niveles máximos permisibles de emisiones a la atmósfera de partículas sólidas totales y compuestos de azufre reducido total provenientes de los procesos de recuperación de químicos de las plantas de fabricación de celulosa.
	1998	NOM-121-ECOL-1997. Que establece los límites máximos permisibles de emisión a la atmósfera de compuestos orgánicos volátiles (COV's) provenientes de las operaciones de recubrimiento de carrocerías nuevas en planta de automóviles, unidades de uso múltiple, de pasajeros y utilitarios; carga y camiones ligeros, así como el método para calcular sus emisiones.
	1999	NOM-123-ECOL-1998. Que establece el contenido máximo permisible de compuestos orgánicos volátiles (COV's), en la fabricación de pinturas de secado al aire base disolvente para uso doméstico y los procedimientos para la determinación del contenido de los mismos en pinturas y recubrimientos.
Vehículos (Fuentes móviles)	1999	NOM-041-ECOL-1999. Vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible (Gases).
	1999	NOM-042-ECOL-1999. Vehículos automotores nuevos en planta con peso bruto vehicular que no exceda los 3,856 kilogramos.
	2000	NOM-047-ECOL-1993. Que establece las características del equipo y el procedimiento de medición para la verificación de los niveles de emisión de contaminantes, provenientes de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos
	1993	NOM-044-ECOL-1993. Motores nuevos que usan diesel, con peso bruto vehicular mayor a 3,857 kilogramos.
	1997	NOM-045-ECOL-1996. Vehículos automotores en circulación que usan diesel como combustible.
	1993	NOM-048-ECOL-1993. Motocicletas en circulación que utilizan gasolina o mezcla de gasolina-aceite como combustible.
	1993	NOM-049-ECOL-1993. Motocicletas en circulación que usan gasolina o mezcla de gasolina-aceite como combustible.
	1993	NOM-050-ECOL-1993. Vehículos automotores en circulación que usan gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles.
	1995	NOM-076-ECOL-1995. Emisión de hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno provenientes del escape, así como de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible, que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y otros combustibles alternos y que se utilizaran para la propulsión de vehículos automotores con peso bruto vehicular mayor de 3,857 kilogramos nuevos en planta.
	1995	NOM-077-ECOL-1995. Procedimiento de medición para la verificación de los niveles de emisión de la opacidad del humo proveniente del escape de los vehículos automotores en circulación que usan diesel como combustible.

Tabla A20. Normas Oficiales Mexicanas relacionadas con la calidad del aire en la ZMVM (1995–2000) continuación.

TIPO	AÑO PUBLICACIÓN	NORMAS
Calidad de Combustibles	1994	NOM-086-ECOL-1994. Combustibles Líquidos y Fósiles para Fuentes Fijas y Móviles.
Impacto Ambiental	1998	NOM-117-ECOL-1998. Que establece las especificaciones de protección ambiental para la instalación y mantenimiento mayor de los sistemas para el transporte y distribución de hidrocarburos y petroquímicos en estado líquido y gaseoso, que se realicen en derechos de vía terrestres existentes, ubicados en zonas agrícolas, ganaderas y eriales.
De Emergencia	1998	NOM-EM-132-ECOL-1998. Establece las características del equipo y el procedimiento de medición para la verificación de los límites de emisión de contaminantes, provenientes de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos.
	1998	NOM-EM-127-ECOL-1998. Establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible.
Comisión reguladora de Energía	1997	NOM-001-SECRE-97. Sobre la calidad del gas natural.
	1997	NOM-002-SECRE-97. Sobre instalaciones para el aprovechamiento del gas natural.
	1997	NOM-003-SECRE-97. Sobre la construcción y mantenimiento de sistemas de distribución de gas natural.
	1997	NOM-004-SECRE-97. Sobre gas natural licuado e instalaciones vehiculares.
	1999	NOM-005-SECRE-97. Sobre gas natural licuado y estaciones de servicio.
	1999	NOM-007-SECRE-99. Sobre transporte de gas natural.
Secretaría de Economía	1996	NOM-001-SEDG-1996. Plantas de almacenamiento para gas L.P. diseño y construcción.
	1999	NOM-002-SEDG-1999. Bodegas de distribución de gas L.P. en recipientes portátiles. Diseño, construcción y operación.
	1999	NOM-011/1-SEDG-1999. Condiciones de seguridad de los recipientes portátiles para contener Gas L.P..

ANEXO 5. ANÁLISIS DE TENDENCIA

Figura A1. Comportamiento no homogéneo de NOx en diferentes estaciones de la ZMVM (1990–2001).

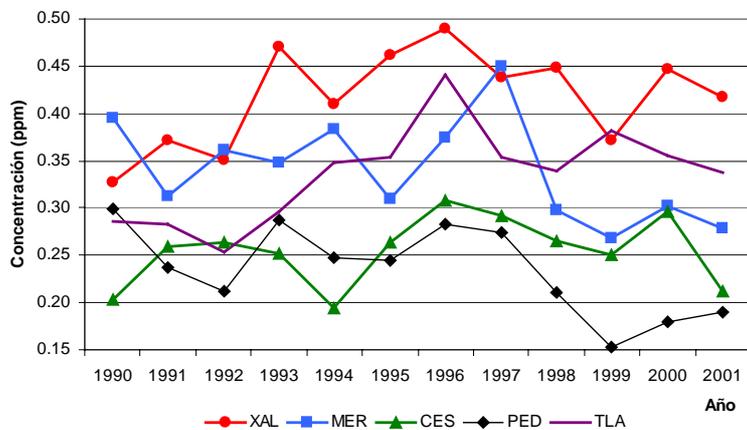


Tabla A21. Análisis de tendencia de SO₂ para algunas estaciones de la ZMVM (a un nivel de confianza del 95%).

	LVI	MER	CES	PED	TLA
Período 1990 a 2001					
Tendencia	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Porcentaje de cambio	-98%	-83%	-77%	-84%	-39%
Período 1990 a 1995					
Tendencia	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Porcentaje de cambio	-69%	-97%	-76%	-81%	-74%
Período 1995 a 2001					
Tendencia	Sí	No	No	No	Sí
Porcentaje de cambio	-51%	---	---	---	85%

ANEXO 6. DISTRIBUCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DIARIAS POR CONTAMINANTE EN LA ZMVM PARA EL PERÍODO 1990–2001

Tabla A22. Distribución de los máximos diarios de O₃ en la ZMVM (1990–2001) para diferentes límites.

Límite de referencia	ppm		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Límite permisible en la NOM	>0.11	No.	325	335	317	320	340	319	317	311	305	286	308	273
		%	92	97	90	88	93	87	87	85	84	78	84	75
Límite de Precontingencia	>0.233	No.	99	165	101	73	88	85	57	38	50	27	10	6
		%	28	48	29	20	24	23	16	10	14	7	3	2
Límite de Contingencia	>0.282	No.	30	72	37	16	13	14	8	4	5	3	0	0
		%	8	21	11	4	4	4	2	1	1	1	0	0
PCAA (0.257ppm)	>0.257	No.	61	113	66	45	43	41	27	19	19	8	3	2
		%	17	33	19	12	12	11	7	5	5	2	1	1
Datos Faltantes		No.	10	20	14	2	0	0	0	0	0	0	0	0
		%	3	5	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla A23. Distribución de los máximos diarios del promedio móvil de 8 horas de O₃ en la ZMVM (1990–2001) para diferentes límites.

Límite de referencia	ppm		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Límite permisible en la NOM	>0.080	No.	312	328	300	290	326	301	294	272	272	265	275	114
		%	88	97	88	83	89	83	81	75	75	73	75	31
Datos Faltantes		No.	11	26	27	15	0	1	2	0	1	0	0	0
		%	3	7	7	4	0	0.3	1	0	0.3	0	0	0

Tabla A24. Distribución de los máximos diarios de SO₂ en la ZMVM (1990–2001) para diferentes límites.

Límite de referencia	ppm		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Límite permisible en la NOM	>0.130	No.	11	8	29	0	0	0	0	0	0	0	1	8
		%	3	2	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3
Datos Faltantes		No.	11	16	29	8	0	0	0	0	0	0	0	0
		%	3	4	8	2	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla A25. Distribución de los máximos diarios de NO₂ en la ZMVM (1990–2001) para diferentes límites.

Límite de referencia	ppm		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Límite permisible en la NOM	>0.210	No.	31	16	8	29	28	32	84	38	30	19	23	1
		%	9	5	2	8	8	9	23	10	8	5	6	0.3
Datos Faltantes		No.	17	21	13	2	0	0	0	0	0	0	0	0
		%	5	6	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla A26. Distribución de los muestreos de PM₁₀ en la ZMVM (1990–2001) para diferentes límites.

Límite de referencia		µg/m ³	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Propuesta de modificación a la NOM	>120	No.	71	32	34	48	47	42	46	38	41	46	26	17
		%	88	58	60	80	78	69	79	62	67	75	43	28
Límite permisible en la NOM	>150	No.	58	13	21	41	33	30	42	28	27	33	16	5
		%	72	24	37	68	55	49	72	46	44	54	26	8
Límite de Precontingencia	>270	No.	10	1	3	7	3	3	5	5	3	3	1	0
		%	12	2	5	12	5	5	9	8	5	5	2	0
Límite de Contingencia	>300	No.	2	0	1	1	1	1	1	3	0	2	1	0
		%	2		2	2	2	2	2	5		3	2	0
Datos Faltantes		No.	40	67	4	1	0	0	4	0	0	0	0	0
		%	33	55	7	2	0	0	6	0	0	0	0	0

Tabla A27. Distribución de los máximos diarios de CO en la ZMVM (1990–2001) para diferentes límites.

Límite de referencia		ppm	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Límite permisible en la NOM	>11	No.	141	93	56	17	11	4	6	1	4	2	1	0
		%	40	27	17	5	3	1	2	0.3	1	1	0.3	0
Datos Faltantes		No.	11	26	33	16	1	1	1	0	1	0	0	0
		%	3	7	9	4	0.3	0.3	0.3	0	0.3	0	0	0

Tabla A28. Distribución de los muestreos de PST en la ZMVM (1990–2001) para diferentes límites.

Límite de referencia		µg/m ³	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Propuesta de modificación a la NOM	>210	No.	85	72	61	55	53	52	52	59	56	59	56	47
		%	98	100	100	90	88	85	90	97	92	97	93	77
Límite permisible en la NOM	>260	No.	83	72	61	54	49	51	45	51	51	57	47	34
		%	95	100	100	89	82	84	78	84	84	93	78	56
Datos Faltantes		No.	34	50	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
		%	28	41	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0

ANEXO 7. VARIABLES CLIMÁTICAS

La permanencia de los contaminantes atmosféricos en una región, depende en gran medida de las condiciones meteorológicas que predominen. Es por ello, que se consideró pertinente analizar las variables que dan como resultado tales condiciones, como son: la temperatura, humedad relativa, precipitación pluvial, inversiones térmicas y velocidad del viento; las cuales están relacionadas entre sí.

Como se aprecia en la Figura 32 del Capítulo 7, la temperatura disminuye en los meses de diciembre y enero, considerados los más fríos del año por la persistencia de masas de aire polar; en cambio, se incrementa en los meses de febrero a mayo por la presencia del aire caliente normalmente de tipo continental proveniente de las regiones tropicales; siendo el mes de mayo el que registra las máximas temperaturas y posteriormente comienza a declinar, debido a que la masa de aire tropical comienza a ser húmeda, por lo que en este período, se forma mayor cantidad de nubes dando lugar a que se presente precipitación pluvial generalmente durante las tardes.

Así mismo, conforme avanzan los meses del año la temperatura va descendiendo, ya que los sistemas meteorológicos tropicales como tormentas tropicales, huracanes y grandes áreas nubosas, contribuyen al incremento en la precipitación pluvial³⁸ principalmente en agosto y septiembre, meses en que se presenta el mayor número de huracanes; en el mes de noviembre (posterior a la temporada de huracanes) se registra un ligero repunte en la temperatura debido a la alternancia entre masas de aire frío y masas de aire caliente. En el mes de diciembre se registran masas de aire polar, propiciando con ello la disminución de la temperatura, la precipitación y la humedad relativa.

Por su parte, en condiciones normales en la tropósfera la temperatura disminuye cuando la altura aumenta; sin embargo cuando no se da esta relación se dice que se presenta una *inversión térmica*, es decir, la temperatura se incrementa con la altura. Por las características fisiográficas de la ZMVM, las inversiones térmicas están relacionadas con las masas de aire que predominan sobre ésta; así, los meses que presentan mayor número de inversiones térmicas son en los que predominan las masas de aire polar con bajo contenido de humedad (meses invernales).

En lo que respecta a la velocidad del viento, se puede afirmar que en la superficie o en cualquier nivel de la tropósfera en que se registre, depende del sistema meteorológico que predomine y de la intensidad de éste (débil o fuerte). En el caso del viento horizontal en superficie, se considera entonces que el viento débil esta asociado a sistemas de alta presión y el viento fuerte se asocia con sistemas de baja presión.

En la ZMVM los meses de mayor frío se deben a las masas de aire polar que están asociadas con grandes sistemas de alta presión, siendo estos últimos los responsables de que las masas de aire frío sean desplazadas, desde las áreas polares hacia las áreas tropicales, de tal manera que cuando los sistemas de alta presión llegan a la ZMVM provocan que disminuya la velocidad del viento. Como se mencionó en el Capítulo 7, durante los meses más fríos del año los contaminantes atmosféricos y en especial el O₃, registran concentraciones más elevadas que en el resto del año, además de que permanecen por mayor número de horas en estos valores.

Con fundamento en lo ya comentado, se precisa que existe una relación directa entre la temperatura y la velocidad del viento³⁹ a través de extensos sistemas meteorológicos, de la misma manera entre la humedad relativa y la precipitación pluvial⁴⁰. Por el contrario, entre la humedad relativa y el número de inversiones térmicas, y entre la precipitación pluvial y el número de inversiones térmicas⁴¹ se observa una relación inversa, como lo muestra la Figura A3.

³⁸ La presencia de los sistemas meteorológicos tropicales conforma una estructura de flujo del viento, que favorece en mayor medida el transporte de humedad, suficiente para la formación de nubosidad y precipitación pluvial.

³⁹ En promedio, los meses más fríos registran menor intensidad de viento y los meses más cálidos mayor intensidad.

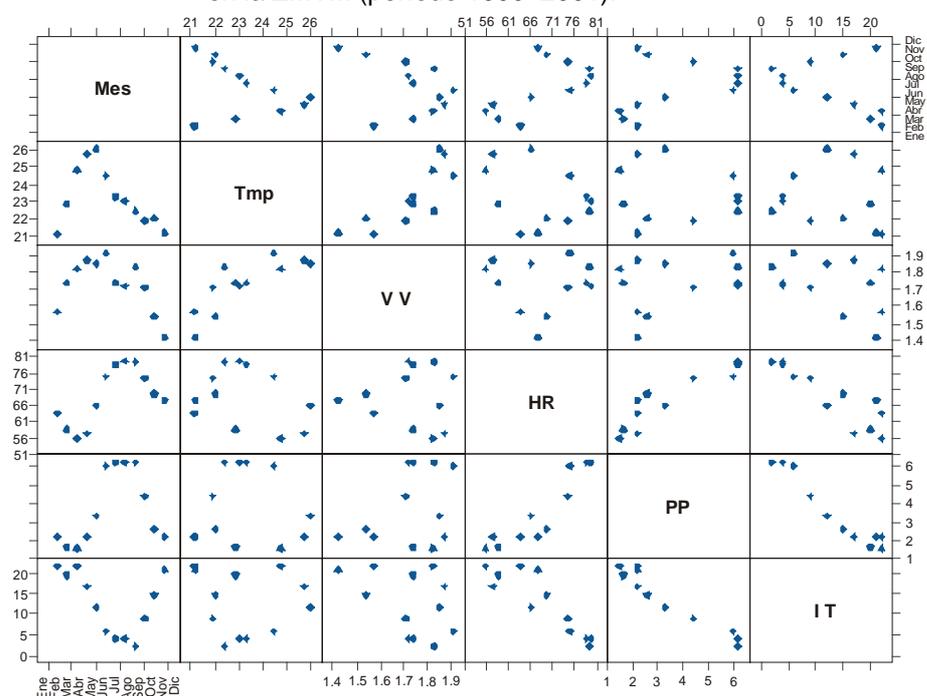
⁴⁰ En promedio, los meses con mayor precipitación registran mayor humedad y los meses más secos menor humedad.

⁴¹ En promedio, a menor precipitación pluvial mayor número de inversiones térmicas y viceversa.

Cabe mencionar que no todas estas asociaciones son de tipo causa–efecto; en el caso de la humedad relativa y la precipitación pluvial es necesario recordar que para la formación de nubes es necesario que exista suficiente humedad en el ambiente por lo cual esta si es una relación de tipo causa–efecto; sin embargo, en el caso de la temperatura y la velocidad del viento la asociación se debe a los efectos de los sistemas de alta presión que se presentan en la ZMVM.

Así mismo, para que se forme una inversión térmica en la ZMVM es necesario que haya fuga de radiación desde la superficie terrestre hacia capas altas de la troposfera. Si existen capas nubosas durante la noche, la fuga de la radiación no es intensa y la formación de inversiones térmicas no es frecuente; sin embargo, cuando el cielo está despejado la fuga de radiación no es detenida por nada y la formación de inversiones térmicas es más probable. Este mismo comportamiento ocurre con respecto a la precipitación.

Figura A2. Asociación entre los promedios mensuales de las variables climáticas en la ZMVM (período 1990–2001).



Nota: la manera de leer este tipo de gráficas es la siguiente, el eje de las ordenadas (Eje X) corresponde a la variable de la columna y el eje de las abscisas (Eje Y) corresponde a la variable del renglón. De esta manera y a modo de ejemplo, considérese la columna 1 y el renglón 4, la gráfica representa el promedio mensual de la Humedad Relativa, como se aprecia los meses de noviembre a mayo la humedad es baja mientras que en los meses de junio a octubre es alta, siendo este un comportamiento cíclico. Otro ejemplo que además muestra una asociación lineal inversa es el de la Precipitación Pluvial y el número de Inversiones Térmicas (columna 5 y renglón 6), la cual se interpreta como a mayor precipitación pluvial menor número de inversiones térmicas. Sin embargo, este tipo de asociación no necesariamente es causal ya que puede deberse a fenómenos no contemplados al momento de analizar estas variables por pares. Cabe mencionar que las gráfica arriba de la diagonal son las mismas que las de abajo, por lo cual basta con interpretar una de las dos partes.

Cabe mencionar que los contaminantes atmosféricos presentes en la ZMVM también se ven alterados por las épocas del año. En primavera las masas de aire polar se retiran paulatinamente, comienzan a alternarse con invasiones de masas de aire tropical (días cálidos y días fríos); en verano se presentan las masas de aire tropical; en otoño los sistemas caracterizados por aire tropical se retiran poco a poco alternando con las masas de aire frío que empiezan a llegar; conforme entra el invierno llegan las masas de aire polar a la metrópoli, de tal manera que en el punto medio del invierno el aire tropical queda completamente desplazado.

Figura A3. Gráfica de dispersión entre el promedio mensual de la temperatura y la velocidad del viento, para el período (1990–2001).

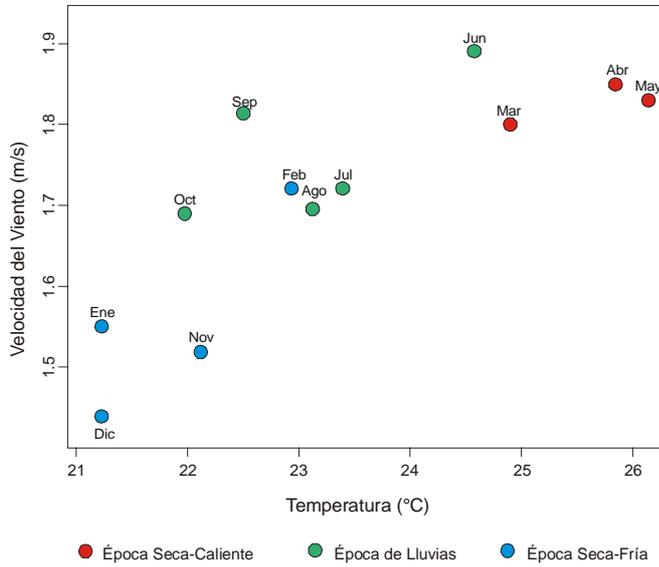


Figura A4. Gráfica de dispersión entre el promedio mensual de la temperatura y la humedad relativa, para el período (1990–2001).

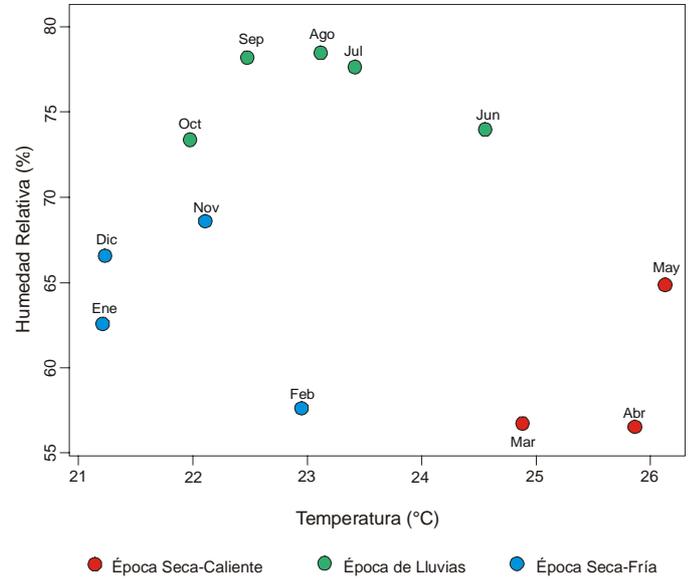


Figura A5. Gráfica de dispersión entre el promedio mensual de la temperatura y la precipitación pluvial, para el período (1990–2001).

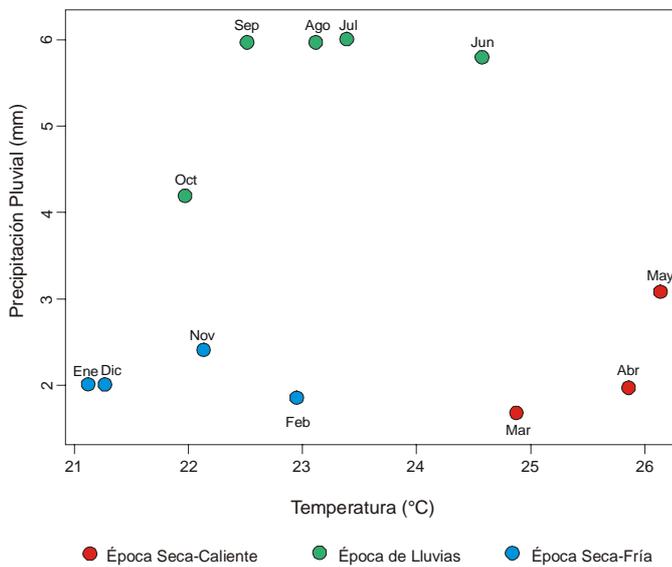


Figura A6. Gráfica de dispersión entre el promedio mensual de la temperatura y el número de inversiones térmicas, para el período (1990–2001).

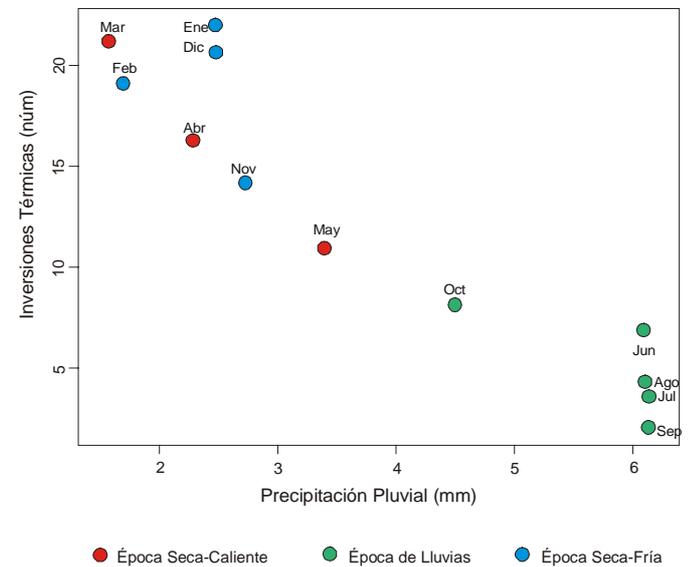


Figura A7. Gráfica de dispersión entre el promedio mensual de la velocidad del viento y la humedad relativa, para el período (1990–2001).

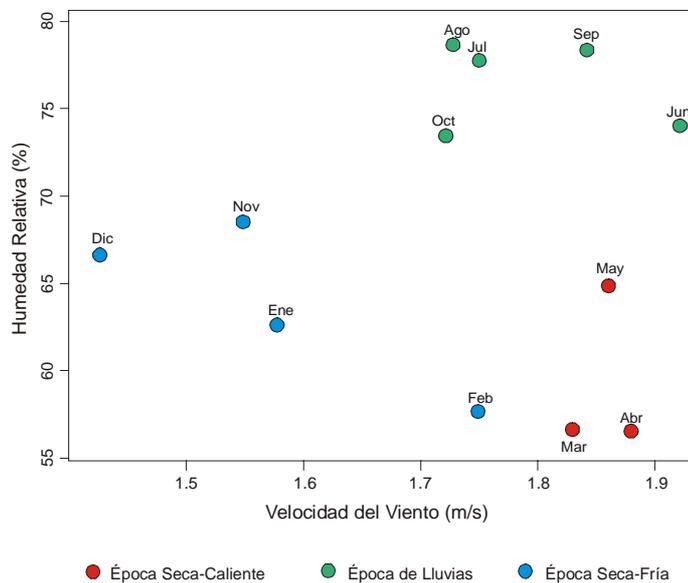


Figura A8. Gráfica de dispersión entre el promedio mensual de la velocidad del viento y la precipitación pluvial, para el período (1990–2001).

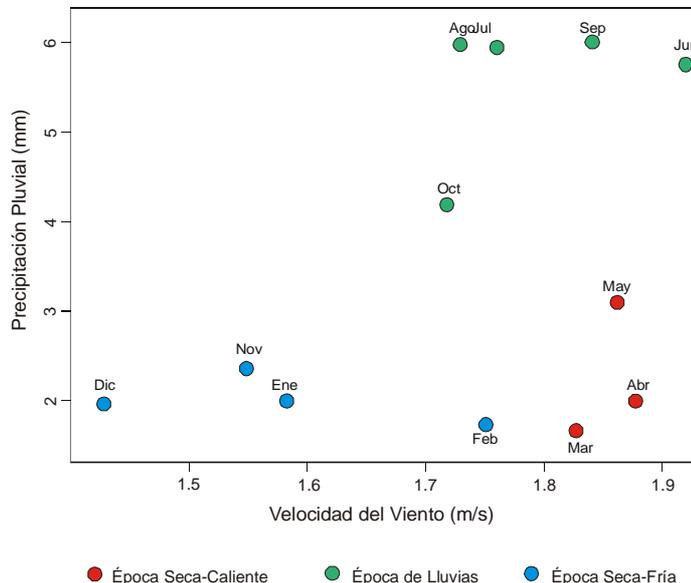


Figura A9. Gráfica de dispersión entre el promedio mensual de la velocidad del viento y el número de inversiones térmicas, para el período (1990–2001).

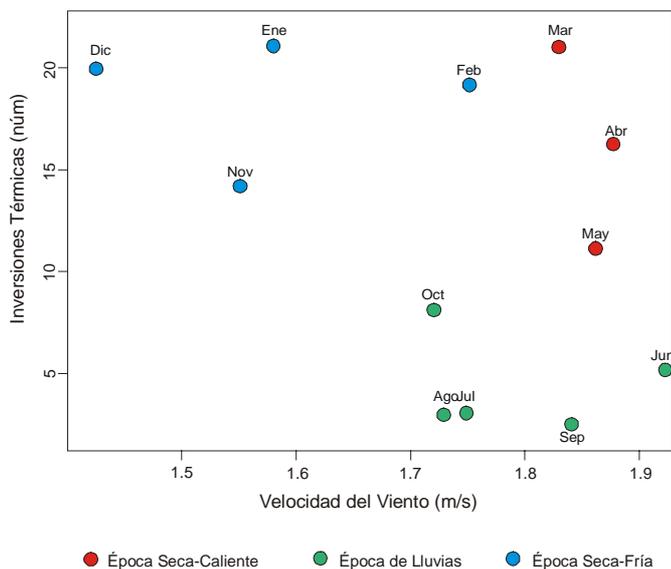
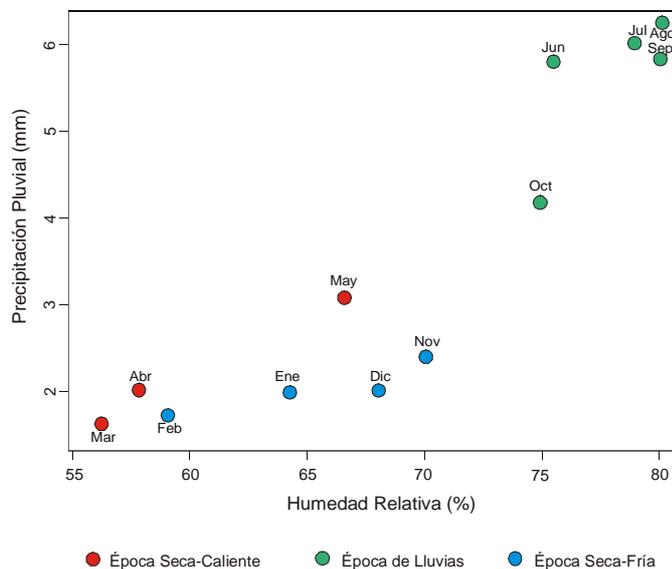


Figura A10. Gráfica de dispersión entre el promedio mensual de la humedad relativa y la precipitación pluvial, para el período (1990–2001).



ANEXO 8. DEPÓSITO ATMOSFÉRICO

Figura A11. Comportamiento de la concentración de cationes y aniones durante la época de lluvias en la ZMVM (1997–2001).

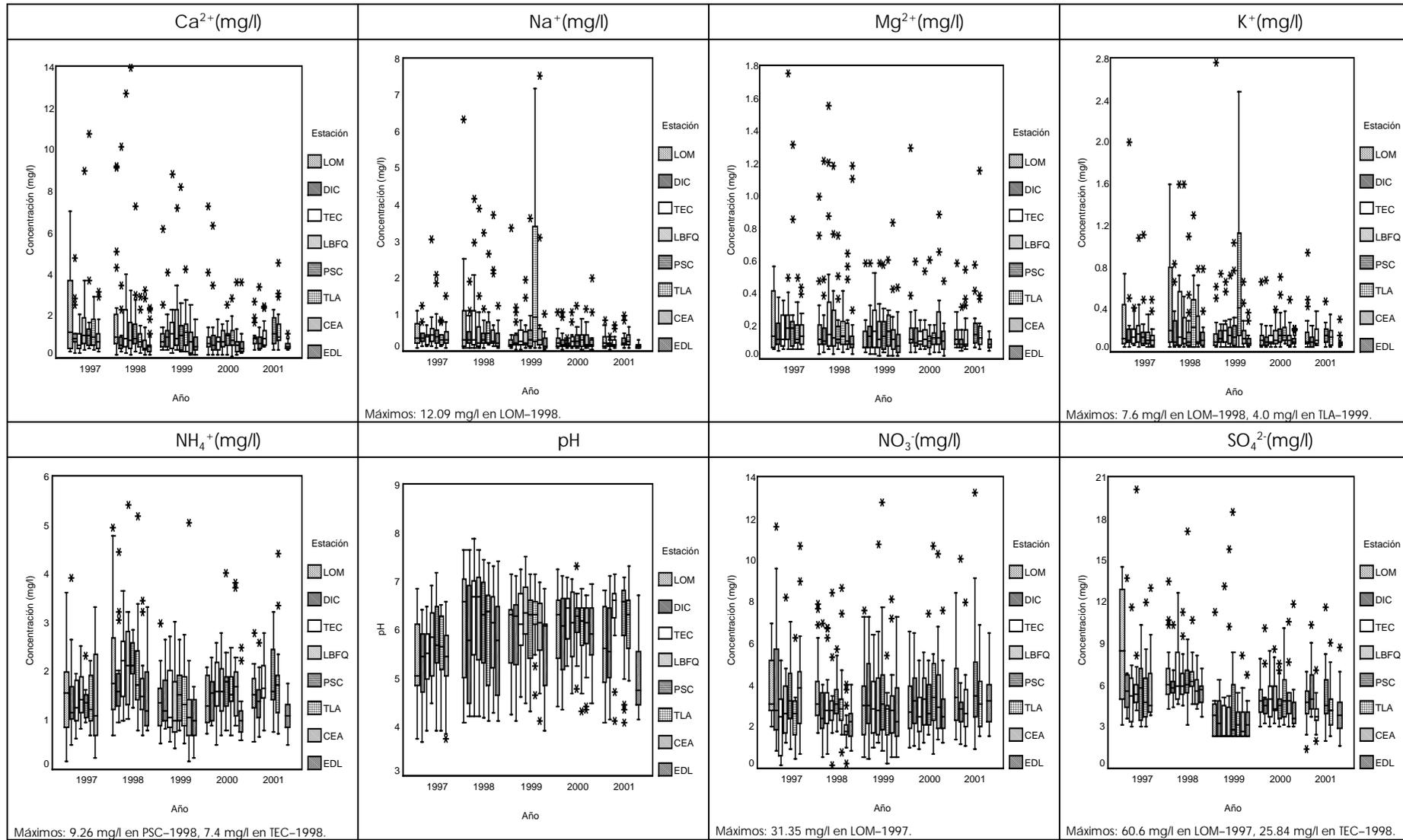
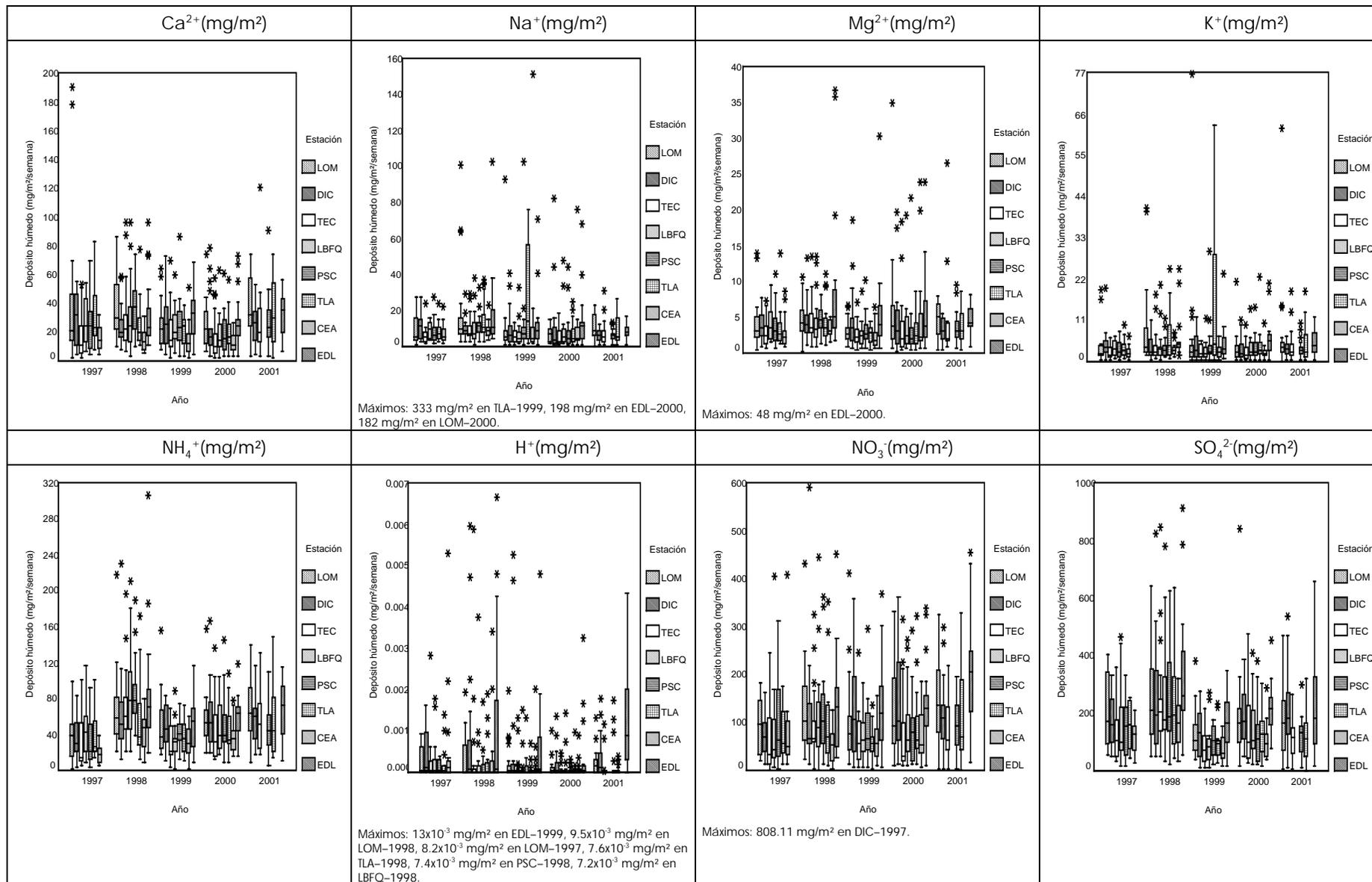


Figura A12. Comportamiento del depósito de cationes y aniones durante la época de lluvias en la ZMVM (1997–2001).



ABREVIATURAS

Abreviatura	Descripción
BETA	Referente a la radiación beta
CAM	Comisión Ambiental Metropolitana
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Bióxido de carbono
DGCOH	Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica
DDF	Departamento del Distrito Federal
DV	Dirección del Viento
ECOURS	Ecosistema Urbano y Salud de los Habitantes de la Zona Metropolitana del Valle de México
EPA	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de Norteamérica (U.S. Environmental Protection Agency)
GEM	Gobierno del Estado de México
GDF	Gobierno del Distrito Federal (antes DDF)
H ⁺	Ion hidronio
HC	Hidrocarburos totales
HI-VOL	Alto Volumen (Hi Volume)
HNO ₂	Ácido nitroso
HNO ₃	Ácido nítrico
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
INEGI	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
IT	Inversiones Térmicas
LADF	Ley Ambiental del Distrito Federal
l/m ²	Litro por metro cuadrado
msnm	Metros sobre el nivel del mar
m	Metros
med/hr	Dosis mínima de eritema por hora
mg/l	Miligramos por litro
mm	Milímetros de lluvia (un mm de lluvia equivale a un l/m ²)
m/s	Metros por segundo
mw/cm ²	Miliwatts por centímetro cuadrado
N	Nitrógeno
N ₂ O	Óxido nitroso
NO	Óxido nítrico
NO _x	Óxidos de nitrógeno
NO ₂	Bióxido de nitrógeno
NO ₃ ⁻	Ion nitrato
NOM	Norma Oficial Mexicana
O	Oxígeno
O ₃	Ozono
OCDE	Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico
PCAA	Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas
PCMCA	Programa Coordinado para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México
PICCA	Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica
PROAIRE 1995–2000	Programa para mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995–2000
PROAIRE 2002–2010	Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la ZMVM 2002–2010
Pb	Plomo

Abreviatura	Descripción
pH	Potencial hidrógeno
PM ₁₀	Partículas menores a 10 micrómetros
PP	Precipitación Pluvial
ppm	Partes por millón
RAMA	Red Automática de Monitoreo Atmosférico
REDDA	Red de Depósito Atmosférico
REDMA	Red Manual de Monitoreo Atmosférico
REDMET	Red de Meteorología
HR	Humedad Relativa
SO ₂	Bióxido de azufre
SO ₄ ⁼	Ion sulfato
SEMARNAP	Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (antes SEMARNAP)
SIMAT	Sistema de Monitoreo Atmosférico
SNC	Sistema Nervioso Central
TA	Temperatura Ambiente
TEOM	Tapered Element Oscillating Microbalance
VV	Velocidad del Viento
Watts/m ²	watts por metro cuadrado
ZMVM	Zona Metropolitana del Valle de México
µg/m ²	Microgramos por metro cuadrado
µg/m ³	Microgramos por metro cúbico
µS/cm	MicroSiems por centímetro
°C	Grados centígrados
%	Porcentaje

GLOSARIO

Palabra	Definición
Absorción	Acción de absorber –atraer o embeber un cuerpo y retener entre sus moléculas las de otro en estado líquido o gaseoso– (Diccionario Enciclopédico, 2001). La absorción es una operación básica unitaria de la ingeniería química, la que se conoce con el campo del control de la contaminación del aire como el lavado (Wark and Warner, 2000).
Adsorción	Es un proceso de separación que se basa en la capacidad que tiene ciertos sólidos para remover en forma preferencial, componentes gaseosos (o líquidos) de una corriente. Las moléculas del gas o vapor contaminantes, presentes en una corriente residual, se acumulan en la superficie del material sólido. Al medio adsorbente sólido se le llama con frecuencia el adsorbente, mientras que el gas o vapor adsorbido se le llama el adsorbato (Wark & Warner, 2000).
Acidez	Carácter ácido de una sustancia (Diccionario Enciclopédico, 2001).
Ácidos orgánicos	Productos orgánicos que contienen el grupo carboxilo (–COOH), cuyo hidrógeno puede sustituirse para formar sales. Los más importantes: acético, fórmico, oxálico, oleico, málico, tartárico y cítrico (Diccionario de Química, 1979).
Alcalinidad	Desprendimiento de iones –OH de una sustancia en solución, permitiendo la neutralización de sustancias ácidas (Informe Anual de la Calidad del Aire, 2000, disponible en Internet).
Ambiente	El conjunto de elementos naturales y artificiales o inducidos por el hombre que hacen posible la existencia y desarrollo de los seres humanos y demás organismos vivos que interactúan en un espacio y tiempo determinados. Deberá entenderse también como medio ambiente (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 13 de enero de 2000).
Anemómetro	Instrumento que sirve para indicar la dirección y velocidad del viento (Diccionario Enciclopédico, 2001).
Atmósfera	Capa gaseosa que envuelve un planeta o un satélite, particularmente la Tierra (Diccionario Enciclopédico, 2001).
Calidad de vida	Desde el punto de vista ecológico se le valora por factores como la salud, el aire puro, el agua limpia, la vida silvestre, la recreación frente a la naturaleza, liberación de las tensiones síquicas en el encuentro con el entorno. Todos estos factores tangibles e intangibles y que conforman la calidad de vida, están fuertemente influidos por las relaciones personales y familiares, por las interacciones con la comunidad, por los ingresos económicos, por la satisfacción y la seguridad en el trabajo, por el empleo positivo del tiempo libre, y a largo plazo, por la sustentabilidad del desarrollo (Diccionario didáctico de ecología, 1992).
Carboxihemoglobina	Combinación del óxido de carbono con la hemoglobina, que se forma durante una intoxicación por óxido de carbono (Diccionario Enciclopédico, 2001).
Cation	Componente iónico en solución cuya disponibilidad de electrones es baja, por lo que posee carga eléctrica positiva (Informe Anual de la Calidad del Aire, 2000, disponible en Internet).
Clima	Estado medio de las condiciones atmosféricas de una región. Los principales elementos del clima son la temperatura ambiente, la precipitación, la humedad relativa y la insolación, entre otros, cuya variación estacional es fundamental para la clasificación de los climas (Informe Anual de la Calidad del Aire, 2000, disponible en Internet).
Combustible	Material cuya combustión produce energía calorífica. Que puede arder, o que arde con facilidad (Diccionario Enciclopédico, 2001).
Concentración	Contenido de una disolución en sustancias disueltas expresado en peso por ciento (Diccionario de Química, 1979).
Contaminación	La presencia en el medio ambiente de uno o más contaminantes o de cualquier combinación de ellos que cause desequilibrio ecológico (SEMARNAP, 1997).
Contingencia ambiental	Situación de riesgo, derivada de actividades humanas o fenómenos naturales, que puede poner en peligro la integridad de uno o varios ecosistemas (SEMARNAP, 1997).

Palabra	Definición
Convección	Movimiento vertical del aire, de origen a menudo térmico u orográfico (Diccionario Enciclopédico, 2001).
Creciente	Que esta creciendo (Diccionario Enciclopédico, 2001).
Decreciente	Que decrece –menguar, disminuir- (Diccionario Enciclopédico, 2001).
Depuración	Acción o efecto de depurar –quitar las impurezas de una cosa- (Diccionario Enciclopédico, 2001).
Deterioro ambiental	Denominación genérica de cualquier proceso o resultado que afecte negativamente la calidad, estabilidad, e incluso la existencia de un ecosistema, comunidad, población, paisaje o el orden y la limpieza urbanos (Diccionario didáctico de ecología, 1992).
Dirección	Camino o rumbo que un cuerpo sigue en su movimiento (Diccionario Enciclopédico, 2001).
Disolución	Absorción de un gas o de un sólido por un líquido que forma con él una solución. (Diccionario Enciclopédico, 2001).
Dispersión	Mezcla homogénea de dos o más sustancias, cualquiera que sea su estado físico, repartidas de modo uniforme (Diccionario Enciclopédico, 2001).
Ecosistema	Unidad funcional básica de interacción de los organismos vivos entre sí y de éstos con el ambiente, en un espacio y tiempo determinados (SEMARNAP, 1997).
Efecto	Cambio biológico ante un estímulo externo. En toxicología se habla de un efecto, para indicar la proporción de una población que manifiesta una reacción particular. En ecología, se habla de efecto en general, cuando se trata de algún cambio inducido directa o indirectamente por el hombre, sobre alguna especie. Si este efecto se generaliza a un biotopo o a un ecosistema, se habla de repercusión ambiental. Los seres presentan respuestas variadas ante los diferentes efectos (Diccionario didáctico de ecología, 1992).
Emisiones contaminantes	La generación o descarga de materia o energía, en cualquier cantidad, estado físico o forma, que al incorporarse, acumularse o actuar en los seres vivos, en la atmósfera, agua, suelo, subsuelo o cualquier elemento natural, afecte negativamente su composición o condición natural (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 13 de enero de 2000).
Emergencia ambiental o Emergencia ecológica	Situación derivada de actividades humanas o fenómenos naturales que al afectar severamente a sus elementos, pone en peligro a uno o varios ecosistemas (SEMARNAP, 1997).
Enfisema pulmonar	Dilatación excesiva y permanente de los alvéolos pulmonares, con ruptura de los tabiques interalveolares (Diccionario Enciclopédico, 2001).
Epitelio	Tejido formado por una o varias capas de células, que recubre el cuerpo, las cavidades internas y los órganos (Diccionario Enciclopédico, 2001).
Erosión	Es la destrucción y eliminación del suelo. Los factores que acentúan la erosión del suelo son: el clima, la precipitación, la velocidad del viento, la topografía, el grado y la longitud del declive, las características físico-químicas del suelo, la cubierta vegetal, su naturaleza y el grado de cobertura, los fenómenos naturales como terremotos, y factores humanos como la tala indiscriminada, la quema subsecuente y el pastoreo en exceso (Informe Anual de la Calidad del Aire, 2000, disponible en Internet).
Etáreo	De acuerdo a la edad, se emplea en términos demográficos y de salud.
Fenómeno	Cualquier manifestación de actividad que se produce en la naturaleza (Diccionario Enciclopédico, 2001).
Fuentes de área	Son todos aquellos establecimientos comerciales, industriales, habitacionales o lugares donde se desarrollan actividades que de manera individual emiten cantidades relativamente pequeñas de contaminantes y que por su tamaño no llegan a considerarse como fuentes puntuales, pero que en conjunto sus emisiones representan un aporte considerable de contaminantes a la atmósfera. En esta categoría se incluyen la mayoría de los establecimientos comerciales, de servicio y los hogares, como ejemplo se pueden mencionar a las panaderías, tintorerías, fabricación de tabiques, uso de combustibles y productos en el hogar, manejo de maquinaria de construcción, tractores, locomotoras, extracción de arena y grava, etcétera (Informe Anual de la Calidad del Aire, 2000, disponible en Internet).

Palabra	Definición
Fuentes móviles	Cualquier máquina, aparato o dispositivo que emite contaminantes a la atmósfera, al agua y/o al suelo, que no tienen un lugar fijo, siendo todo vehículo automotor como los automóviles, barcos, aviones, etcétera (Informe Anual de la Calidad del Aire, 2000, disponible en Internet).
Fuentes naturales o biogénicas	Son fenómenos o procesos que presentan emisiones de manera natural en los ecosistemas. En este tipo de emisión se encuentran la erosión del suelo, las emisiones volcánicas, las generadas por los incendios forestales, por las heces fecales de animales y por los procesos metabólicos de la vegetación, entre otros (Informe Anual de la Calidad del Aire, 2000, disponible en Internet).
Fuentes puntuales o fijas	Se define como una instalación establecida en un sitio con la finalidad de desarrollar procesos industriales o actividades que puedan generar contaminantes a la atmósfera, por ejemplo se pueden citar: a las termoeléctricas, grandes industrias químicas, cementeras, fábricas de vidrio, procesadores de metales, industria de alimentos, entre otras (Informe Anual de la Calidad del Aire, 2000, disponible en Internet).
Gestión de la calidad del aire	Implica recoger, desarrollar, consolidar y dar cuerpo institucional a un amplio espectro de capacidades analíticas, normativas, operativas, de vigilancia, control y concertación. Estas capacidades integran una cadena indisoluble, donde la eficacia de cada una depende de su articulación con el resto: inventarios, diagnósticos, objetivos, líneas estratégicas sectoriales, instrumentos, diseño y ejecución de programas, y sobre todo, una perspectiva coherente y funcional e la metrópolis y su entorno como una unidad regional.
Gravimétrico	Concerniente a la gravimetría –análisis efectuado por pesadas– (Diccionario Enciclopédico, 2001).
Homogéneo	Dícese del conjunto formado por elementos de igual naturaleza y condición o en el que se distinguen sus partes constituyentes (Diccionario Enciclopédico, 2001).
Indicador	Es una representación numérica que sintetiza información en un período de evaluación. Los indicadores ambientales son formas directas o indirectas de medir la calidad del ambiente que pueden ser utilizados para determinar la situación actual y las tendencias en la capacidad del ambiente para sustentar la salud ecológica y humana (CAM, 2002, disponible en Internet).
Intensidad	Grado de energía de un agente natural o mecánico, de una cualidad, de una expresión o de un afecto: intensidad del viento (Diccionario Enciclopédico, 2001).
Intervalo	Espacio que hay de un tiempo a otro (Diccionario Enciclopédico, 2001).
Inventario de emisiones	Es un instrumento estratégico para el manejo de la cuenca atmosférica y refleja la intensidad con que diferentes usuarios de la capacidad de carga de la atmósfera utilizan este recurso común ambiental (CAM, 1996).
Inversión térmica	Las inversiones térmicas ocurren debido a que la capa de aire que se encuentra en contacto con esta superficie adquiere una temperatura menor que las capas superiores, por lo que se vuelve más densa. Las capas de aire que se encuentran más calientes actúan entonces como una tapa que impide el movimiento ascendente del aire contaminado (Informe Anual de la Calidad del Aire, 2000, disponible en Internet).
Joule	En la nomenclatura internacional, nombre del Julio, unidad de medida de trabajo (Diccionario Enciclopédico, 2001).
Julio	Unidad de medida de trabajo, energía y cantidad de calor (símbolo J), que equivale al trabajo producido por una fuerza de un newton cuyo punto de aplicación se desplaza un metro en la dirección de la fuerza (Diccionario Enciclopédico, 2001).
Meteoro	Fenómeno físico que tiene lugar en la atmósfera (Diccionario Enciclopédico, 2001).
Lavado atmosférico	Mecanismo natural de limpieza de la atmósfera a través de la lluvia que remueve los gases atmosféricos, aerosoles, partículas, y todos aquellos compuestos que han sido introducidos a la atmósfera por diferentes fuentes de emisión (Informe Anual de la Calidad del Aire, 2000, disponible en Internet).
Masa de aire	Cuerpo atmosférico de gran dimensión, con características meteorológicas uniformes, que se forma en la troposfera. Es comparable en tamaño con los continentes y se mueven de acuerdo con la circulación atmosférica general. A la superficie virtual, que divide a una masa de otra, se le llama frente (Diccionario

Palabra	Definición
	didáctico de ecología, 1992).
Medio ambiente	Región, alrededores y circunstancias, en las que se encuentra un ser o un objeto. El medio ambiente de un individuo comprende dos tipos de constituyentes: 1) el medio puramente físico o abiótico, en el cual él existe –aire, contorno geográfico, suelo y agua–; 2) el componente biótico, que comprende la materia orgánica no viviente y todos los organismos, plantas y animales de la región, incluida la población específica a la que pertenece el organismo (Diccionario didáctico de ecología, 1992).
Meteorología	Estudio de los fenómenos atmosféricos y de sus leyes, especialmente para la previsión del tiempo (Diccionario Enciclopédico, 2001).
Muestreo	Conjunto de operaciones que se efectúan para estudiar la distribución de determinados caracteres o variables, en la totalidad de una población o ambiente, mediante el estudio de una parte del sistema; esta fracción recibe el nombre de muestra (Diccionario didáctico de ecología, 1992).
Normas Oficiales Mexicanas	Son aquellas que garantizan la sustentabilidad de las actividades económicas. Tienen por objeto establecer los requisitos, especificaciones, condiciones, procedimientos, metas, parámetros y límites permisibles que deberán observarse en regiones, zonas, cuencas o ecosistemas, en aprovechamiento de recursos naturales, en el desarrollo de actividades económicas, en el uso de destino de bienes, en insumos y en procesos (SEMARNAP, 1997).
Patología	Ciencia de las causas, síntomas y evolución de las enfermedades (Diccionario Enciclopédico, 2001).
Plomo	Uno de los principales contaminantes del aire, en áreas populosas e industriales. Este elemento llega a la atmósfera en forma gaseosa y de partículas microscópicas, debido a la combustión de gasolina con aditivos organometálicos, como por ejemplo el tetraetilo de plomo, por las emanaciones de las fundiciones –metalurgia de plomo, fábricas de baterías– (Diccionario didáctico de ecología, 1992).
Precipitación	Caída de la lluvia; hidrometeoro del ciclo hidrológico, agente de la erosión. Es uno de los factores determinantes en el establecimiento de las zonas de vida. Puede variar desde casi cero, en los desiertos más secos, hasta 9.000mm en los bosques tropicales más lluviosos y en regiones azotadas por las lluvias monzónicas. Se mide en milímetros o pulgadas (Diccionario didáctico de ecología, 1992).
Precursores	Compuestos que mediante una serie de reacciones químicas dan lugar a la formación de otras sustancias (Informe Anual de la Calidad del Aire, 2000, disponible en Internet).
Radiación solar	Energía que se propaga en el espacio procedente del sol (Informe Anual de la Calidad del Aire, 2000, disponible en Internet).
Riesgo	Peligro o inconveniente posible (Diccionario Enciclopédico, 2001).
Sensores	Término genérico que designa cualquier equipo que permite adquirir una información (Diccionario Enciclopédico, 2001).
Tóxicos	Dícese de las sustancias nocivas para los organismos vivos (Diccionario Enciclopédico, 2001).
Tropósfera	Es la capa de la atmósfera en contacto con la superficie de la tierra y tiene la característica de disminuir en temperatura con la altitud (Informe Anual de la Calidad del Aire, 2000, disponible en Internet).
Variable	Es un caso o fenómeno específico, es el valor de algo característico, cuantificable, pero que cambia dentro de una mismas unidades. Ejemplos son: la temperatura del agua, el oxígeno disuelto, color del aire, acidez de la lluvia, velocidad o dirección de una corriente marina, crecimiento de una población (Diccionario didáctico de ecología, 1992).

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO	# DE FIGURA	TÍTULO	PAG.	
Capítulo 1	Figura 1	Esquema causa–efecto de la OCDE.	2	
	Figura 2	Pronóstico del crecimiento de la mancha urbana en el Distrito Federal.	2	
	Figura 3	Distribución por tipo de combustible en la ZMVM (1990–2001)	4	
	Figura 4	VARIABLES DE RIESGO NATURAL EN LA ZMVM.	5	
	Figura 5	Evolución de las variables climáticas en la ZMVM (1990–2001).	6	
	Figura 6	Distribución de concentraciones máximas diarias de ozono en la ZMVM (1990, 1995, 2000 y 2001).	6	
Capítulo 2	Figura 7	Registros de PM ₁₀ con métodos de medición manual y automática.	13	
Capítulo 3	Figura 8	Representación gráfica de algunos indicadores estadísticos.	18	
	Figura 9	Ejemplo de Exposición Total Diaria a O ₃ .	21	
	Figura 10	Ejemplo de Exposición Total Anual a PM ₁₀ .	22	
	Figura 11	Ejemplo de mosaico.	24	
Capítulo 4	Figura 12	Comportamiento del Percentil 90 anual de O ₃ , NO ₂ y NO _x en la ZMVM (1990–2001).	28	
	Figura 13	Comportamiento del Percentil 90 anual de PST, PM ₁₀ , Pb–PST y Pb–PM ₁₀ en la ZMVM (1990–2001).	29	
	Figura 14	Comportamiento del Percentil 90 anual de CO en la ZMVM (1990–2001).	30	
	Figura 15	Comportamiento del Percentil 90 anual de SO ₂ y consumo de combustibles con contenido de azufre (1990–2001).	31	
Capítulo 5	Figura 16	Porcentaje de días por arriba del valor límite de la NOM de O ₃ y número de días con instrumentación del PCAA e instrumentación de un PCAA definido en 0.257 ppm (equivalente a 220 puntos del IMECA), durante el período 1990–2001.	34	
	Figura 17	Porcentaje de días al año por arriba del valor límite permisible para los promedios móviles de O ₃ en la ZMVM (1990–2001).	34	
	Figura 18	Porcentaje de días al año por arriba del valor límite permisible de NO ₂ para la NOM en la ZMVM (1990–2001).	36	
	Figura 19	Porcentaje de muestreos al año por arriba del valor límite permisible de PM ₁₀ para la NOM en la ZMVM (1990–2001).	37	
	Figura 20	Porcentaje de muestreos al año por arriba del valor límite permisible de PST para la NOM en la ZMVM (1990–2001).	39	
	Figura 21	Número de trimestres por arriba del valor límite permisible de Pb en la ZMVM (1990–2001).	40	
	Figura 22	Porcentaje de días al año por arriba del valor límite permisible de CO para la NOM en la ZMVM (1990–2001).	41	
	Figura 23	Porcentaje de días al año por arriba del valor límite permisible de SO ₂ para la NOM en la ZMVM (1990–2001)	42	
	Capítulo 6	Figura 24	Comportamiento diario típico de NO _x y NO ₂ en la ZMVM (2001).	44
		Figura 25	Comportamiento diario típico de O ₃ y NO _x en la ZMVM (2001).	44
Figura 26		Comportamiento de NO _x por uso de suelo en estaciones de monitoreo (1990, 1995, 2000 y 2001).	44	
Figura 27		Comportamiento de NO ₂ por uso de suelo en estaciones de monitoreo (1990, 1995, 2000 y 2001).	44	
Figura 28		Comportamiento diario típico de CO y NO _x en la ZMVM (2001)	45	
Figura 29		Comportamiento de CO por uso de suelo en estaciones de monitoreo (1990, 1995, 2000 y 2001).	45	
Figura 30		Comportamiento diario típico de SO ₂ en la ZMVM (2001).	46	
Figura 31		Comportamiento de SO ₂ por uso de suelo en estaciones de monitoreo (1990, 1995, 2000 y 2001).	46	
Capítulo 7		Figura 32	Promedio mensual de variables climáticas en la ZMVM (período 1990–2001).	47
		Figura 33	Concentraciones máximas diarias de O ₃ en la ZMVM por época climática (1990–2001).	48
	Figura 34	Muestreos de PST en la ZMVM por época climática (1990–2001).	48	
	Figura 35	Muestreos de PM ₁₀ en la ZMVM por época climática (1990–2001).	49	

CAPÍTULO	# DE FIGURA	TÍTULO	PAG.
	Figura 36	Concentraciones máximas diarias de CO en la ZMVM por época climática (1990–2001).	49
	Figura 37	Concentraciones promedio diarias de SO ₂ en la ZMVM por época climática (1990–2001).	49
	Figura 38	Concentraciones máximas diarias de NO ₂ en la ZMVM por época climática (1990–2001).	49
	Figura 39	Concentraciones máximas diarias de NO _x en la ZMVM por época climática (1990–2001).	50
	Figura 40	Muestras de Pb–PST en la ZMVM por época climática (1990–2001).	50
	Figura 41	Mosaicos de O ₃ en la ZMVM (1990, 1995, 200 y 2001).	52
	Figura 42	Mosaicos de PM ₁₀ en la ZMVM (1990, 1995, 200 y 2001).	53
Capítulo 8	Figura 43	Escala de pH.	56
	Figura 44	Precipitación pluvial captada durante la época de lluvias (junio-octubre) en la ZMVM (período 1990–2001).	57
	Figura 45	Depósito húmedo (mg/m ²) en la ZMVM durante la época de lluvias (período 1997–2001)	59
Anexo 5	Figura A1	Comportamiento no homogéneo de NO _x en diferentes estaciones de la ZMVM (1990–2001).	84
Anexo 7	Figura A2	Asociación entre los promedios mensuales de las variables climáticas en la ZMVM (período 1990–2001).	88
	Figura A3	Gráfica de dispersión entre el promedio mensual de la temperatura y la velocidad del viento, para el período (1990–2001).	89
	Figura A4	Gráfica de dispersión entre el promedio mensual de la temperatura y la humedad relativa, para el período (1990–2001).	89
	Figura A5	Gráfica de dispersión entre el promedio mensual de la temperatura y la precipitación pluvial, para el período (1990–2001).	89
	Figura A6	Gráfica de dispersión entre el promedio mensual de la temperatura y el número de inversiones térmicas, para el período (1990–2001).	89
	Figura A7	Gráfica de dispersión entre el promedio mensual de la velocidad del viento y la humedad relativa, para el período (1990–2001).	90
	Figura A8	Gráfica de dispersión entre el promedio mensual de la velocidad del viento y la precipitación pluvial, para el período (1990–2001).	90
	Figura A9	Gráfica de dispersión entre el promedio mensual de la velocidad del viento y el número de inversiones térmicas, para el período (1990–2001).	90
	Figura A10	Gráfica de dispersión entre el promedio mensual de la humedad relativa y la precipitación pluvial, para el período (1990–2001).	90
Anexo 8	Figura A11	Comportamiento de la concentración de cationes y aniones durante la época de lluvias en la ZMVM (1997–2001).	91
	Figura A12	Comportamiento del depósito de cationes y aniones durante la época de lluvias en la ZMVM (1997–2001).	92

LISTA DE TABLAS

CAPÍTULO	# DE TABLA	TÍTULO	PAG.	
Capítulo 1	Tabla 1	Población y superficie en el área urbana de la ZMVM.	3	
	Tabla 2	Emisión total de contaminantes por fuente, 1998.	3	
	Tabla 3	Composición del parque vehicular en la ZMVM, 2001.	4	
	Tabla 4	Casos de Precontingencias, Fase I y Fase II en la ZMVM bajo el esquema actual del Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas.	7	
	Tabla 5	Días de aplicación del PCAA en la ZMVM, criterio actual y posibles escenarios de modificación.	7	
	Tabla 6	Efectos de salud asociados con la exposición a O ₃ y PM ₁₀ .	9	
Capítulo 2	Tabla 7	Parámetros que se registran en el SIMAT por tipo de red de monitoreo y tiempo de medición.	11	
	Tabla 8	Comparación de los métodos de medición de PM ₁₀ .	13	
Capítulo 3	Tabla 9	Número de registros por red de monitoreo del SIMAT de la Ciudad de México relacionados con las categorías de desempeño.	15	
	Tabla 10	Ejemplificación del criterio de selección de estaciones de la ZMVM con mejor desempeño histórico.	16	
	Tabla 11	Estaciones del SIMAT de la Ciudad de México con mejor desempeño histórico (1990–2001).	16	
	Tabla 12	Criterios para procesar la información de las estaciones del SIMAT con mejor desempeño.	17	
	Tabla 13	Indicadores de la calidad del aire para la ZMVM.	17	
	Tabla 14	Formato de resultados de las pruebas de homogeneidad y tendencia.	20	
	Tabla 15	Normas Oficiales Mexicanas, Salud Ambiental.	20	
	Tabla 16	Escala de colores para la generación de mosaicos.	24	
	Tabla 17	Ejemplo de concentración y volumen en muestreos de depósito húmedo.	25	
	Capítulo 4	Tabla 18	Análisis de Mann Kendall de homogeneidad por período en la ZMVM para O ₃ , NO ₂ y NOx.	28
Tabla 19		Análisis de Mann Kendall de homogeneidad por período en la ZMVM para PST, PM ₁₀ , Pb–PST y Pb–PM ₁₀ .	29	
Tabla 20		Análisis de Mann Kendall de homogeneidad por período en la ZMVM para CO.	30	
Tabla 21		Análisis de Mann Kendall de homogeneidad por período en la ZMVM para SO ₂ .	31	
Tabla 22		Eventos extraordinarios de SO ₂ registrados en la ZMVM (2000–2001), concentración horaria en ppm.	31	
Capítulo 5		Tabla 23	Promedio aritmético anual (µg/m ³) de muestreos de PM ₁₀ en la ZMVM (1990–2001).	37
		Tabla 24	Promedio aritmético anual (µg/m ³) de muestreos de PST en la ZMVM (1990–2001).	40
	Tabla 25	Promedio aritmético anual (ppm) de SO ₂ en la ZMVM (1990–2001).	42	
Capítulo 6	Tabla 26	Estaciones clasificadas por tipo de uso de suelo (2001).	43	
Capítulo 7	Tabla 27	Días de la semana predominantes en el intervalo de mayor frecuencia por época climática para O ₃ y PM ₁₀ (1990, 1995, 2000 y 2001).	51	
Capítulo 8	Tabla 28	Cationes analizados en el agua de lluvia, SIMAT de la Ciudad de México.	57	
Anexo 1	Tabla A1	Consumo anual de combustible en la ZMVM, en millones de litros y desagregado por tipo de combustible (1990–2000).	63	
Anexo 2	Tabla A2	Parámetros registrados por el SIMAT de la Ciudad de México durante 2001.	64	
	Tabla A3	Parámetros y unidades de medición del SIMAT de la Ciudad de México.	65	
Anexo 3	Tabla A4	Apariencia de los identificadores de desempeño.	66	
	Tabla A5	Desempeño de O ₃ en el período de 1990 a 2001.	67	
	Tabla A6	Desempeño de CO en el período de 1990 a 2001.	68	
	Tabla A7	Desempeño de SO ₂ en el período de 1990 a 2001.	69	
	Tabla A8	Desempeño de NO ₂ en el período de 1990 a 2001.	70	
	Tabla A9	Desempeño de PM ₁₀ en el período de 1995 a 2001.	71	
	Tabla A10	Desempeño de HR en el período de 1990 a 2001.	72	

CAPÍTULO	# DE TABLA	TÍTULO	PAG.
	Tabla A11	Desempeño de TMP en el período de 1990 a 2001.	72
	Tabla A12	Desempeño de DV en el período de 1990 a 2001.	73
	Tabla A13	Desempeño de VV en el período de 1990 a 2001.	73
	Tabla A14	Desempeño de los muestreos de PST en el período de 1990 a 2001.	74
	Tabla A15	Desempeño de los muestreos de Pb-PST en el período de 1990 a 2001.	75
	Tabla A16	Desempeño de los muestreos de PM ₁₀ en el período de 1990 a 2001.	76
	Tabla A17	Desempeño de los muestreos de Pb-PM ₁₀ en el período de 1990 a 2001.	76
	Tabla A18	Estaciones de monitoreo de la REDDA y técnicas de muestreo.	77
Anexo 4	Tabla A19	Acciones implementadas en la ZMVM y contaminantes ambientales que involucran (1986–2001).	78
	Tabla A20	Normas Oficiales Mexicanas relacionadas con la calidad del aire en la ZMVM (1995–2000).	82
Anexo 5	Tabla A21	Análisis de tendencia de SO ₂ para algunas estaciones de la ZMVM (a un nivel de confianza del 95%).	84
Anexo 6	Tabla A22	Distribución de los máximos diarios de O ₃ en la ZMVM (1990–2001) para diferentes límites.	85
	Tabla A23	Distribución de los máximos diarios del promedio móvil de 8 horas de O ₃ en la ZMVM (1990–2001) para diferentes límites.	85
	Tabla A24	Distribución de los máximos diarios de SO ₂ en la ZMVM (1990–2001) para diferentes límites.	85
	Tabla A25	Distribución de los máximos diarios de NO ₂ en la ZMVM (1990–2001) para diferentes límites.	85
	Tabla A26	Distribución de los muestreos de PM ₁₀ en la ZMVM (1990–2001) para diferentes límites.	86
	Tabla A27	Distribución de los máximos diarios de CO en la ZMVM (1990–2001) para diferentes límites.	86
	Tabla A28	Distribución de los muestreos de PST en la ZMVM (1990–2001) para diferentes límites.	86

LISTA DE MAPAS

CAPÍTULO	# DE MAPA	TÍTULO	PAG.
Capítulo 2	Mapa 1	Localización de las estaciones del SIMAT de la Ciudad de México (2001).	12
Capítulo 5	Mapa 2	Distribución espacial de la exposición promedio a O ₃ en la ZMVM (1990).	35
	Mapa 3	Distribución espacial de la exposición promedio a O ₃ en la ZMVM (1995).	35
	Mapa 4	Distribución espacial de la exposición promedio a O ₃ en la ZMVM (2000).	35
	Mapa 5	Distribución espacial de la exposición promedio a O ₃ en la ZMVM (2001).	35
	Mapa 6	Distribución espacial de la exposición promedio a PM ₁₀ en la ZMVM (1990).	38
	Mapa 7	Distribución espacial de la exposición promedio a PM ₁₀ en la ZMVM (1995).	38
	Mapa 8	Distribución espacial de la exposición promedio a PM ₁₀ en la ZMVM (2000).	38
	Mapa 9	Distribución espacial de la exposición promedio a PM ₁₀ en la ZMVM (2001).	38
Capítulo 8	Mapa 10	Precipitación pluvial acumulada en la época de lluvias en la ZMVM (2001).	58
	Mapa 11	Promedio ponderado de los compuestos captados en agua de lluvia en la ZMVM durante la época de lluvias 2001.	60
	Mapa 12	Depósito húmedo de los compuestos captados en agua de lluvia en la ZMVM durante la época de lluvias 2001.	61

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA GUBERNAMENTAL

- CAM (SEMARNAP, DDF, SMA, GEM), 1996, *Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995–2000*.
- CNDH, 1992, *La contaminación atmosférica en México, sus causas y efectos en la salud*.
- DDF, 1990, *Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica (PICCA)*, Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en el Valle de México.
- DDF, 1996, *Informe Anual de la Calidad del Aire en la Ciudad de México 1995*, RAMA.
- DDF, 1998, *Informe Anual de la Calidad del Aire 1997*, Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación.
- FUNSALUD, 1994, *Economía y salud, propuesta para el avance del sistema de salud en México*. Informe Final. Primera edición.
- Gaceta Oficial del Distrito Federal, 13 de enero de 2000, *Ley Ambiental del Distrito Federal*.
- GDF, 1997, *Programa Precipitaciones Ácidas en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*. Informe Anual 1997.
- GDF, 1999a, *Informe Anual de la Calidad del Aire en el Valle de México 1998*.
- GDF, 1999b, *Informe Anual 1999 del Programa de Precipitación Ácida de la Z.M.C.M.*
- GDF, 1999c, *Inventario de Emisiones 1996*, Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación.
- GEM, 1999, *Acuerdo por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones del Acuerdo por que se emite el Programa para Contingencias Ambientales de los Municipios Conurbados en la Zona Metropolitana del Valle de México*, Gaceta de Gobierno, 22 de diciembre de 1999.
- IMSS, Universidad Autónoma del Estado de México, 2001, *Daños a la salud por contaminación atmosférica (Contaminación atmosférica. Un enfoque global)*, CIGOME.
- INE, 1997, *Primer Informe sobre la Calidad del Aire en Ciudades Mexicanas 1996*.
- INE-SEMARNAP, 1997, *Economía Ambiental. Lecciones de América Latina*.
- INEGI, 2000, *Estadísticas del Medio Ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana*. México, 1999, México, DF.
- INEGI, 2001, *Estadísticas del Medio Ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana 2000*, México, DF.
- INSP, SEMARNAP, DDF, 1996, *Respuestas a preguntas sobre contaminación y salud*.
- OPS, OMS, 1979, *Criterios de salud ambiental 4, Óxidos de Nitrógeno*.
- SEMARNAP, 1997, *Ley General de Protección del Equilibrio Ecológico*.

BIBLIOGRAFÍA EN GENERAL

- Ahrens C. Donald, 1999, *Meteorology Today. An Introduction to Weather, Climate, and Environment*, 6th. edition, Brooks/Cole.
- Alianza Contra el Envenenamiento por Plomo, 1998, *Prevención del envenenamiento por Plomo en las Américas: la salud, el medio ambiente y el desarrollo sostenible (Informe de la Conferencia y el Taller, 17–18 de abril de 1998)*, Santiago de Chile.
- Aldape F.; Flores J.; Díaz V.; Miranda J.; Cahill T. A. and Morales J. R., *International Journal of PIXE*, Vol. 1, No. 4, (1991) 373-388.
- Borja-Aburto, V. H.; Castillejos, M.; Gold D. R.; Bierzwinski S. and Loomis D. P., *Mortality and Ambient Fine Particles in Southwest Mexico City, 1993-1995*, Environ. Health Persp, 1998, 106 (12), 849:855.
- Borja-Aburto, V. H.; Loomis, D. P.; Bangdiwala, S. I.; Shy, C. M.; Rascón-Pacheco, R. A., *Ozone, Suspended Particulates, and Daily Mortality in Mexico City*; Am. J. Epidem. 1997, 145 (3), 258-268.
- Briggs; Corvalán and Nurminen, 1996, *Linkage methods for environment and health analysis: general guidelines*. Geneva, WHO (unpublished document WHO/EHG/95.26).
- Castillejos, M.; Borja-Aburto, V. H.; Dockery D. W. Gold R. D. and Loomis, D. *Airborne Coarse Particles and Mortality*, Inhalation Toxicology 2000, 12 (Supp 1), 61-72.
- Diccionario de Química, 1979, Ediplesa.
- Diccionario didáctico de ecología, 1992, Editorial de la Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- Diccionario Enciclopédico, 2001, *El Pequeño Larousse Ilustrado*.
- Finlayson-Pitts, B. J. and Pitts N. James Jr., 1948, *Atmospheric Chemistry: Fundamentals and Experimental Techniques*, A Wiley-Interscience publication.
- Gilbert O. R., 1987, *Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring*, Editorial Van Nostrand Reinhold. 1987. pp 204–329.
- Henry J. G. and Heinke G. W., 1989, *Environmental Science and Engineering*, Prentice Hall. USA. pp 124–140.
- Jiménez C., Blanca Elena, 2001, *La Contaminación Ambiental en México: causas , efectos y tecnología apropiada*, Limusa Noriega Editores.
- Lacasaña M.; Romieu I.; McConnell R. y Grupo de Trabajo sobre Plomo de la OPS, 1996, *El problema de exposición al plomo en América Latina y el Caribe*, Centro Panamericano de ecología humana y Salud, Organización Panamericana de la salud/ Organización Mundial de la Salud, Serie Ambiental N° 16, 1ª edición, Metepec, Edo. México, ISBN 9275322147.
- Leff E., 1990, *Medio Ambiente y Desarrollo en México, Vol 1*, Centro de Investigaciones interdisciplinarias en Humanidades, UNAM, Porrúa, México.
- Lezama J. L., 1997, *El problema del aire en el valle de México: crítica a la política gubernamental 1979-1996*, Revista Estudios demográficos y urbanos. Vol. 12, núm.3, septiembre–diciembre.
- Lezama de la Torre José Luis, 2000, *Aire dividido: crítica a la política del aire en el Valle de México, 1979–1996*, México, El Colegio de México.
- Loomis, D.; Castillejos, M.; Gold, D. R.; McDonnell, W. and Borja-Aburto, V. H., *Air Pollution and Infant Mortality in Mexico City*, Epidemiology 1999, 10 (2), 118-123.
- Molina T. L. and Molina J. M., editors, 2002, *Air Quality in thr Mexico Megacity: An Integrated Assessment*, Kluwer Academic Publishers.
- Mugica Álvarez Violeta y Figueroa Lara Jesús, 1996, *Contaminación ambiental, causas y control*, UAM–A.
- Negrete M., 1993, *Población, espacio y medio ambiente en la zona metropolitana de la ciudad de México*, México, El Colegio de México.
- Pooley, F. D., y M. Mille, 1999. *Air pollution and Health: Composition of air pollution particles*. Academic Press.

Romieu I.; Palazuelos E.; Hernández M. *et al*, 1994, *Sources of lead exposure in Mexico City*.
Environ. Health Perspect. 1994; 102(4), 384–388.

San Martín H., 1988, *Ecología Humana y Salud. México*, La Prensa Médica Mexicana.

Ward P., 1991, *México: una mega ciudad*, México, Alianza.

Wark and Warner, 2000, *Contaminación del Aire, Origen y Control*, Editorial Limusa S. A. de C. V.
2000.

Wilson, R. and Spengler J., 1996, *Particles in Our Air*, Harvard University Press, USA.

PÁGINAS EN INTERNET

- CAM (GDF, SEMARNAT, SSA, GEM), 2002. Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002–2010. Dirección url: <http://www.sma.df.gob.mx/publicaciones/aire/proaire/proaire.htm>, consultada en febrero de 2002.
- Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID). Dirección url: <http://www.idrc.ca/aquatox/sp/whatsnu/check.html>, consultada en junio de 2002.
- Compendio Estadístico del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la ZMVM 1986–2001. Dirección url: <http://www.sma.df.gob.mx/publicaciones/aire/compendios/compendio86-01/sma.htm>, consultada en enero de 2002.
- ECOURS, 2001. Ecosistema Urbano y Salud de los Habitantes de la Zona Metropolitana del Valle de México. Dirección url: http://www.sma.df.gob.mx/publicaciones/aire/ecosistema_urbano/ecosistema.htm, consultada en enero de 2002.
- Gaceta del GEM, Legislación del Gobierno del Estado de México. Dirección url: <http://www.edomexico.gob.mx/legistel/>, consultada en mayo de 2002.
- Informe Anual de la Calidad del Aire en el Valle de México 1999. Dirección url: http://www.sma.df.gob.mx/publicaciones/aire/inf_cal_aire99/indice.htm, consultada en febrero de 2002.
- Informe Anual de la Calidad del Aire y Precipitación Ácida en el Valle de México 2000. Dirección url: http://www.sma.df.gob.mx/publicaciones/aire/aire_lluvia_2000/informe2000.htm, consultada en enero de 2002.
- LEHIGH UNIVERSITY (Reporting on the Environment: A Handbook for Journalists, 1988). Tema de Metales pesados. Dirección url: <http://www.lehigh.edu/kaf3/public/www-data/books/reporting/hvymtl.html>, consultada en julio de 2002.
- NADP, 1999. National Atmospheric Deposition Program. Dirección url: <http://nadp.sws.uiuc.edu>, consultada en enero de 2002.
- REDES –Amigos de la Tierra Uruguay Dirección url: <http://www.redes.org.uy/estudiantes/diccionario/conceptos/lluvia.htm>, consultada en mayo de 2002.
- Revista de Derecho Ecológico. Dirección url: <http://www.uson.mx/informa/derechoecologico/aire.htm>; consultada en febrero de 2002.
- UNAM-C.C.H. Deterioro Ambiental. Dirección url: <http://www.sagan-gea.org/hojared/portada1.htm>, consultada en mayo de 2002.
- Secretaría de Comercio, Normatividad. Dirección url: <http://www.economía.gob.mx>, consultada en mayo de 2002.
- Secretaría de Energía, Comisión Reguladora de Energía. Dirección url: <http://www.cre.gob.mx/mapa/html>, consultada en mayo de 2002.

PUBLICACIONES REFERENTES AL TEMA DE CALIDAD DEL AIRE, DISPONIBLES EN LA PÁGINA DE LA SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE (<http://www.sma.df.gob.mx/publicaciones/aire>)

PROGRAMAS

Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México 2002-2010; año de publicación 2002.

Hacia un programa de Calidad del Aire 2000-2010 para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México; año de publicación 2001.

Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México 1995-2000; año de publicación 1997.

COMPENDIOS

Compendio Estadístico del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la ZMVM 1986-2001; año de publicación 2002.

INFORMES BIMESTRALES DE CALIDAD DEL AIRE

Año 2002 (Mayo–Junio, Marzo–Abril, Enero–Febrero); año de publicación 2002.

Año 2001 (Noviembre–Diciembre); año de publicación 2002. (Septiembre–Octubre, Julio–Agosto, Mayo–Junio, Marzo–Abril, Enero–Febrero); año de publicación 2001.

Año 2000 (Noviembre–Diciembre); año de publicación 2001. (Septiembre–Octubre, Julio–Agosto, Mayo–Junio, Marzo–Abril, Enero–Febrero); año de publicación 2000.

Año 1999 (Noviembre–Diciembre); año de publicación 2000. (Septiembre–Octubre, Julio–Agosto, Mayo–Junio, Marzo–Abril, Enero–Febrero); año de publicación 1999.

PROYECTOS

Ecosistema Urbano y Salud de los Habitantes de la Zona Metropolitana del Valle de México; año de publicación 2002.

Representación Espacial de la Concentración de Ozono en la Ciudad de México y su Zona Conurbada; año de publicación 2002.

FOLLETOS

Folleto de Lluvia Ácida 1999; año de publicación 1999.

SIMAT; año de publicación 2002.

Mapa de Ozono; año de publicación 2002.

INFORME METEOROLÓGICO MENSUAL

Año 2002 (Mayo–Junio); año de publicación 2002.

INVENTARIO DE EMISIONES A LA ATMÓSFERA

Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 1998; año de publicación 2002.

Inventario de Emisiones a la Atmósfera de la Zona Metropolitana del Valle de México 1996; año de publicación 1998.

Inventario de "Precusores de Ozono y Monóxido de Carbono para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México 1995"; año de publicación 1997.

INFORMES ANUALES DE CALIDAD DEL AIRE

Informe Anual de la Calidad del Aire y Precipitación Ácida en el Valle de México 2000; año de publicación 2001.

Informe de la Calidad del Aire 1999; año de publicación 2000.

Informe de la Calidad del Aire 1998; año de publicación 1999.

Informe de la Calidad del Aire 1997; año de publicación 1998.

INFORMES ANUALES DE PRECIPITACIONES ÁCIDAS (a partir de la información del año 2000 se incorpora al Informe Anual de Calidad del Aire)

Anual 1999 Programa "Precipitaciones Ácidas en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México"; año de publicación 2000.

Anual 1998 Programa "Precipitaciones Ácidas en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México"; año de publicación 1999.

Anual 1997 Programa "Precipitaciones Ácidas en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México"; año de publicación 1998.

Anual 1996 Programa "Precipitaciones Ácidas en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México"; año de publicación 1997.

Anual 1995 Programa "Precipitaciones Ácidas en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México"; año de publicación 1996.

Anual 1994 Programa "Precipitaciones Ácidas en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México"; año de publicación 1995.

Jalapa 15, Col. Roma Norte, C.P. 06700
Del. Cuauhtémoc, México D.F.
Tel. (55) 5209-9903 ext. 6210, 6120, 6131 y 6133,
Fax: (55) 5511-1460/1461
calidadaire@sma.df.gob.mx