

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 (DGOH)

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 Fisicoquímica 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 hidrónio (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.