
EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DEL PROGRAMA PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AIRE EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO 2002-2010

Documento Ejecutivo

Autores:

Dra. Violeta Mugica Álvarez

Mtro. José de Jesús Figueroa Lara

Mtro. Adolfo Hernández Moreno

Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco

Documento Ejecutivo

**Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco
Av. San Pablo 180 Col. Reynosa, Tamaulipas, 02200
México, D.F., 2010.**

PRESENTACIÓN

Con el propósito de avanzar en el mejoramiento de la calidad del aire de la Zona Metropolitana del Valle de México, en febrero de 2002, los miembros que integran la Comisión Ambiental Metropolitana (CAM) presentaron el “Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010”, que reúne ochenta y nueve acciones a desarrollarse en el corto, mediano y largo plazo por los gobiernos Federal, del Estado de México y del Distrito Federal, y por diferentes sectores de la sociedad involucrados para enfrentar el impacto en la calidad del aire derivado del crecimiento de la población, la expansión de la mancha urbana y en consecuencia, por el incremento del parque vehicular, y las actividades industriales y de servicios.

El PROAIRE 2002-2010 es actualmente el principal instrumento de gestión para dirigir las líneas de acción en materia de contaminación atmosférica en la región. Para proteger la salud humana de los efectos nocivos causados por la contaminación atmosférica en la ZMVM, el PROAIRE 2002-2010 tiene como objetivo reducir los niveles de contaminación del aire de manera gradual, hasta alcanzar niveles que eviten que la población, especialmente los grupos más vulnerables, se exponga a niveles de contaminación riesgosos.

Durante los últimos ocho años, las diferentes dependencias gubernamentales, el sector educativo, el sector privado y la sociedad han desarrollado una serie de acciones contempladas por el documento del PROAIRE 2002-2010, para lograr la reducción de las emisiones contaminantes a la atmósfera, responsable de la mala calidad del aire que ocasiona el incumplimiento de las normas de salud.

A un año de que finalice este programa, es momento de realizar la evaluación y seguimiento de sus estrategias y medidas, para dar paso al diseño del siguiente Programa de Calidad del Aire que habrá de regir la política de acción en materia de contaminación atmosférica los próximos años.

En este contexto, la Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (DGGCARETC), solicitó a la Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco la realización del proyecto que se presenta en este documento y cuyo objetivo general es la Evaluación y Seguimiento del PROAIRE 2002-2010.

Entre los objetivos particulares que se pretenden cumplir en esta evaluación se tiene:

- I. Evaluar el cumplimiento de los objetivos y metas establecidas en el PROAIRE
- II. Evaluar la efectividad en la reducción de emisiones atmosféricas de las medidas y acciones implementadas en el marco del PROAIRE.
- III. Evaluar la contribución en el mejoramiento de la calidad del aire de la ZMVM por la implementación de las medidas del PROAIRE, utilizando herramientas de modelación.
- IV. Identificar y jerarquizar las medidas que deben ser consideradas por su contribución en la reducción de emisiones, para el PROAIRE 2011-2020.

- V. Identificar las medidas que deben ser replanteadas en el nuevo PROAIRE para mejorar su beneficio ambiental e incluir los puntos a fortalecer en cada medida.
- VI. Identificar las debilidades y fortalezas del PROAIRE.

Se espera que este documento de evaluación fortalezca la política ambiental de la ZMVM, así como el seguimiento y la evaluación del proceso de mitigación de la contaminación ambiental, además de contribuir tanto en la elaboración del próximo programa de calidad de aire como en las estrategias y medidas que se deriven del mismo.

El desarrollo de esta evaluación se integró en ocho capítulos que se describen brevemente a continuación:

- El capítulo 1 contiene una descripción del PROAIRE 2002-2010 y sus antecedentes: las condiciones de calidad del aire que le dieron origen y los daños a la salud que éstas propiciaron; así como los objetivos y metas del programa y las estrategias para llevarlos a cabo. De esta manera en todo momento se tendrá una referencia de lo que se está evaluando.
- En el capítulo 2 se presenta un panorama de la evolución de la Zona Metropolitana del Valle de México durante el desarrollo del PROAIRE 2002-2010. Se incluye la forma en que se ha modificado la ZMVM, el desarrollo de los factores socioeconómicos como población, vivienda, industria, transporte y consumo energético, que proporcionan el marco de condiciones que han prevalecido durante el desarrollo del programa. Así mismo, se analiza la evolución de las emisiones a la atmósfera y el sistema de medición de la calidad del aire.
- El capítulo 3 describe la metodología seguida para la evaluación del PROAIRE 2002-2010.
- En el capítulo 4 se llevó a cabo la evaluación de las reducciones alcanzadas por las diferentes estrategias y medidas. Esta evaluación se realizó en forma cuantitativa para las medidas cuyas reducciones eran cuantificables, comparando las reducciones esperadas con las alcanzadas hasta el año 2008, en el cual se tienen series completas de datos, Para el resto de las estrategias y medidas, se realizó una evaluación cualitativa.
- En el capítulo 5 se realizó la evaluación de los efectos que tuvieron las acciones realizadas en la calidad del aire, así como los beneficios a la salud y se emitieron las conclusiones y recomendaciones al respecto.
- El capítulo 6 incluye la modelación de escenarios para las concentraciones de ozono. Los escenarios modelados fueron el año 2002 cuando comenzó el PROAIRE 2002-2010, que se compara con el año 2008 y la proyección al año 2010, tanto en un escenario con la aplicación del PROAIRE como en un escenario sin la aplicación del PROAIRE.
- El capítulo 7 resume las conclusiones y recomendaciones del PROAIRE-2002-2010.

Los autores de esta evaluación agradecen a las distintas dependencias del Distrito Federal, del Estado de México y la Comisión Ambiental Metropolitana que atendieron nuestra solicitud de información. En particular agradecemos al personal de la Dirección de Programas de Calidad del Aire e Inventarios de la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal por su paciencia y amabilidad al permitirnos comparar los resultados de los cálculos de emisiones a la atmósfera con los obtenidos por ellos, así como por sus opiniones, sugerencias y colaboración en la modelación de los escenarios.

Asimismo, se agradece al Programa Fogarty, por el apoyo recibido para contar con sugerencias de expertos internacionales en calidad del aire.

CONTENIDO

1. Descripción del PROAIRE 2002-2010	13
1.1 Antecedentes	13
1.2 Efectos socioeconómicos considerados en el PROAIRE 2002-2010	14
1.3 Condiciones de la Calidad del Aire que dieron origen al programa PROAIRE 2002-2010	17
1.4 Estructura y contenido del PROAIRE 2002-2010	20
1.5 Sistema de administración	26
1.6 Documentos de referencia	27
2. Evolución de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010	29
2.1 Expansión de la ZMVM	29
2.2 Crecimiento de la población y vivienda en la ZMVM	32
2.3 Crecimiento del Sector industrial	33
2.4 Comercio y Servicios	34
2.5 Transporte	35
2.6 Uso de la Energía	37
2.7 Uso del suelo y vegetación	39
2.8 Evolución de las Emisiones Contaminantes en la ZMVM	41
2.9 Evolución del Sistema de Monitoreo Atmosférico	46
2.10 Evolución de las normas de calidad del aire	48
2.11 Documentos de referencia	49
3. Metodología de Evaluación del PROAIRE 2002-2010	51
3.1 Consideraciones generales.	51
3.2 Indicadores para la evaluación de las medidas.	53
3.3 Evaluación de la reducción de emisiones de las fuentes de emisión.	54
3.4 Evaluación de los efectos en la calidad del aire y cumplimiento de las normas de salud asociados al PROAIRE 2002-2010	54
3.5 Evaluación de los cambios en la calidad del aire a través de la modelación de escenarios	55
3.6 Documentos de referencia	58
4. Evaluación de la Reducción de Emisiones por las Estrategias	59
4.1 Estrategia de reducción de emisiones generadas por el transporte	64
4.2 Estrategia de reducción de emisiones de la industria y los servicios	70
4.3 Estrategia para la preservación y restauración de los recursos naturales y prevención de la expansión de la mancha urbana	74
4.4 Estrategia para la integración de las políticas de desarrollo urbano transporte y calidad del aire	77
4.5 Estrategia para la prevención de la exposición de la población a niveles de contaminación riesgosos Mediante la evaluación y comunicación de riesgos	77
4.6 Estrategia para el reforzamiento del marco normativo y su cumplimiento	78
4.7 Estrategia para el fortalecimiento de la educación ambiental, investigación y desarrollo tecnológico	79
4.8 Cobeneficios mediante la reducción de contaminantes urbanos y de gases de efecto invernadero	80
5. Evaluación de los Efectos en la Calidad del Aire y la Salud del PROAIRE 2002-2010	83
5.1 Evaluación de los efectos en la calidad del aire	83
5.2 Evaluación del Cumplimiento de las Normas de Salud	95
5.3 Beneficios a la Salud	100
5.4 Documentos de referencia	103
6. Evaluación de los cambios de la calidad del aire durante el PROAIRE 2002-2010a través de la modelación de escenarios.	105

6.1 Características de la modelación	105
6.2 Escenarios de modelación	111
6.3 Resultados y Discusión	112
6.4 Documentos de referencia	128
7. Conclusiones y Recomendaciones	128
7.1 Conclusiones y recomendaciones relacionadas con el alcance de los objetivos y las metas de calidad del aire y salud del PROAIRE 2002-2010.	129
7.2 Conclusiones y recomendaciones sobre el cumplimiento y las reducciones de las medidas del PROAIRE 2002-2010	131
7.3 Conclusiones y recomendaciones relacionadas con las fortalezas y debilidades en la instrumentación del PROAIRE 2002-2010	136

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1. Emisiones contaminantes por sector en 1998.	19
Cuadro 1.2. Modernización y mejoramiento tecnológico	22
Cuadro 1.3. Estrategias para industria y servicios	23
Cuadro 1.4. Grupos de trabajo del PROAIRE 2002-2010	26
Cuadro 2.1 Consumo energético por tipo de combustible en la ZMVM, 2008	39
Cuadro 2.2 Evolución de las emisiones de contaminantes de la ZMVM 1998-2008	41
Cuadro 2.3 Datos de emisión de contaminantes por tipo de fuente.	44
Cuadro 2.4 Emisión de contaminantes tóxicos por sector en la ZMVM.	45
Cuadro 2.5 Emisión de gases de efecto invernadero en la ZMVM.	46
Cuadro 2.6. Evolución del número de estaciones de monitoreo del SIMAT	46
Cuadro 2.7. Normatividad relativa a las concentraciones atmosféricas de contaminantes criterio.	48
Cuadro 4.1 Resumen de Avance de Medidas	60
Cuadro 4.2 Reducciones esperadas (al 2010) y alcanzadas (diciembre 2008)	64
Cuadro 4.3 Reducciones esperadas (al 2010) y alcanzadas (en 2008) para Vehículos y Transportes.	67
Cuadro 4.4. Recomendaciones y jerarquización de las Medidas de Vehículos y Transportes	68
Cuadro 4.5 Reducciones esperadas (al 2010) y alcanzadas (en 2008) para la Industria	71
Cuadro 4.6. Medidas de Industria	71
Cuadro 4.7 Reducciones esperadas (al 2010) y alcanzadas (en 2008) en Servicios	73
Cuadro 4.8. Recomendación y jerarquización de las Medidas de Servicios	73
Cuadro 4.9. Reducciones en gases de efecto invernadero (GEI) debidas a medidas en Transporte y Vialidad.	81
Cuadro 5.1. Eventos con incrementos extraordinarios registrados de PM ₁₀	87
Cuadro 5.2. Eventos con incrementos extraordinarios registrados de NO ₂	90
Cuadro 5.3. Eventos con incrementos extraordinarios registrados de SO ₂	91
Cuadro 5.4 Excedencia de las normas de calidad del aire para contaminantes criterio	95
Cuadro 5.5 Aplicación de las Fases I y Precontingencia Atmosféricas declaradas por la CAM de 2001 a 2008	96
Cuadro 5.6 Comparación de contingencias ambientales antes y durante el PROAIRE 2002-2010	97
Cuadro 5.7 Muertes evitadas por disminución de ozono	101
Cuadro 5.8 Muertes evitadas por disminución de PM ₁₀	101
Cuadro 6.1. Giros utilizados para realizar la caracterización de COT.	110
Cuadro 6.2. Resumen de emisiones estimadas para los escenarios (ton/año).	112
Cuadro 6.3. Correlaciones entre las estimaciones de ozono y datos medidos.	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Tendencia anual del CO	17
Figura 1.2 Tendencia anual del SO ₂	17
Figura 1.3 Tendencia anual del Pb en PST.	18
Figura 1.4 Tendencia anual de PST y PM ₁₀	18
Figura 1.5 Tendencias anuales de NO _x y NO ₂	18
Figura 1.6 Tendencias anuales de Ozono	18
Figura 1.7. Contribución porcentual de los sectores en el inventario de Emisiones 1998	19
Figura 1.8. Programa para mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México	26
Figura 2.1. La ZMVM en el 2002	30
Figura 2.2. La ZMVM después del 2006	31
Figura 2.3 Evolución de la población en la ZMVM	32
Figura 2.4. Eficiencia energética de la industria manufacturera de México.	34
Figura 2.5 Evolución del Parque Vehicular en la ZMVM	35
Figura 2.6. Evolución del sistema modal de transporte en la ZMVM	36
Figura 2.7 Ventas automotrices	37
Figura 2.8 Comparación de ventas, PIB e inflación.	37
Figura 2.9. Evolución del consumo energético en la ZMVM	38
Figura 2.10 Tendencia en el consumo de las gasolinas magna y premium.	39
Figura 2.11. Uso de suelo en la ZMVM	40
Figura 2.12. Evolución de la distribución porcentual de las emisiones a la atmósfera	42
Figura 2.13. Comparación de la evolución de las emisiones estimadas en los inventarios y las concentraciones medidas por el SIMAT.	43
Figura 2.14 Porcentaje de Emisiones en las dos entidades federativas de la ZMVM	44
Figura 2.15. Contribución porcentual por tipo de fuente a los principales contaminantes tóxicos (2006)	45
Figura 2.16 Distribución y cobertura de las estaciones del SIMAT	47
Figura 3.1. Esquemmatización de escenarios.	56
Figura 3.2. Diagrama de flujo del proceso de evaluación	57
Figura 5.1 Tendencia anual en las concentraciones (promedio y percentiles) de Ozono	84
Figura 5.2. Distribución de frecuencia de las concentraciones promedio diarias de O ₃ en ppm del primer semestre de los años 2007-2009	85
Figura 5.3 Frecuencia de días conforme a la calidad del aire por O ₃ en la ZMVM (IMECAS)	85
Figura 5.4 Evolución de las concentraciones de O ₃ en la ZMVM (1990-2008)	86
Figura 5.5 Tendencia anual en las concentraciones (promedio y percentiles 90 y 10) de PST	87
Figura 5.6 Tendencia anual en las concentraciones (promedio y percentiles 90 y 10) de PM ₁₀	88
Figura 5.7 Tendencia anual en las concentraciones (promedio y percentiles 90 y 10) de PM _{2.5}	88
Figura 5.8 Variación estacional de la concentración de partículas en 2008 (PST, PM ₁₀ y PM _{2.5})	89
Figura 5.9 Tendencia anual en las concentraciones (promedio y percentiles 90 y 10) de NO ₂	90
Figura 5.10 Tendencia anual en las concentraciones (promedio y percentiles 90 y 10) de SO ₂	91
Figura 5.11 Tendencia anual en las concentraciones (promedio y percentiles 90 y 10) de CO	92
Figura 5.12 Tendencia anual del pH de lluvia en la ZMVM (valores menores a 5.6 indican presencia de lluvia ácida)	93
Figura 5.13 Impacto de los Programas de Calidad del Aire en la reducción de contaminantes (1990-2008)	94
Figura 6.1 Dominios ó coberturas geográficas de modelación. El dominio 3 (izquierda) representa la región de la ZMVM donde se ubican las principales fuentes de emisiones antropogénicas.	106
Figura 6.2. Capas verticales empleadas en el dominio 3. Esquemmatización de la resolución vertical (dimensión 3 ó Z) de los dominios de modelación.	106
Figura 6.3. Tramos utilizados para la distribución de emisiones de fuentes móviles y distribución de los mismos en celdas del dominio 3 (derecha).	108
Figura 6.4. Representación de AGEB (polígonos irregulares color naranja) y distribución de éstos en celdas del dominio 3 (derecha).	108
Figura 6.5. Ubicación geográfica de las principales industrias establecidas en la ZMVM.	109

Figura 6.6 Localización de las estaciones de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico, así como la división política de la ZMVM (líneas negras y grises) y los sectores IMECA (línea roja).	113
Figura 6.7. Concentraciones horarias máximas de ozono del día 15/Febrero, en los escenarios base.	114
Figura 6.8. Diferencias en las emisiones de COT, CO y NOx del ESC2008 vs. PB2008 (Con PROAIRE 2008).	115
Figura 6.9. Comparación de las concentraciones horarias de los días 14, 15, 16 y 17 de febrero 2008 Con y Sin PROAIRE en las zonas suroeste, centro y sureste.	116
Figura 6.10 Comparación de las concentraciones horarias de los días 14, 15, 16 y 17 de febrero 2008 Con y Sin PROAIRE en las zonas noroeste y noreste.	117
Figura 6.11. Diferencias entre las concentraciones horarias máximas del ESC2008 frente a la PB2008.	118
Figura 6.12. Diferencias en las emisiones de COT, CO y NOx del Escenario 2010 vs. PROAIRE 2010.	119
Figura 6.13 Comparación de las concentraciones horarias de los días 14, 15, 16 y 17 de febrero 2010 Con y Sin PROAIRE en la ZMVM.	120
Figura 6.14. Diferencias entre las concentraciones horarias máximas del ESC2010 frente a la PB2010.	121
Figura 6.15 Modelación de concentraciones de ozono. Caso Base 2002.	121
Figura 6.16. Modelación de concentraciones de ozono. 2008 Sin PROAIRE	122
Figura 6.17. Modelación de concentraciones de ozono. 2008 CON PROAIRE	122
Figura 6.18. Modelación de concentraciones de ozono. 2010 Sin PROAIRE	123
Figura 6.19. Modelación de concentraciones de ozono. 2010 Con PROAIRE	123
Figura 6.20. Cambios en las concentraciones de ozono para el caso 2008. A) 14:00 hrs del jueves 14 de febrero. B) 14:00 hrs del viernes 15 de febrero. C) 14:00 hrs del sábado 16 de febrero.	124
Figura 6.22. Cambios en las concentraciones de ozono para el caso 2010. A) 14:00 hrs del jueves 14 de febrero. B) 14:00 hrs del viernes 15 de febrero. C) 14:00 hrs del sábado 16 de febrero.	126
Figura 6.23. Cambios en las concentraciones de PM ₁₀ a las 14:00 hrs del 14 de Febrero. A) Caso año 2008. B) Caso año 2010.	127
Figura 6.24. Cambios en las concentraciones de PM ₁₀ a las 14:00 hrs del 15 de Febrero. A) Caso año 2008. B) Caso año 2010.	127

LISTA DE ACRÓNIMOS

ACI	Asociación de Cámaras Industriales
ACTC	Asociación de Camioneros de Transporte de Carga
ALDF	Asamblea Legislativa del Distrito Federal
AMIA	Asociación Mexicana de la Industria Automotriz
ANPACT	Asociación Nacional de Productores de Autobuses, Camiones y Tractocamiones
ANTP	Asociación Nacional de Transporte Privado
ANTRA	Asociación Nacional de Transportistas
ANUIES	Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior
BANOBRAS	Banco Nacional de Obras
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CAM	Comisión Ambiental Metropolitana
CANACAR	Cámara Nacional de Autotransporte de Carga
CANACINTRA	Cámara Nacional de la Industria de la Transformación
CANACO	Cámara Nacional de Comercio
CANALAVA	Cámara Nacional de Lavanderías
CEA	Centros de Educación Ambiental
CECADESU	Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable
CENAM	
CENICA	Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental
CEPANAF	Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna
CETRAM	Centro de transferencia modal
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CICA	Centro de Información de la Calidad del Aire
CICA	Centro de Información de la Calidad del Aire
CIPI	Comisión Intersecretarial de Política Industrial
CMP+L	Centro Mexicano para la Producción más Limpia
COFEPRIS	Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios
COMETAH	Comisión de Asentamientos Humanos
COMETRAVI	Comisión Metropolitana de Transporte y Vialidad
CONABIO	Comisión Nacional de Biodiversidad
CONAE	Comisión Nacional para el Ahorro de Energía
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CONANP	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
CONAPO	Consejo Nacional de Población
CORENA	Comisión de Recursos Naturales
CORETT	Comisión para la regulación de la tenencia de la Tierra
CTS	Centro para el Transporte Sustentable
DGCORENADER	Dirección General de la Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural
DGGCARETC	Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes
DGPCAIE	Dirección General de Programas de Calidad del Aire e Inventarios de Emisiones
DGSPT-GEMEX	Dirección General de Seguridad Pública y Tránsito del estado de México
DOF	Diario Oficial de la Federación
EMA	Entidad Mexicana de Acreditación
EPA	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (Environmental Protection Agency)
FIDAM	Fideicomiso Ambiental del Valle de México
FIDE	Fideicomiso para el Ahorro de Energía
FOTAC	Frente de Organizaciones de Transporte
GDF	Gobierno del Distrito Federal

GEMEX	Gobierno del Estado de México
GNC	Gas natural comprimido
GLP	Gas licuado de petróleo
ICyTDF	Instituto de Ciencia y Tecnología del Distrito Federal
IMP	Instituto Mexicano del Petróleo
INE	Instituto Nacional de Ecología
INEGI	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
INER	Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias
INSP	Instituto nacional de Salud Pública
IPCC	Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (por sus siglas en inglés)
IT	Instituto del Taxi
LFC	Luz y Fuerza del Centro
MIT	Massachussets Institute of Tecnology
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONG	Organismos No Gubernamentales
PEMEX	Petróleos Mexicanos
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PROBOSQUE	Protectora de Bosques
PROFECO	Procuraduría Federal del Consumidor
PROFEPA	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente
RAMA	Red Automática de Monitoreo Atmosférico
REDDA	Red de Depósito Atmosférico
REDMA	Red Manual de Monitoreo Atmosférico
REDMET	Red de Meteorología y Radiación Solar
RTP	Red de Transporte de Pasajeros
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SCT	Secretaría de Comunicaciones y Transportes
SCT-GEMEX	Secretaría del Comunicaciones y Transportes del Gobierno del estado de México
SE	Secretaría de Economía
SECBS-GEMEX	Secretaría de Cultura y Bienestar Social del Estado de México
SEDAGRO	Secretaría de Desarrollo Agropecuario
SDE-GDF	Secretaría de Desarrollo Económico del Distrito Federal
SDUOP-GEMEX	Secretaría de Desarrollo Urbano y Obras Públicas del Estado de México
SDA-GEMEX	Secretaría de Desarrollo Agropecuario del Gobierno del Estado de México
SEDECO-DF	Secretaría de Desarrollo Económico del Distrito Federal
SEDEMET	Secretarías de Desarrollo Metropolitano
SEDENA	Secretaría de la Defensa Nacional
SEDESOL	Secretaría de Desarrollo Social
SEDUOP-GEMEX	Secretaría de Desarrollo Urbano y Obras Publicas del Gobierno del Estado de México
SEDUVI	Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda
SE-GEMEX	Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de México
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SENER	Secretaría de Energía
SEP	Secretaría de Educación Pública
SETRAVI	Secretaría de Transportes y Vialidad
SHCP	Secretaría de Hacienda y Crédito Público
SIEM	Sistema Empresarial Mexicano
SIMAT	Sistema de Monitoreo Atmosférico
SMA-GDF	Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal
SMA-GEMEX	Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México
SOS-GDF	Secretaría de Obras y Servicios del Distrito Federal

SS	Secretaría de Salud
SS-GDF	Secretaría de Salud del Distrito Federal
SS-GEMEX	Secretaría de Salud del Gobierno del Estado de México
SSP	Secretaría de Seguridad Pública
STC-M	Sistema de Transporte Colectivo–Metro
STE	Sistema de Transporte Eléctrico
STPS	Secretaría del Trabajo y Previsión Social
UACM	Universidad Autónoma de la Ciudad de México
UAEM	Universidad Autónoma del Estado de México
UAM	Universidad Autónoma Metropolitana
UAM-A	Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
UNECE	United Nations Economic Commission for Europe
WRI	World Resources Institute

1

DESCRIPCIÓN DEL PROAIRE 2002-2010

1.1 ANTECEDENTES

En la década de los sesenta los habitantes de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) comenzaron a tomar conciencia de los problemas que ocasionaba la contaminación ambiental, y aunque se realizaron los primeros intentos para reducirla, no se contaba con el conocimiento técnico suficiente ni las estructuras institucionales adecuadas. Las acciones tomadas no alcanzaron el impacto necesario para contener la contaminación, ni mucho menos para abatirla.

Al inicio de los ochenta se crea la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, se comienza a dar impulso a algunas acciones para enfrentar el problema de la contaminación atmosférica y se instala la primera Red de Monitoreo Atmosférico. A pesar de ello, la calidad del aire continuó empeorando fuertemente y se llegaron a declarar las primeras contingencias ambientales.

El Gobierno de la Ciudad publica en 1986 las *21 Acciones para Disminuir la Contaminación Atmosférica*, asimismo, el trabajo conjunto de científicos y ecologistas dio origen a las *100 Medidas Necesarias propuestas para reducir las emisiones contaminantes en 1987*.

La instrumentación del Primer Programa Integral contra la Contaminación Atmosférica (PICCA) se acordó en octubre de 1990, entre varias instituciones gubernamentales. Los esfuerzos de las acciones de los ochenta y del PICCA, derivaron en la reducción significativa de plomo, bióxido de azufre y monóxido de carbono en la atmósfera. Ese fue el resultado de la modificación de los combustibles, la restricción vehicular obligatoria, la introducción de los convertidores catalíticos, el control de emisiones evaporativas y las limitaciones a la actividad de la industria, en algunas termoeléctricas se comenzó a utilizar gas natural en lugar de combustóleo y se cerró definitivamente la Refinería 18 de Marzo. Así mismo, se implementaron medidas de reforestación y en el transporte público que se dio lugar a la sustitución de las combis por microbuses.

En 1996, la entonces Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, la Secretaría de Salud, el Gobierno del Estado de México y el entonces Departamento del Distrito Federal acordaron la instrumentación del *Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000*, conocido como PROAIRE I, con el propósito de ampliar, reforzar y dar continuidad a las medidas iniciadas a principios de la década. En ese mismo año se formó la Comisión Ambiental Metropolitana (CAM) que fungiría como una instancia coordinadora entre los distintos actores gubernamentales.

A diferencia del PICCA, el PROAIRE I planteó por primera vez objetivos cuantitativos en materia de calidad del aire en un horizonte de tiempo definido, con un conjunto de metas, estrategias e instrumentos orientados a la industria, a los vehículos, a la planeación del desarrollo urbano y al transporte público. Incluyó también algunos fundamentos de análisis económico, complementario a los enfoques normativos tradicionales, tomando en cuenta la demanda de combustibles y la utilización de vehículos, así como la consideración de medidas referidas al precio de la gasolina y a incentivos fiscales.

El objetivo del PROAIRE I estuvo enfocado explícitamente a la reducción de las concentraciones pico y promedio de ozono, con la finalidad de disminuir el riesgo a la salud asociado con la exposición de corto y largo plazo a este contaminante. Para tal fin, y dado que el ozono es un contaminante que se forma en la atmósfera a partir de los óxidos de nitrógeno y de los hidrocarburos, las medidas implementadas se dirigieron a la reducción de las emisiones de estos contaminantes.

Con el PROAIRE I se continuaron los esfuerzos para introducir tecnologías automotrices con menores emisiones contaminantes y se realizaron mejoras a las gasolinas, combustibles industriales y domésticos, destacaron: la eliminación del tetraetilo de plomo (TEP) en la formulación de las gasolinas, incorporando un compuesto oxigenante, metil terbutil éter, (MTBE) y el establecimiento de valores máximos más estrictos para el contenido de aromáticos, olefinas y benceno; la disminución del contenido de azufre y aromáticos en el diesel automotriz; la disminución del contenido de azufre en el combustible industrial y la sustitución del combustóleo ligero por el gasóleo industrial cuyo contenido de azufre es menor.

Como resultados de las medidas de PROAIRE I, a través de la década de los noventa se registró una reducción importante de emisiones a la atmósfera y se logró contener los altos niveles de contaminación atmosférica en la ZMVM, a pesar del continuo crecimiento de la población y el aumento en el consumo de combustible.

A fines de los noventa, los niveles de ozono dejaron de tener la tendencia ascendente que mantenían a principios de la década, pero permanecieron elevados en la mayoría de los días, y excedían los niveles aceptables por un factor de 2 o más. También se registraban altos niveles de partículas PM₁₀, especialmente en las zonas altamente industrializadas y comerciales, así como en zonas erosionadas.

Las reducciones más significativas correspondieron al plomo, al monóxido de carbono y al dióxido de azufre. Los óxidos de nitrógeno tuvieron una reducción moderada y el aumento en la concentración de las partículas PM₁₀ se logró contener, pero, al igual que con el ozono, con concentraciones atmosféricas superiores a la norma de calidad.

La conciencia y percepción sobre la contaminación atmosférica fue tan evidente entre la sociedad y la comunidad científica, que en la década de los ochenta y noventa se llevaron a cabo un gran número de investigaciones relacionadas con los efectos de la contaminación ambiental y sus efectos adversos en la salud de las poblaciones humanas, en las demás especies y en los ecosistemas.

Los estudios sobre los efectos en la salud se multiplicaron y a fines de la década de los noventa, las evidencias mostraban la indudable correlación entre la contaminación ambiental y ciertas enfermedades respiratorias, principalmente de tipo crónico, así como con enfermedades cardiovasculares.

Al finalizar el PROAIRE I en el año 2000, se planteó la necesidad de diseñar un nuevo programa que pudiera cuantificar los efectos en la salud, así como determinar los costos asociados a estos efectos.

1.2 EFECTOS SOCIOECONÓMICOS CONSIDERADOS EN EL DISEÑO DEL PROAIRE 2002-2010

Efectos en la salud

A pesar de que en las últimas décadas se ha logrado reunir una gran cantidad de conocimientos científicos y técnicos sobre los efectos de la contaminación en la salud humana, lo cierto es que a la fecha existe aún una gran incertidumbre respecto al alcance y magnitud real del daño a la salud y al entorno natural, lo que dificulta tanto un cálculo de costos precisos del daño ambiental (actual e histórico) como de los beneficios económicos y sociales en la reducción de contaminantes o en la protección de los recursos naturales.

Al término del PROAIRE I se hizo una recopilación de estudios y se realizaron otros para obtener mayores datos que pudieran ser de utilidad para el diseño de un nuevo Programa de Calidad del Aire.

Los síntomas causados por la exposición a la contaminación del aire son conocidos por los habitantes de la ZMVM; se manifiestan principalmente en dolor pulmonar, tos, dolores de cabeza, malestares en la garganta, irritación y lagrimeo de los ojos, por mencionar algunos.

La Secretaría de Salud del Distrito Federal ha reportado que la exposición a la contaminación del aire está relacionada con serios trastornos a la salud entre los que destacan:

- El Incremento en la frecuencia de enfermedades respiratorias crónicas y agudas.
- Aumento en la frecuencia de muertes asociadas a la contaminación atmosférica.
- Disminución de la capacidad respiratoria.
- Aumento de ataques de asma.
- Incremento de casos de enfermedades cardíacas.
- Aumento en la frecuencia de cánceres pulmonares.

En la población existen algunos subgrupos que son más susceptibles a los efectos de la contaminación del aire, dentro de los que se encuentran personas con problemas coronarios, asmáticos, con enfermedades pulmonares, niños y adultos mayores. Factores como la pobreza, mala nutrición, edad, sexo u origen genético, también influyen en el riesgo y el impacto de la contaminación del aire. En general, la población con mayor riesgo a la exposición de contaminantes está constituida por los niños menores de 5 años, las personas de la tercera edad (mayores de 65 años), las personas con enfermedades cardíacas y respiratorias y los asmáticos. Varios estudios coinciden en el hecho de que la mortalidad atribuible a la contaminación atmosférica, ocurre principalmente en individuos que ya tienen alguna enfermedad cardíaca, alguna enfermedad respiratoria, en las personas de edad avanzada y en los niños.

En el año 2002 la Organización Mundial de la Salud (OMS) estimaba que la contaminación era la responsable a nivel mundial del 1.4% de las muertes. La exposición aguda y crónica a la contaminación del aire se asocia con el incremento de la mortalidad y morbilidad por problemas cardiovasculares y respiratorios. Por otra parte, las exposiciones a la contaminación del aire durante el embarazo y durante los periodos tempranos de la vida se han asociado con nacimientos prematuros, retraso en el crecimiento intrauterino, bajo peso al nacer, síndrome de muerte temprana y mortalidad.

En cuanto a los efectos a la salud producidos por los diferentes contaminantes, se sabe que el ozono es un gas altamente reactivo, y su impacto en la salud se asocia con la disminución de la función pulmonar en individuos que hacen ejercicio entre liviano y pesado. El daño se debe a su capacidad de oxidación causando inflamación, además reduce la capacidad del aparato respiratorio para combatir las infecciones y remover las partículas externas. Afecta los mecanismos de defensa, por lo que puede provocar un aumento de las infecciones respiratorias.

El dióxido de azufre puede producir cambios en la función pulmonar en asmáticos y exacerba los síntomas respiratorios, en individuos sensibles provoca tos, irritación de nariz y garganta, secreción mucosa y bronquitis crónica, además de aumentar la propensión en individuos sensibles de contraer infecciones en el sistema respiratorio. Por su parte, el dióxido de nitrógeno es un gas poco soluble, irritante y oxidante que puede alcanzar los bronquiolos y los alvéolos. Después de exposiciones a NO_2 se presentan síntomas como irritación de nariz y garganta, seguidos de bronco constricción y disnea.

En cuanto a las partículas suspendidas, las partículas mayores no penetran al sistema respiratorio puesto que son capturadas por mecanismos de limpieza, sin embargo las PM_{10} penetran directamente al aparato respiratorio y dependiendo de su tamaño pueden acumularse en diferentes sitios dentro del mismo. Las PM_{10} penetran hasta la zona traqueo bronquial, mientras que las $\text{PM}_{2.5}$ pueden penetrar

hasta los alvéolos pulmonares. La toxicidad de las partículas no solamente depende de su tamaño sino también de su composición química y por lo tanto de la fuente de emisión.

El aire de la ZMVM está frecuentemente contaminado con cientos de compuestos orgánicos volátiles, metales y otras sustancias que podrían incrementar potencialmente el riesgo de cáncer y otros efectos sistémicos a la salud. Resulta complejo evaluar la problemática ocasionada por la exposición a todos estos contaminantes tóxicos debido a su número, su baja concentración y un pobre entendimiento de las sinergias entre los compuestos.

Entre los estudios realizados en la década de los noventa durante el PROAIRE I se reportaba que por cada aumento de 10 ppb en los niveles de ozono se puede tener un incremento de 0.6% en los casos de mortalidad aguda y un incremento de 1% en los casos de mortalidad prematura, mientras que cada aumento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en los niveles de PM_{10} puede producir un incremento de entre 0.6% y 3.5% en los casos de mortalidad aguda y de 3% a 3.8% en los casos de mortalidad crónica. Así mismo, un aumento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en los niveles de $\text{PM}_{2.5}$ puede provocar un incremento de 1.7% en la mortalidad total.

Al final del PROAIRE I se consideraba que en el caso del ozono, si las concentraciones promedio actuales se redujeran en un 62% (con lo cual se cumpliría la norma de protección a la salud), se evitarían anualmente:

- Alrededor de 20 500 casos de admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias,
- cerca de 132 500 visitas a la sala de emergencias por padecimientos respiratorios,
- la pérdida de productividad y bienestar debidos a más de 15 millones de días de actividad restringida en adultos,
- más de 20 500 ataques de asma,
- más de 2 500 casos de síntomas en niños.

Con respecto a las PM_{10} , los beneficios que se obtendrían como resultado de reducir las concentraciones actuales hasta cumplir con la norma de protección a la salud, se traducirían en evitar:

- Más de 2 000 casos de admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias y Cardiocerebrovasculares,
- más de 26 000 visitas a la sala de emergencias por padecimientos respiratorios,
- la pérdida de productividad y bienestar debidos a más de 9 millones de días de actividad restringida en adultos,
- la pérdida de productividad debida a más de 940 000 días laborales destinados por las mujeres a la atención de los niños enfermos,
- la presencia de efectos en aproximadamente 3 mil 600 niños que padecen asma,
- alrededor de 6 700 nuevos casos de bronquitis crónica y más de mil casos de tos crónica en niños.

Beneficios económicos por la reducción de la contaminación del aire en la ZMVM.

En el año 2000 se realizó una estimación de los costos de oportunidades por la disminución de la contaminación, utilizando estudios realizados en otros sitios. Los costos de oportunidad se cuantificaron en términos de los costos directos para el tratamiento de padecimientos. La pérdida de productividad se estimó considerando que las enfermedades asociadas a la contaminación conllevan a una disminución de la producción que se interpreta mediante los días perdidos debido a la contaminación del aire, además se considera la pérdida de productividad que ocurre cuando se presentan las contingencias ambientales. También se consideró en esta valoración, la pérdida de capital humano para estimar la pérdida de productividad. Los beneficios económicos totales de una reducción del ozono hasta cumplir

con la norma se estimaban entre 717 y 1 129 millones de dólares para el año 2010. Una reducción de las concentraciones de PM_{10} hasta niveles dentro de la norma tendría un beneficio de 3 mil millones a 5 mil 595 millones de dólares para el año 2010.

La principal razón de que se piense que los beneficios por la reducción de PM_{10} sean mayores que para el ozono, se debe a que las PM_{10} han sido implicadas como una causa de mortalidad por efectos crónicos en los estudios de mortalidad mientras que no se han encontrado tales evidencias para el ozono.

1.3 CONDICIONES DE LA CALIDAD DEL AIRE QUE DIERON ORIGEN AL PROGRAMA PROAIRE 2002-2010

Como se mencionó anteriormente, al finalizar el PROAIRE I, si bien había logrado disminuirse la contaminación debida al plomo, bióxido de azufre monóxido de carbono y se había revertido la tendencia creciente de ozono y partículas, sus niveles eran aún inaceptables, ya que continuaban excediendo los estándares nacionales permisibles la mayor parte del año, poniendo en riesgo la salud y el bienestar de los habitantes de la ZMVM. Las Figuras 1.1 y 1.2 muestran los logros alcanzados por los programas de calidad de aire mencionados PICCA y PROAIRE I con el CO y SO_2 , los cuales han tenido una disminución decreciente homogénea, aunque debe mencionarse que durante todo el periodo y hasta el 2002, algunas estaciones cercanas a zonas industriales registraban picos de concentración mayores a 0.22 ppm.

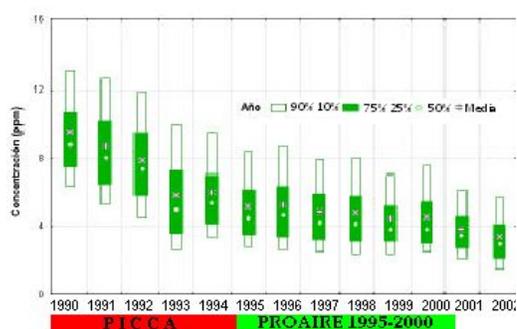


Figura 1.1 Tendencia anual del CO

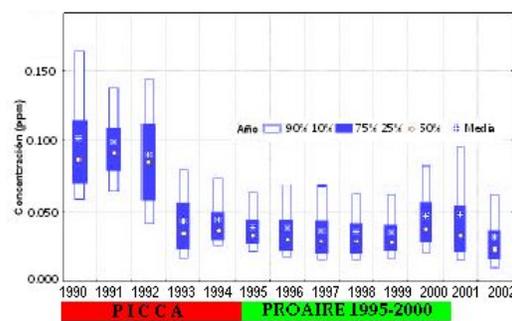


Figura 1.2 Tendencia anual del SO_2

La Figura 1.3 muestra el comportamiento de las concentraciones de plomo en partículas PST y PM_{10} , que cumplen la norma de calidad del aire, lo cual fue el reflejo del cambio de uso de gasolina con plomo a gasolina sin plomo. La Figura 1.4 presenta las concentraciones de PST y PM_{10} , en cuyos casos, aunque también hubo una tendencia decreciente, seguía persistiendo un alto porcentaje de valores sobre norma.

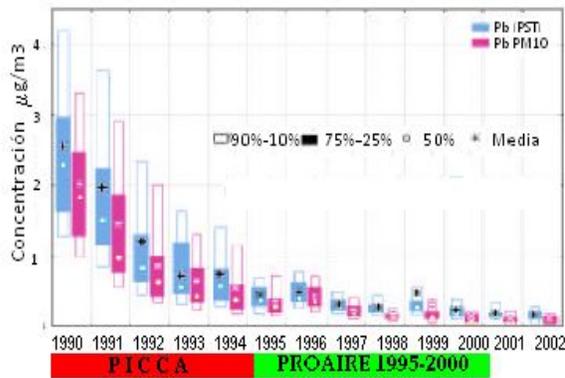
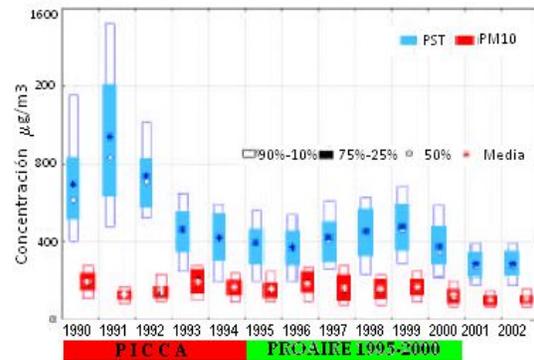


Figura 1.3 Tendencia anual del Pb en PST.

Figura 1.4 Tendencia anual de PST y PM₁₀

La Figura 1.5 muestra que también para los NO₂ ha habido una tendencia decreciente, aunque en el caso de los NO_x se muestra un comportamiento irregular. Las aún elevadas concentraciones de NO_x explican en parte las altas concentraciones de ozono que se presentan en todo el periodo, no obstante su tendencia a descender (Figura 1.6).

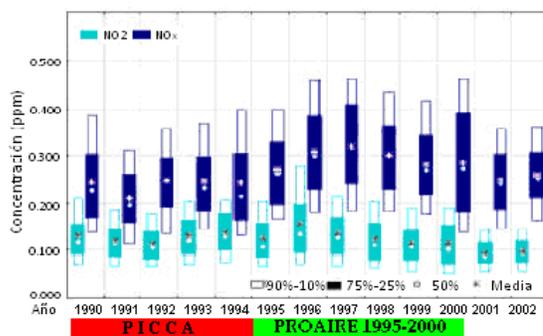
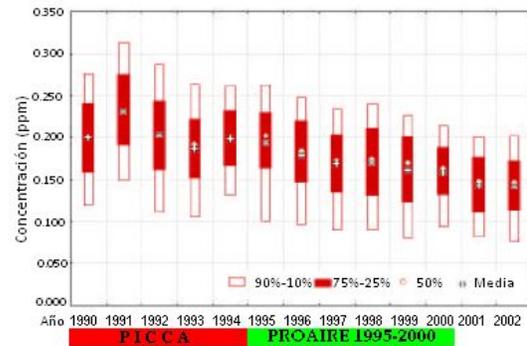
Figura 1.5 Tendencias anuales de NO_x y NO₂

Figura 1.6 Tendencias anuales de Ozono

El Inventario de Emisiones de la ZMVM del año 1998 se utilizó como base para la formulación de las estrategias y medidas de control de las fuentes que aportaban una mayor emisión de contaminantes. El Cuadro 4.1 muestra las emisiones totales por sector de los diferentes contaminantes primarios estimadas en 1998.

Para el diseño de las medidas de control, se analizaron las emisiones fuente por fuente de cada uno de los sectores. En 1998 las contribuciones más altas de PM₁₀ correspondían al suelo (40%) y a la flota vehicular (36%), principalmente la flota de autobuses, tractocamiones y camiones a diesel. El CO provenía en 98% de las fuentes móviles, los NO_x en 80% de las fuentes móviles y 13% de las fuentes puntuales, en cuanto al SO₂, las fuentes puntuales aportaban el 55%, las fuentes de área el 24% y las fuentes móviles el 21%, finalmente las fuentes de área eran las principales contribuyentes de hidrocarburos (HC) con 52% y las fuentes móviles con 40%.

Cuadro 1.1. Emisiones contaminantes por sector en 1998.

Sector	Ton/año				
	PM ₁₀	SO ₂	CO	NO _x	HC
Fuentes puntuales	3,093	12,442	9,213	26,988	23,980
Fuentes de área	1,678	5,354	25,960	9,866	247,599
Vegetación y suelos	7,985	N/A	N/A	3,193	15,669
Fuentes móviles	7,133	4,670	1,733,663	165,838	187,773
Total	19,889	22,466	1,768,836	205,885	475,021

N/A. No aplica

La Figura 1.7 muestra la contribución porcentual al total de las emisiones por cada uno de los sectores, donde se observa la importante contribución de las fuentes móviles. En el año 1998, del total de vehículos que circulaban diariamente en la ZMVM, el 94% corresponde a los vehículos que utilizaban gasolina como combustible, el 5% corresponde a aquellos que utilizaban diesel y el resto corresponde a los camiones de carga que consumían gas LP. En el año 1998, el 52% de los vehículos a gasolina y el 82% de los vehículos a diesel correspondían a unidades de 1990 o anteriores.

El Inventario de Emisiones de 1998 expuso la prioridad de diseñar medidas de control que redujeran las emisiones de fuentes móviles para alcanzar un fuerte impacto en las reducciones. Así mismo evidenció que para las fuentes puntuales y las fuentes de área era necesario en forma prioritaria, la formulación de medidas que controlaran las emisiones de SO₂ y HC respectivamente.

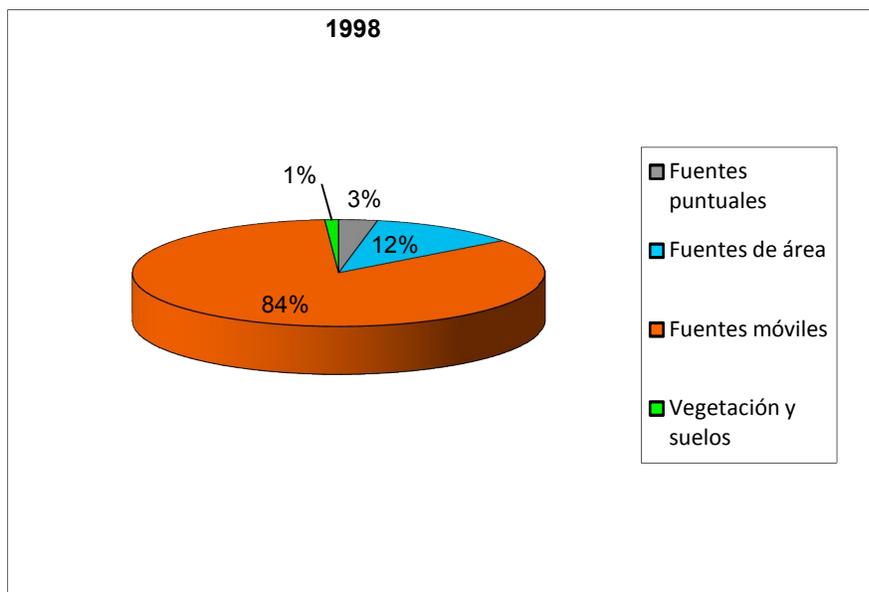


Figura 1.7. Contribución porcentual de los sectores en el inventario de Emisiones 1998

En el año 2000 la Comisión Ambiental Metropolitana asumió el compromiso de elaborar un nuevo programa de calidad de aire que reforzara y diera continuidad a las acciones realizadas en materia de prevención y control de la contaminación atmosférica, con énfasis en los contaminantes que excedían en mayor número de días las normas de calidad del aire.

1.4 ESTRUCTURA Y CONTENIDO DEL PROAIRE 2002-2010

El PROAIRE 2002-2010 tiene el objetivo de proteger la salud humana de los efectos nocivos causados por la contaminación atmosférica en la ZMVM.

Se requería reducir los niveles de contaminación del aire que prevalecían al inicio del siglo XXI, hasta alcanzar niveles que aseguraran la protección a la salud y evitar así que la población (especialmente los grupos más vulnerables) se expusiera a niveles de contaminación riesgosos.

El proceso de análisis y evaluación en el cual se basó el desarrollo del PROAIRE 2002-2010 se fundamentó en primer lugar en el análisis de las principales causas que determinaban la generación de contaminantes atmosféricos, entre las cuales destacan el crecimiento de la población, el crecimiento económico, la expansión de la mancha urbana, los patrones de uso del suelo, el crecimiento de la flota vehicular, los índices de motorización, las políticas ambientales, el consumo de energía y la calidad de los combustibles, entre otros.

En segundo lugar, se analizó la generación de contaminantes en los diferentes sectores de actividad de la ZMVM, así como sus tendencias. Se revisó también la situación actual de la calidad del aire y se estimaron los niveles que resultarían en caso de no aplicarse acciones adicionales. También se evaluaron los efectos a la salud asociados con los niveles de contaminación del aire prevalecientes y sus proyecciones.

Para cumplir el objetivo del PROAIRE 2002-2010 se establecieron distintas metas relacionadas con las disminuciones que podrían alcanzarse de acuerdo con los compromisos de la CAM y los diversos actores involucrados.

Metas para Ozono

1. Eliminar concentraciones de ozono superiores a 200 IMECA.
2. Reducir el número de días en que las concentraciones de ozono se encuentren en el intervalo de 101 a 200 IMECA.
3. Aumentar el número de días con concentraciones de ozono dentro del límite establecido por la norma (100 puntos IMECA o menos).

Metas para PM₁₀

1. Aumentar el número de días en que las concentraciones diarias de PM₁₀ se encuentran dentro del límite establecido por la norma.
2. Reducir el promedio anual de las concentraciones de PM₁₀.

Metas para PM_{2.5}

1. Establecer oficialmente un límite a la concentración de partículas con un diámetro menor a 2.5 micrómetros. Habiéndose previsto los siguientes límites
 - 65 µg/m³ para promedios de 24 horas.
 - 15 µg/m³ como promedio anual.

Metas para otros contaminantes.

1. Eliminar concentraciones de monóxido de carbono que excedan el límite de 9 ppm (promedio de 8 horas).

2. Reducir las concentraciones actuales de monóxido de carbono.
3. Reducir las concentraciones promedio diario de dióxido de azufre.
4. Reducir la concentración promedio anual de dióxido de azufre.
5. Evitar la ocurrencia de picos extraordinarios asociados con el uso indebido de combustibles de alto contenido de azufre.

ESTRATEGIAS DE REDUCCIÓN

La información científica disponible indicaba que la reducción del O₃, PM₁₀ y PM_{2.5} debía hacerse en forma integrada. Para alcanzar simultáneamente las metas de los tres contaminantes se requería la reducción de las emisiones de los contaminantes primarios que les dan origen. Así, el programa se enfocó a reducir las emisiones de los siguientes contaminantes primarios:

- Partículas provenientes de vehículos automotores a gasolina y diesel, polvo de calles y carreteras, industriales, procesos de combustión de comercios y servicios, incendios forestales, entre otros.
- Óxidos de nitrógeno generados principalmente en los procesos de combustión de la industria y los vehículos automotores,
- Compuestos orgánicos volátiles provenientes del uso de combustibles y productos orgánicos en los sectores del transporte, la industria, servicios y doméstico, y
- Dióxido de azufre generado por la combustión en vehículos e industria.

La evaluación del impacto de algunas de las medidas de control incluidas en el PROAIRE 2002-2010, se basó en el inventario de emisiones de 1998 y en proyecciones al año 2010 considerando los siguientes tres escenarios: a) Caso base con las emisiones del inventario de 1998, b) Proyección con las emisiones al 2010 sin medidas de reducción adicionales a las actuales, c) Proyección al 2010 con algunas medidas que fueron evaluadas en su reducción de emisiones.

Para cumplir con las metas de calidad del aire, los trabajos de formulación del programa se orientaron a través de grupos especializados, los cuales contaron con una amplia participación de diversos sectores, que se involucraron para desarrollar las estrategias que debían instrumentarse para reducir las emisiones contaminantes generadas por el transporte, la industria, los servicios, la generación de energía eléctrica, las actividades domésticas y la degradación de los recursos naturales.

Las estrategias que se formularon para cumplir con las metas se integraron en ocho rubros principales.

I. Estrategia de Reducción de emisiones generadas por transporte.

La estrategia de reducción de emisiones generadas por el transporte incluye los siguientes componentes:

A) Modernización y mejoramiento tecnológico (reducción de emisiones). (Cuadro 1.1).

- Vehículos en circulación
- Vehículos nuevos

B) Mejoramiento de la capacidad de transporte de pasajeros y carga (Cuadro 1.2).

- Transporte público de pasajeros
- Racionalización y regulación del transporte de carga

C) Mejoramiento de las condiciones de vialidad (incremento de la velocidad de circulación)

- Instrumentación de corredores viales para agilizar la circulación del transporte público,
- Mejoramiento de infraestructura y señalización vial.

D) Reducción de la tasa de crecimiento de viajes por persona y distancias recorridas por viaje:

- Integración de las políticas metropolitanas de desarrollo urbano, transporte y medio ambiente,
- Vinculación con las políticas de desarrollo sustentable a nivel federal, del Estado de México y el Distrito Federal.

Cuadro 1.2. Modernización y mejoramiento tecnológico

ESTRATEGIA DE TRANSPORTE	
A. Modernización y mejoramiento tecnológico	
Vehículos en circulación	Vehículos Nuevos
<ul style="list-style-type: none"> • El fortalecimiento de la verificación vehicular, de vehículos a gasolina y sobre todo de los vehículos a diesel, • La retro adaptación de sistemas de control de emisiones, • La instalación de convertidores catalíticos en vehículos a gasolina, • La retro adaptación de trampas de partículas en vehículos a diesel, • La sustitución de motores y trenes motrices en vehículos a diesel, • Conversión a gas natural comprimido con sistemas certificados, • Regularización del uso de gas licuado de petróleo, • Detención y retiro de vehículos ostensiblemente contaminantes, • Sustitución de vehículos de servicio público que no cumplan con requerimientos ambientales, de seguridad y otros. 	<ul style="list-style-type: none"> • Introducción de vehículos a gasolina que cumplan con límites de emisión gradualmente más estrictos (TIER II), • En el corto plazo, establecimiento de normas de emisión equivalentes a TIER II, • En el mediano plazo, establecimiento de normas e incentivos para acelerar la introducción de vehículos de emisiones ultra bajas (híbridos, GNC, etc.) y emisiones cero, • Introducción de gasolina de menor contenido de azufre (Magna de 300 ppm en el corto plazo y Premium de 50 ppm), • Introducción de vehículos a diesel que cumplan con límites de emisión gradualmente más estrictos, • En el corto plazo, establecimiento de normas de emisión de vehículos a diesel equivalentes a EPA 2004 y Euro IV, • Introducción de diesel de menor contenido de azufre.
B) Mejoramiento de la capacidad de transporte de pasajeros y carga	
Mejoramiento de la capacidad de transporte público de pasajeros	Racionalización y regulación del transporte de carga
<ul style="list-style-type: none"> • Sustitución de microbuses por autobuses • Aumento de factor de ocupación • Ordenamiento del transporte público de superficie, • Mejoramiento del transporte masivo (metro, tren ligero, trenes suburbanos, autobuses urbanos, etc). 	<ul style="list-style-type: none"> • Regulación espacial y temporal del tránsito de vehículos de carga, • Definición de mecanismos para optimizar la distribución de carga (vehículos pesados para transporte interurbano, vehículos de menor capacidad para transporte intraurbano, articulados con centros de consolidación de carga).

II Reducción de emisiones en la industria y los servicios.

Las líneas estratégicas vinculadas con la reducción de emisiones en la industria y la elevación del desempeño ambiental del sector industrial y de servicios se resumen a continuación (Cuadro 1.2):

- A) Modernización de la gestión para el control de emisiones.
- B) Mejoramiento de la competitividad y la gestión ambiental.

Cuadro 1.3. Estrategias para industria y servicios

ESTRATEGIAS DE INDUSTRIA Y SERVICIOS	
A. Modernización de la gestión para el control de emisiones	
Control de emisiones	Instrumentos de regulación indirecta
<ul style="list-style-type: none"> • Modernización del marco regulatorio, • Consolidación de la Licencia Ambiental Única, la Cédula de Operación Anual y el Sistema Integrado de Regulación y Gestión Ambiental de la Industria (SIRG), • Consolidación del Registro Metropolitano de Emisiones y Transferencia de Contaminantes, • Ampliación y aplicación de instrumentos de regulación directa, • Mejoramiento del acceso a alternativas de financiamiento dirigidas 	<ul style="list-style-type: none"> • Impulso a los programas de regulación voluntaria y procesos de producción más limpia, • Promoción de auditorías ambientales, • Impulso a programas de ahorro de energía y ecoeficiencia, • Impulso al uso de combustibles y tecnologías limpias, • Desarrollo de infraestructura y servicios ambientales, • Desarrollo y aplicación de instrumentos económicos.
B. Mejoramiento de la competitividad y la gestión ambiental	
Impulso de creación y consolidación de regiones industriales	Condiciones básicas
<ul style="list-style-type: none"> • Operar con un bajo consumo de agua. • Un uso eficiente de energía eléctrica. • Un bajo volumen de desechos sólidos. • Cero emisiones contaminantes a la atmósfera. 	<ul style="list-style-type: none"> • Promoción industrias limpia. telecomunicaciones, informática, electrónica, alta tecnología, etc. • Incubadoras de empresas • Servicios especializados • Reducción termoeléctricas

III Preservación y restauración de los recursos naturales y prevención de la expansión de la Mancha

Urbana.

Los recursos naturales están sujetos a fuertes presiones de degradación, algunas de tipo natural y otras provocadas por actividades humanas. Para mitigar estos procesos se propuso:

- Recuperación y conservación de los recursos naturales de la Zona Metropolitana del Valle de México,
- Fortalecimiento de instrumentos de gestión ambiental que coadyuven a la aplicación del Ordenamiento Ecológico,
- Impulso al Desarrollo Rural,
- Protección y vigilancia de los recursos naturales

IV Integración de las políticas de desarrollo urbano, transporte y calidad del aire.

Políticas relacionadas con la gestión de la estructura urbana intrametropolitana, fueron incorporadas como un elemento fundamental para el mejoramiento de la calidad del aire, incluyendo los siguientes aspectos:

- Desarrollo de incentivos y modificación del marco jurídico en materia de desarrollo urbano para evitar un crecimiento ambientalmente destructivo de la mancha urbana y la distribución funcionalmente ineficiente de la densidad de población.
- Adecuación del marco jurídico laboral y de los horarios de entrada y salida de las escuelas y de las dependencias del sector público.
- Superación de las inercias vigentes en las oficinas de atención al público tanto en el gobierno federal como en los locales.

V Prevención de la exposición de la población a niveles altos de contaminación, mediante la evaluación y comunicación de riesgos.

Para evitar o mitigar los efectos a la salud asociados con la contaminación atmosférica, el PROAIRE integra las siguientes estrategias:

- Difusión de la información sobre la calidad del aire, para que la población evite zonas de alta contaminación en horas y días específicos, además de inducir a una cultura ambiental de responsabilidades públicas y privadas para la prevención de la contaminación.
- Orientación de la población con medidas para proteger la salud, con la finalidad de dar opciones para evitar la exposición y adoptar hábitos de vida que prevengan contra la contaminación del aire.
- Actualización del Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas, reforzando medidas para la protección de escolares ante episodios de elevada contaminación.
- Actualización e incorporación de nuevas normas para protección de la salud, con la finalidad de establecer objetivos de calidad del aire acordes con las necesidades de preservación de la salud.
- Modernización del programa de vigilancia epidemiológica de la Zona Metropolitana del Valle de México, para fortalecer el seguimiento de indicadores de los síntomas y padecimientos relacionados con la exposición a los contaminantes del aire, dirigido a la diferenciación de dichos efectos por grupos de población específicos.

VI Reforzamiento del marco normativo y su cumplimiento.

Se requerían reglamentos que faciliten la aplicación de las leyes ambientales correspondientes, actualizar las normas federales e instrumentar normas locales. Propuestas:

- Actualización del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica.
- Emisión y en su caso actualización de los reglamentos locales para fuentes fijas y móviles.

- Adecuación de los reglamentos locales al nuevo reglamento federal.
- Revisión y actualización de normas vigentes, y emisión de nuevas normas en materia de atmósfera a nivel federal y local.
- Fortalecimiento de los programas de vigilancia industrial y vehicular, y de preservación de los recursos naturales.

VII Fortalecimiento de la educación ambiental, investigación y desarrollo tecnológico.

Se tomaron en cuenta los lineamientos del *Programa Rector Metropolitano de Educación Ambiental (PREMIA)*, así como los planteamientos y necesidades técnicas particulares del PROAIRE 2002-2010.

- Educación formal: Promover la participación de las instituciones del sector educativo para que los programas y materiales incorporen el tema ambiental como parte integral de sus contenidos.
- Educación no formal: Desarrollar actividades para promover una cultura ambiental que coadyuve en el mejoramiento de la calidad del aire.
- Información, formación y capacitación ambiental: Promover el acceso a la información sobre los aspectos relacionados con la gestión del aire entre los diferentes sectores de la sociedad y establecer los lineamientos generales para la capacitación obligatoria de los sectores productivos y las autoridades.
- Comunicación y difusión educativa ambiental: Instrumentar campañas de comunicación educativa para incidir en los hábitos de audiencia y percepción social de los riesgos ambientales, así como impulsar el desarrollo de proyectos de investigación y tecnologías para mejorar el conocimiento científico y propiciar la reducción de emisiones en la ZMVM.

VIII Cobeneficios mediante la reducción de contaminantes urbanos y de gases de efecto invernadero.

El PROAIRE 2002-2010 está también dirigido a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). La mitigación de GEI puede lograrse mediante la conservación y aumento de los bosques (captura de carbono) y la promoción del uso eficiente y de las fuentes renovables de energía (disminución del uso de combustibles fósiles).

En el mes de febrero del año 2002, la Comisión Ambiental Metropolitana presentó el Programa para Mejorar la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010. Para cumplir las estrategias mencionadas el programa se integró con 89 medidas.

- | | |
|--|------------|
| • Estrategias de transporte: | 38 medidas |
| • Estrategias de industria: | 7 medidas |
| • Estrategias de servicios: | 9 medidas |
| • Estrategias de Conservación de Recursos naturales: | 15 medidas |
| • Estrategias de protección a la salud | 8 medidas |
| • Estrategias de educación ambiental | 4 medidas |
| • Estrategias de fortalecimiento institucional | 8 medidas |

1.5 SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN

Para coordinar la implementación de las 89 medidas establecidas en el PROAIRE 2002-2010, en el mes de abril del año 2002, quedaron integrados 11 grupos de trabajo, cuyo funcionamiento quedó a cargo de los integrantes del Comité de Seguimiento de la Comisión Ambiental Metropolitana (CAM), así como de la Secretaría de Salud y del Instituto Nacional de Ecología (INE). Cuadro 1.3.

Cuadro 1.4. Grupos de trabajo del PROAIRE 2002-2010

Gobierno del Estado de México			Gobierno del Distrito Federal		
No.	Grupo	Institución	No.	Grupo	Institución
1	Industria y Servicios 15 medidas	Secretaría del Medio Ambiente	4	Control Vehicular 9 medidas	Secretaría del Medio Ambiente
2	Recursos Naturales 15 medidas	Secretaría del Medio Ambiente	5	Educación Ambiental 4 medidas	Secretaría del Medio Ambiente
3	Vialidad 6 medidas	Secretaría de Comunicaciones	6	Transporte 17 medidas	Secretaría de Transportes y Vialidad

Gobierno Federal					
No.	Grupo	Institución	No.	Grupo	Institución
7	Energía 6 medidas	SEMARNAT	10	Salud 7 medidas	Comisión Federal para la Prevención Contra Riesgos Sanitarios
8	Normatividad 6 medidas	SEMARNAT	11	Investigación 3 medidas	Instituto Nacional de Ecología
9	Financiamiento 1 medida	SEMARNAT			



Figura 1.8. Programa para mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México

1.6 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

- Cesar, H. G., M. Schadler, et al. (2002). Air pollution abatement in Mexico City: an economic valuation World Bank report.
- Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en el Valle de México. (1995). Avances Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. México.
- Chicurel R.; López E.; Serranía F.; Sheinbaum C. (2000). Study for the Implementation of an Electric Bus Route for Mexico City. Energy Engineering, vol. 97, No. 5.
- CAM-MIT. (2000). Programa Integral sobre Contaminación Urbana, Regional y Global: el Caso de Estudio de la Ciudad de México.
- Comisión Ambiental Metropolitana. (2002). Programa para mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010. Mexico D.F, Gobierno del Distrito Federal, Gobierno del Estado de México, Secretaría de Medio Ambiente y recursos Naturales, Secretaría de Salud.: 381.
- Comisión Ambiental Metropolitana. (2004). Primer Informe del Programa para mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010.
- Evans, J., J. Levy, et al. (2002). Health benefits of air pollution control. In Air Quality in the Mexico Megacity. An Integrated Assessment. L. Molina and M. Molina. Netherlands, Kluwer Academic Publishers.
- Harvard School of Public Health. (2000). Mexico City air pollution and human health. Instituto de Salud, Ambiente y Trabajo, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. México, D. F. Boston, MA. USA.
- Holguín M. F. (2000). Efecto a la exposición a partículas suspendidas PM₁₀ y PM_{2.5} en población susceptible de la ciudad de México: Una investigación sobre el mecanismo de daño para apoyar el desarrollo de normatividad ambiental. Instituto Nacional de Salud Pública. Centro de Investigaciones en Salud Poblacional. CONSERVA. México.
- Loomis, D., M. Castillejos. (1999). Epidemiology **10**(2): 118-23.
- OPS, Evaluación de los efectos de la contaminación del aire en la salud de América Latina y el Caribe, Washington, 2005.
- Organización Mundial de la Salud (OMS), Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material p particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Resumen de evaluación de los riesgos, Ginebra, 2006.
- Romieu, I., F. Meneses, et al. (1996). "Effects of air pollution on the respiratory health of asthmatic children living in Mexico City." Am J Respir Crit Care Med 154(2 Pt 1): 300-7.
- Rosas P. I. (2000). Potencial tóxico y pro inflamatorio de las partículas contaminantes: Un estudio experimental comparativo entre las PM₁₀ y las PM_{2.5} de dos zonas de la Ciudad de México. Centro de Ciencias de la Atmósfera. UNAM-CONSERVA. México.

Rosales-Castillo, J. A., V. M. Torres-Meza, et al. (2001). "[Acute effects of air pollution on health: evidence from epidemiological studies]." *Salud Publica Mex* 43(6): 544-55.

SMA-GDF. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. (20001). Informe de actividades.

SMA-GDF. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. 2002. Informe del estado actual del aire y tendencias.

SMA-GDF. (2006). Avances del Programa para mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010.

2

EVOLUCIÓN DE LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO 2002-2010

La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), forma parte de una cuenca endorreica¹ y abarca la totalidad del Distrito Federal y parte del Estado de México. Se ubica en la parte Este de la región conocida como Sistema Neovolcánico Transversal, formando parte del ecosistema de Bosque Templado y de la región fisiográfica del Eje Neovolcánico. Se sitúa entre los 19° 03´-19° 54´ de latitud Norte, y los 98° 38´-99° 31´ de longitud Oeste. Esta geoposición de la ZMVM permite que resulte afectada a lo largo del año por sistemas anticiclónicos, los cuales mantienen el cielo despejado facilitando la recepción de una intensa radiación solar. Dicha radiación, acelera la realización de reacciones fotoquímicas que dan origen a contaminantes secundarios como el ozono y los aerosoles secundarios.

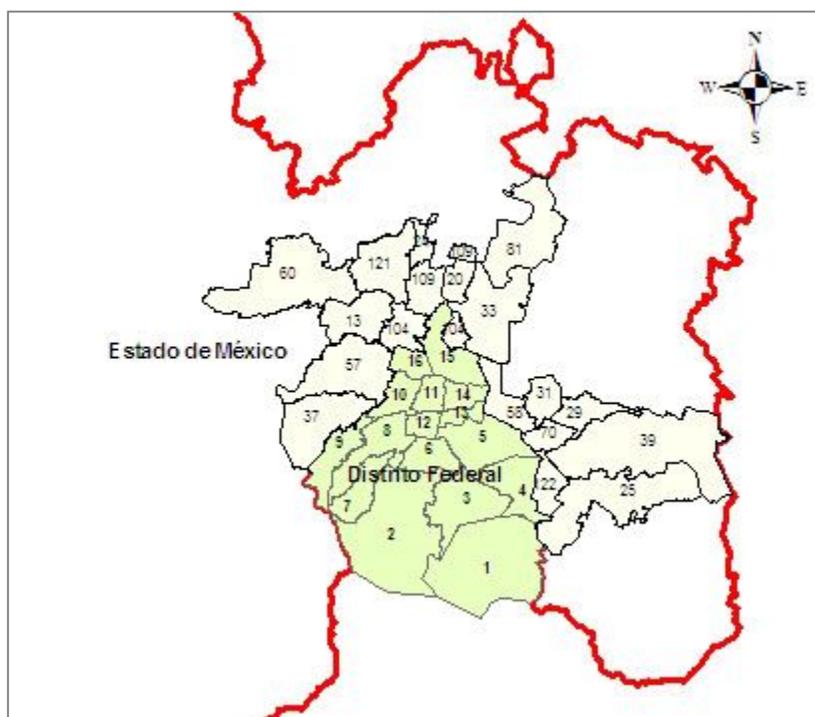
La ZMVM se encuentra a una altitud promedio de 2 240 msnm², que implica un contenido de alrededor del 23% menos de oxígeno en comparación con el nivel del mar, situación que ocasiona que los procesos de combustión no operen de forma eficiente y emitan una mayor cantidad de contaminantes, los cuales, debido a la cadena montañosa que circunda a la ZMVM y a los sistemas anticiclónicos que inducen a que la velocidad de los vientos disminuya cerca de la superficie del suelo, inhiben el movimiento vertical y horizontal del aire, dificultando la dispersión de los contaminantes, los cuales tienden a estancarse.

2.1 EXPANSIÓN DE LA ZMVM

En el año 2002, la ZMVM estaba integrada por 19 delegaciones en el Distrito Federal y 18 municipios del Estado de México, con una superficie de 3 540 km², correspondiendo el 42% al Distrito Federal y 58 % al Estado de México (Figura 2.1); sin embargo, debido a las características de crecimiento, dinámica social, económica y ambiental, en el año 2006, se publicó en el Diario Oficial de la Federación del mes de diciembre, el decreto mediante el cual se amplía la ZMVM, quedando integrada por las 16 delegaciones del Distrito Federal y 59 municipios del Estado de México (Figura 2.2). Esta nueva superficie representa 0.25% de la superficie total del país y abarca una superficie de 4 715.3 km², de la cual el 65.5% es de uso urbano (43% del Distrito Federal y 22.5% del Estado de México), el 34.5% restante es zona rural con usos del suelo agrícola, pecuario, forestal y de conservación.

¹ Área en la que el agua no tiene salida superficialmente por ríos hacia el mar.

² Metros sobre el nivel del mar (msnm)



DISTRITO FEDERAL		ESTADO DE MÉXICO	
Clave	Nombre	Clave	Nombre
2	Azcapotzalco	13	Atizapán de Zaragoza
3	Coyoacán	20	Coacalco de Berriozabal
4	Cuajmalpa de Morelos	24	Cuautitlán
5	Gustavo A. Madero	25	Chalco
6	Iztacalco	29	Chicoloapan
7	Iztapalapa	31	Chimalhuacán
8	La Magdalena Contreras	33	Ecatepec de Morelos
9	Milpa Alta	37	Huixquilican
10	Álvaro Obregón	39	Ixtapaluca
11	Tláhuac	57	Naucalpan de Juárez
12	Tlalpan	58	Netzahualcoyotl
13	Xochimilco	60	Nicolás de Romero
14	Benito Juárez	70	La Paz
15	Cuautemoc	81	Tecamac
16	Miguel Hidalgo	104	Tlalnepantla de Baz
17	Venustiano Carranza	109	Tultitlán
		121	Cuautitlán Izcalli
		122	Valle de Chalco Solidaridad

Figura 2.1. La ZMVM en el 2002



DISTRITO FEDERAL		ESTADO DE MÉXICO			
Clave	Nombre	Clave	Nombre	Clave	Nombre
2	Azcapotzalco	002	Acolman	058	Nezahualcóyotl
3	Coyoacán	009	Amecameca	059	Nextlalpan
4	Cuajmalpa de Morelos	010	Apaxco	060	Nicolás Romero
5	Gustavo A. Madero	011	Atenco	061	Nopaltepec
6	Iztacalco	013	Atizapán de Zaragoza	065	Otumba
7	Iztapalapa	015	Atlautla	068	Ozumba
8	La Magdalena Contreras	016	Axapusco	069	Papalotla
9	Milpa Alta	017	Ayapango	070	La Paz
10	Álvaro Obregón	020	Coacalco de Berriozábal	075	San Martín de las Pirámides
11	Tláhuac	022	Cocotitlán	081	Tecámac
12	Tlalpan	023	Coyotepec	083	Temamatla
13	Xochimilco	024	Cuautitlán	084	Temascalapa
14	Benito Juárez	025	Chalco	089	Tenango del Aire
15	Cuautemoc	028	Chiautla	091	Teoloyucán
16	Miguel Hidalgo	029	Chicoloapan	092	Teotihuacán
17	Venustiano Carranza	030	Chiconcuac	093	Tepetlaoxtoc
		031	Chimalhuacán	094	Tepetlixpa
		033	Ecatepec de Morelos	095	Tepotztlán
		034	Ecatzingo	096	Tequixquiac
		035	Huehuetoca	099	Texcoco
		036	Hueyoxtlá	100	Tezoyuca
		037	Huixquilucan	103	Tlalmanalco
		038	Isidro Fabela	104	Tlalnepantla de Baz
		039	Ixtapaluca	108	Tultepec
		044	Jaltenco	109	Tultitlán
		046	Jilotzingo	112	Villa del Carbón
		050	Juchitepec	120	Zumpango
		053	Melchor Ocampo	121	Cuautitlán Izcalli
		057	Naucalpan de Juárez	122	Valle de Chalco Solidaridad
				125	Tonanitla

Figura 2.2. La ZMVM después del 2006

2.2 CRECIMIENTO DE LA POBLACION Y VIVIENDA EN LA ZMVM

En 1998, el INEGI reportaba una población de 18.1 millones de habitantes en la ZMVM con una tasa de crecimiento anual de 1.6% y pronosticaba que la tasa de crecimiento poblacional disminuyera al 1%, en 2002 Covarrubias reporta que en el año 2000 la ZMVM estaba habitada por 18.2 millones de habitantes, de los cuales 8.8 millones (48.2%) se ubicaban en el Distrito Federal y 9.4 millones (51.8%) en los municipios conurbados.

De acuerdo con las “Proyecciones de la Población de México 2005-2030” realizadas por CONAPO, para el año 2008, la ZMVM registra un total de 19.8 millones de habitantes, de los cuales el 45% pertenecen al Distrito Federal y el 55% restante reside en los 59 municipios conurbados del Estado de México.

La Figura 2.3 muestra la evolución de la población en la ZMVM, donde se observa que efectivamente la tasa de crecimiento ha disminuido, sin embargo, el Estado de México es actualmente la entidad más poblada, seguida por el Distrito federal. Este aumento de la población de alrededor del 9% en el período del 2002 al 2008 aunado a la concentración de actividades productivas implica la presencia de factores que ejercen una gran presión ambiental en la región.

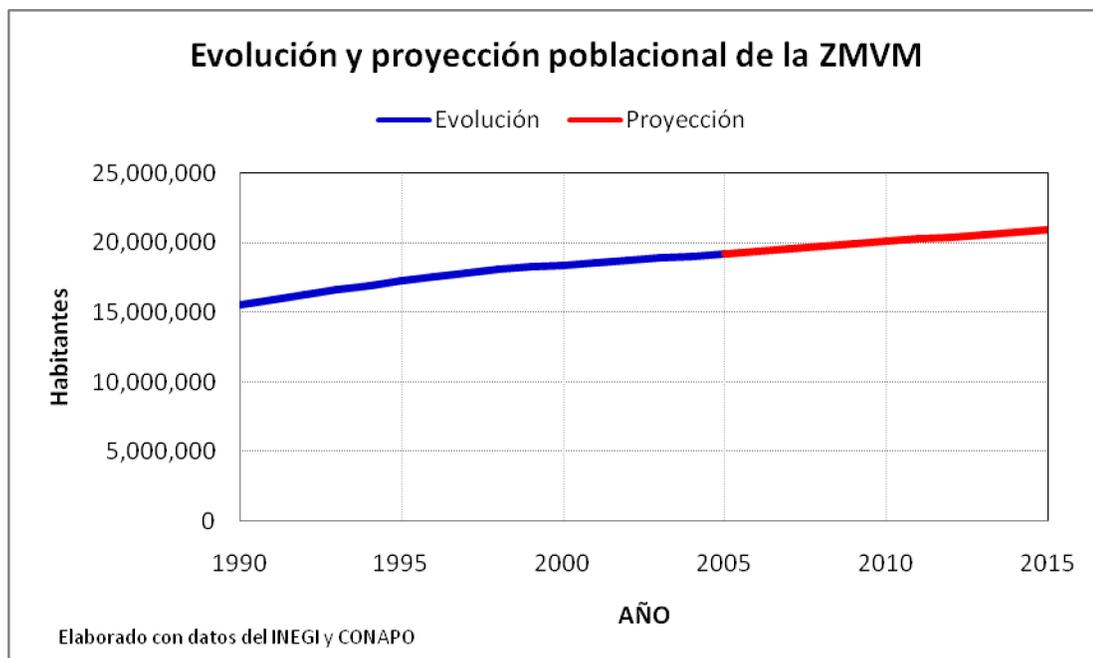


Figura 2.3 Evolución de la población en la ZMVM

Entre las presiones ambientales, se prevé que continúe el desplazamiento de la vivienda del centro hacia la periferia en la ZMVM, pasando de una distribución casi equitativa en 1995 (8.5 millones de personas o 50.5% en el Distrito Federal y 8.3 millones o 49.5% en los municipios metropolitanos) a una mayor concentración en la parte conurbada con 11.7 millones (57.5%) en 2010, frente a 8.7 millones (42.5%) en el Distrito Federal.

Una de las causas del crecimiento desordenado de la Zona Metropolitana ha sido la adaptación inadecuada y masiva del suelo para la construcción habitacional. En las últimas décadas han

predominado los intereses económicos de grupos y particulares sin tomar en cuenta las políticas públicas de desarrollo urbano. El impacto que han tenido los desarrollos habitacionales en el crecimiento metropolitano del Valle de México, ha sido en muchos aspectos desfavorable, por los impactos sociales, económicos y ecológicos que ha generado. El crecimiento de la mancha urbana se manifiesta espacialmente con los asentamientos irregulares que han invadido las periferias de la ciudad, pues los desarrollos habitacionales de vivienda popular se ubican lejos de la zona central para evadir los problemas de regularización o reglamentación.

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), el número de viviendas estimadas en la ZMVM en el año 2002 era de 4 202 190, mientras que en el año 2008, la ZMVM registró un aumento mayor al 16% con 5 027 213 viviendas, de las cuales el 47% (2 377 184) pertenece al Distrito Federal y el 53% restante (2 650 729) a los 59 municipios conurbados del Estado de México (CONAPO, 2008).

2.3 CRECIMIENTO DEL SECTOR INDUSTRIAL

En el año 2000 se reportaba una disminución del sector industrial en el Distrito Federal, a la par que un incremento en el comercio y los servicios. Los gobiernos favorecían un proceso de descentralización hacia otros estados del centro, entre otras causas por los altos niveles de contaminación alcanzados. En cambio, los municipios conurbados registraban un ritmo creciente de establecimientos industriales. En el año 2002, el INEGI reportaba que en la ZMVM, se ubicaban aproximadamente 53 511 establecimientos manufactureros, de los cuales, 22 443 se localizaban en los municipios conurbados del Estado de México y 31 068 en el Distrito Federal.

El proceso de descentralización industrial ha seguido avanzando en el D.F. debido en parte a las regulaciones ambientales para la industria, la mayor parte de la industria se ha trasladado hacia ciudades cercanas como Toluca, Santiago de Querétaro y Puebla de Zaragoza. La descentralización industrial del Distrito Federal ha favorecido el crecimiento de esta actividad en otros estados, especialmente los del norte, en donde a partir de la década de 1990 se establecieron nuevas empresas maquiladoras. No obstante, comparada con las demás entidades del país, mantiene su predominancia geográfica y económica.

Según datos de la Secretaría de Desarrollo Económico del Distrito Federal, esta entidad cuenta con 54 zonas industriales y además, el PIB industrial manufacturero capitalino ha registrado en los últimos años, el 14% del total nacional de esta división. La ZMVM concentra actualmente a la industria química y de transformación, la industria alimenticia y la producción de maquinaria, además de concentrar buena parte de la mano de obra del ramo industrial. De acuerdo al último censo económico realizado por el INEGI existen más de 328 mil industrias manufactureras a nivel nacional, y el 16% se encuentra ubicado en la ZMVM, principalmente en grandes parques industriales.

En el Distrito Federal existen 28 025 establecimientos del sector manufacturero, por lo cual, ocupa el segundo lugar a nivel nacional. El subsector correspondiente a la producción de alimentos, bebidas y tabaco, es el giro de mayor representación con un 36%, le siguen las manufacturas de productos metálicos con el 23% y la producción de papel, productos de papel, imprentas y editoriales con el 15%.

En condiciones semejantes de eficiencia energética, las emisiones contaminantes provenientes de fuentes fijas dependerán del tipo de combustible y del volumen de producción. La Figura 2.4 muestra la curva de eficiencia energética (PIB por unidad de energía consumida) de la industria manufacturera

mexicana. Se puede observar la uniformidad de este indicador entre los años 2000 y 2005 lo que significa que la eficiencia energética se mantiene casi constante.

Esta condición confirma las observaciones realizadas por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) respecto a que México no ha logrado desvincular el desarrollo económico del deterioro ambiental. Además permite suponer que, a nivel macroeconómico, al variar el número de unidades producidas variará necesariamente el volumen consumido de energía en su producción.



Fuente Hernández-Moreno. Evaluación del Plan Verde. 2009

Figura 2.4. Eficiencia energética de la industria manufacturera de México.

2.4 COMERCIO Y SERVICIOS

En el sector servicios existían en el año 2002, 252 009 unidades de comercio y servicios en la ZMVM, de las cuales el 61.2% se ubicaba en el Distrito Federal, siendo la delegación Cuauhtémoc la que poseía el mayor número de éstas, mientras que en el Estado de México, Ecatepec y Nezahualcóyotl son los que contaban con el mayor número de establecimientos dedicados a este sector.

Con base en datos del Sistema Empresarial Mexicano (SIEM), se sabe que para el año 2008, la ZMVM concentraba 259 811 establecimientos registrados, en donde el 95% se dedica al sector comercial y de servicios; de éstos, el 94% se clasifican como micro empresas. De acuerdo al INEGI la participación del sector servicios en la generación del PIB es muy significativa, debido al tamaño y cantidad de actividades que concentra y genera en promedio, el 81% del PIB del Distrito Federal, aunque estos números indican que solamente ha habido un crecimiento del 3% de este tipo de unidades en el sistema formal.

Las actividades comerciales y de servicios tienen una participación cada vez mayor en la economía nacional y se han concentrado en las zonas urbanas. Parte de la explicación proviene de los flujos migratorios campo-ciudad y ciudad-ciudad. También, cabe destacarse la débil capacidad de respuesta de las actividades industriales para absorber la sobreoferta de mano de obra, que se traduce en el crecimiento del sector informal, en el cual no hay prestaciones salariales, ni contribuciones fiscales.

A diferencia de los procesos industriales, en el caso específico de la ZMVM, la importancia de los servicios radica no sólo en su dimensión y la diversificación de su oferta, sino también en los impactos ambientales que pueden derivarse de dichas actividades. Los patrones de consumo, en su caso, están determinando la intensidad a la que se somete el aprovechamiento de los recursos naturales y los volúmenes y grado de contaminación.

2.5 TRANSPORTE

Debido al crecimiento poblacional de la ZMVM, la mancha urbana ha seguido creciendo en forma horizontal sin un ordenamiento y planeación, haciendo que las distancias y tiempos de traslado dentro de la misma hayan aumentado. Históricamente ha habido una desarticulación del transporte y ordenamiento urbano, rezago en la infraestructura vial y crecimiento explosivo del parque vehicular. Todos los programas de calidad de aire han priorizado la necesidad de organizar y ampliar el transporte público como un medio para mejorar la calidad del aire.

La flota vehicular registrada en la ZMVM, se estima en más de 4.2 millones de vehículos, de los cuales el 62% corresponden a unidades registradas en el Distrito Federal y el 38% restante a unidades registradas en el Estado de México. Cabe mencionar que los 41 municipios conurbados que se agregaron recientemente a la ZMVM, sólo representan el 12% de la flota del Estado de México y el 5% de la flota total de la ZMVM. El Distrito Federal tiene registrados a más de la mitad de los vehículos circulantes en la ZMVM como de uso particular y por su parte el Estado de México concentra el doble del transporte de carga en comparación con el Distrito Federal.

La Figura 2.5 muestra la evolución del parque vehicular en la ZMVM, en la que se aprecia que durante el período del PROAIRE 2002-2010 hubo un aumento de alrededor de un millón de vehículos.

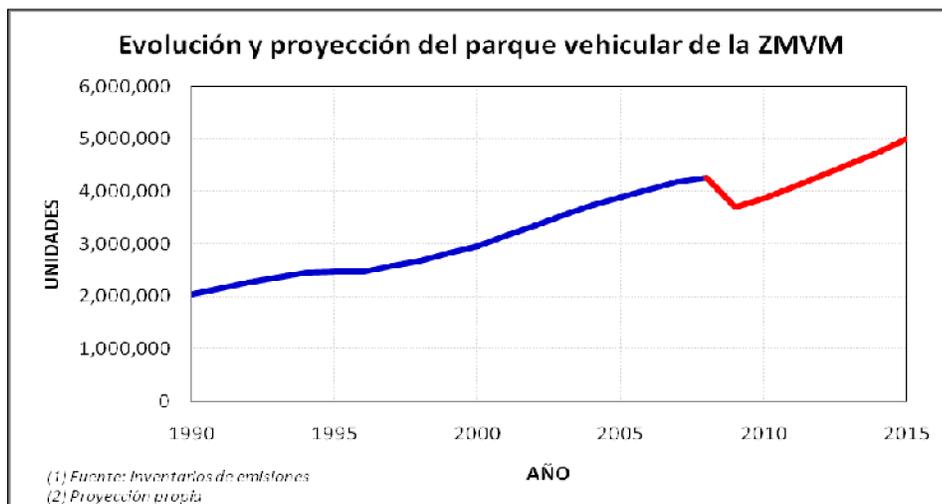


Figura 2.5 Evolución del Parque Vehicular en la ZMVM

En el diseño de las estrategias relacionadas con el transporte en el PROAIRE 2002-2010, se tomó en cuenta la encuesta origen destino de 1994 en la ZMVM que indicaba la realización de 20.57 millones de viajes concentrando el Distrito Federal el 66.5% del total de viajes; mientras que los viajes de los municipios conurbados del Estado de México representaban sólo el 33.5%, situación que manifestaba

una menor producción de viajes, a pesar de encontrarse la población de los municipios conurbados del Estado de México en una proporción semejante a la del Distrito Federal.

En la encuesta origen-destino realizada en el año 2007 los resultados indican que se realizan 22 millones de viajes al día, correspondiendo al Distrito Federal el 58.4% y a los municipios conurbados el 41.3%. Al realizar una comparación con la encuesta de 1994, el número de viajes se ha incrementado en un 1.4 millones al día, lo que representa alrededor de un 7% de incremento. Una diferencia importante es el hecho de que aunque el porcentaje de la población que reside en el Distrito Federal solamente ha disminuido un 3% en relación al total de la ZMVM, el número de viajes realizados en el Distrito Federal ha disminuido un 8%, aunque sigue siendo mayor el número de viajes en esta entidad que en el Estado de México.

En la Figura 2.6 se observa la evolución del reparto por modo de transporte en la ZMVM. 14.8 millones de personas se movilizan en transporte público y 6.8 millones de personas lo hacen en auto particular, sin embargo, dos terceras partes de los viajes son realizados en transporte público. Puede apreciarse que el modo de transporte no se ha transformado de manera significativa en la ZMVM, aunque en esta encuesta todavía no se refleja la introducción del Metrobús. El metro sigue teniendo un 14% de participación en el número de viajes, el número de viajes en automóviles particulares se incrementó entre un 4 y 5%, el viaje en autobuses aumentó el 1%, y se logró disminuir el número de viajes en microbuses alrededor del 8%.

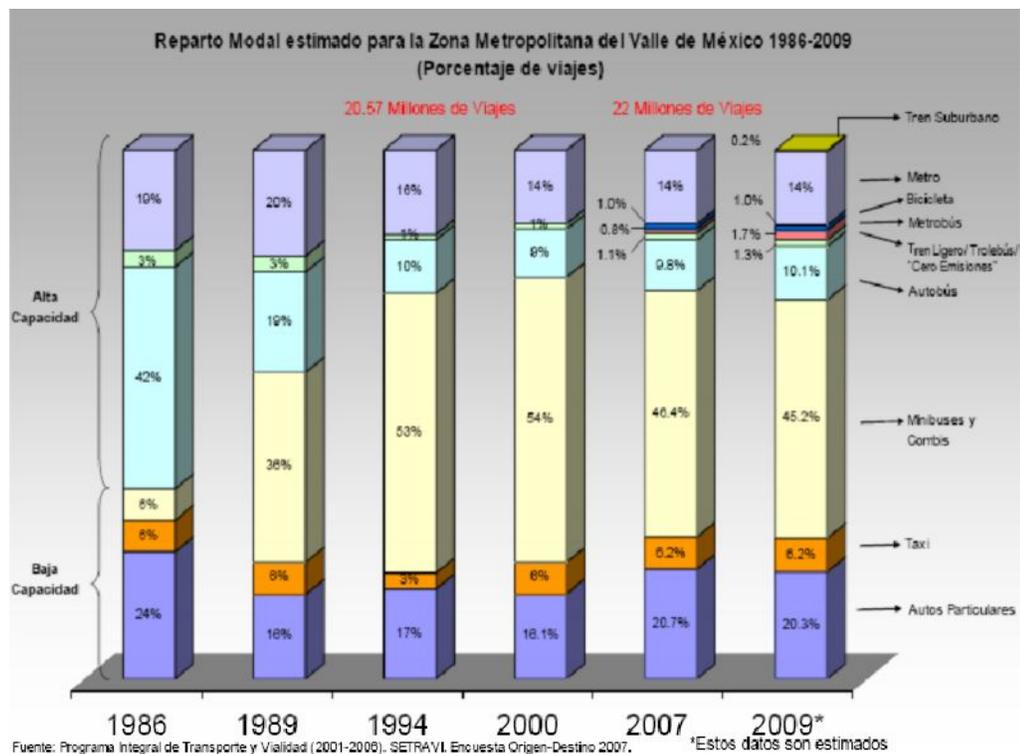


Figura 2.6. Evolución del sistema modal de transporte en la ZMVM

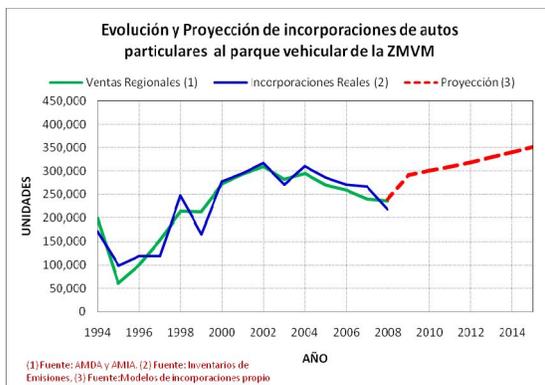
Evolución del transporte público en la ZMVM

El Sistema de Transporte Colectivo–Metro (STC-M), sigue siendo la columna vertebral del transporte público en la ZMVM; cuenta con 11 líneas y 175 estaciones y se encuentra en construcción la línea 12.

En los últimos, 4 años, el transporte en la ZMVM ha experimentado cambios importantes que aun no se reflejan en la encuesta origen-destino. El primer cambio se relaciona con la puesta en marcha de los corredores estratégicos de transporte del sistema Metrobús en el Distrito Federal; este sistema ya cuenta con 2 líneas que mueven a 450 000 pasajeros al día, los cuales pueden conectar con las líneas del metro y el tren ligero. Así mismo se inauguró el tren suburbano que representa un esfuerzo de concertación entre el gobierno Federal, del Estado de México y del Distrito Federal. La línea Cuautitlán-Buenavista recorre 22 km entre el Estado de México y el Distrito Federal. A lo largo del Eje Central se inauguró el primer corredor “Cero Emisiones” con 120 trolebuses en alrededor de 36 km de longitud. Actualmente, más de 175 000 usuarios utilizan los corredores de transporte que cuentan con 150 autobuses nuevos de casi 12 m de largo con tecnología anticontaminante Euro IV.

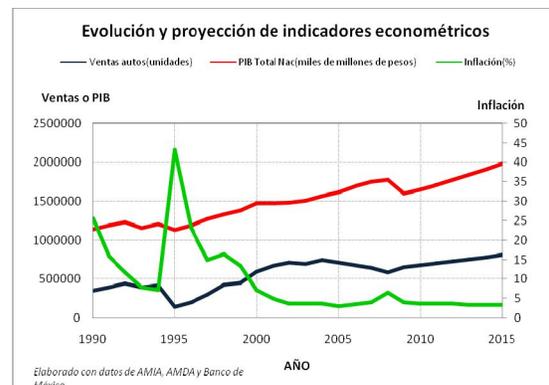
Evolución de la flota vehicular privada

La falta de un transporte público masivo, seguro y eficiente, ha ocasionado que la flota vehicular de uso particular continúe creciendo rápidamente, aunado a ello, la situación de relativa estabilidad económica que prevaleció entre el año 1998 y 2004 motivó también la adquisición de vehículos. Por el contrario, la caída de las ventas entre 2004 y 2008 es congruente con la crisis económica que ha vivido el país (Figura 2.7). Los autos particulares en el año 2008, representan el 81% de las unidades destinadas al transporte de personas (4 195 672). La Figura 2.8 muestra la evolución de la adquisición de vehículos en comparación con el PIB y la inflación, lo cual sugiere que las ventas de autos no dependen del número de habitantes sino del capital que posee la población y el valor de ese capital representados por el PIB y la inflación. Finalmente, la Figura 2.8 muestra la evolución de la flota vehicular particular en la ZMVM.



Fuente. Hernández-Moreno. Evaluación del Plan Verde. 2009.

Figura 2.7 Ventas automotrices



Fuente. Hernández-Moreno. Evaluación del Plan Verde. 2009

Figura 2.8 Comparación de ventas, PIB e inflación.

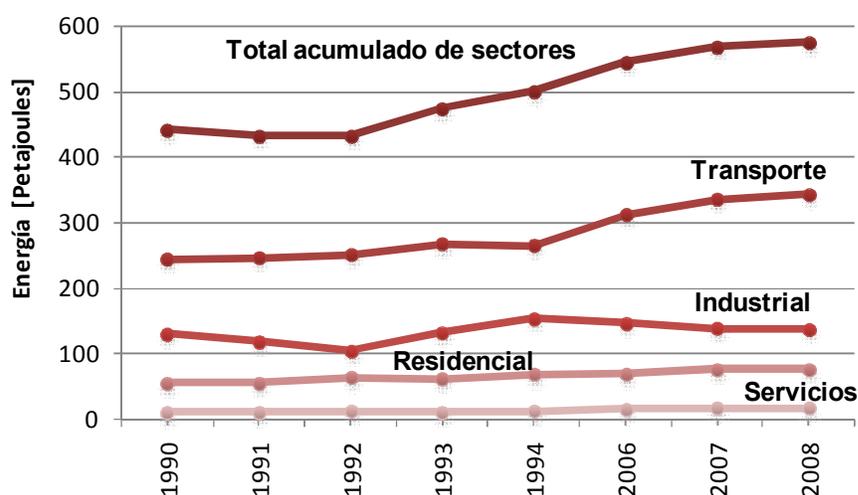
2.6 USO DE LA ENERGÍA

El uso de la energía en una zona vincula en forma directa el desarrollo con la emisión de contaminantes, ya que prácticamente todo el consumo energético implica la quema de combustibles fósiles.

El consumo energético de la ZMVM presenta las estadísticas del destino de la energía primaria, es decir, proporciona un panorama de la oferta y la demanda de los mismos. La forma en que esta demanda impacta la calidad del aire depende en gran medida del balance energético, del tipo y calidad de los combustibles, así como del nivel tecnológico de la planta industrial y del parque vehicular.

La ZMVM en 1998 consumió 500 petajoules de energía por el uso de combustibles fósiles (14% del consumo nacional), esto equivale a consumir 373 mil barriles diarios de gasolina. La energía destinada al consumo final para la ZMVM para el Inventario de Emisiones 2008, se contabilizó en 576 PJ. El consumo promedio diario de los combustibles, se estimó en 314 mil barriles equivalentes de gasolina; es decir 50 millones de litros equivalentes por día.

Los sectores más importantes por su demanda de energía fueron: el transporte, el cual tuvo una participación promedio de 60% del consumo energético, así como el sector industrial con 24%. El incremento en el consumo de energía de más del 8% durante el período del PROAIRE, se debe en gran medida al sector transporte, reflejo del constante crecimiento de la flota vehicular, sin embargo, el resto de los sectores se han mantenido con ligeras variaciones anuales. La Figura 2.9 presenta la evolución histórica del consumo energético en la ZMVM.



Fuente. SMA-GDF. Inventario de Emisiones 2008.

Figura 2.9. Evolución del consumo energético en la ZMVM

En el Cuadro 2.1 se presenta el consumo por tipo de combustible y se observa que la demanda energética de la ZMVM se satisface principalmente con gasolina, la cual cubrió el 44.1% de la demanda. En segundo lugar se tiene al gas natural, el cual participó con el 21.5%.

El sector transporte es el de mayor demanda con un consumo del 60% de la energía total, teniendo a la gasolina como el principal combustible utilizado; el segundo lugar en consumo es el sector industrial, utilizando el 24% de la energía total, en su mayoría gas natural.

Para satisfacer los requerimientos de cocción, iluminación, calentamiento, la ZMVM utiliza en su mayoría gas licuado de petróleo y gas natural del consumo energético, sin embargo, solo el 6% del consumo es de gas natural en el sector residencial, al igual que en el sector servicios.

Cuadro 2.1 Consumo energético por tipo de combustible en la ZMVM, 2008

Tipo de combustible	Consumo anual		Energía disponible	
	[millones de barriles]	[millones de litros]	[Pj]	[%]
Gasolina Premium	5.0	797	25.2	4.4
Gasolina Magna	45.6	7 246	229.0	39.7
Diesel Industrial bajo Azufre	1.3	201	7.1	1.2
PEMEX Diesel	13.9	2 211	78.6	13.6
Gas Natural	22 058	3 506 880	124.2	21.5
Gas LP	26.7	4 244	112.3	19.5
Total ZMVM	22 150	3 521 578	576	100

Nota: No incluye a la turbosina, ya que la mayoría se consume fuera de la ZMVM y por encima de la capa de mezclado.

Fuente. SMA-GDF. Inventario de Emisiones 2008.

La venta de gasolina Premium que tenía una tendencia de aumento muy reducida pero constante, comenzó a disminuir su consumo después del 2006 como producto de la crisis, en tanto que el consumo de gasolina magna ha ido en aumento desde el año 2005, con excepción del año 2008 en donde tuvo un descenso debido también a la crisis económica. La Figura 2.10 muestra la evolución en la venta de gasolinas magna y Premium.

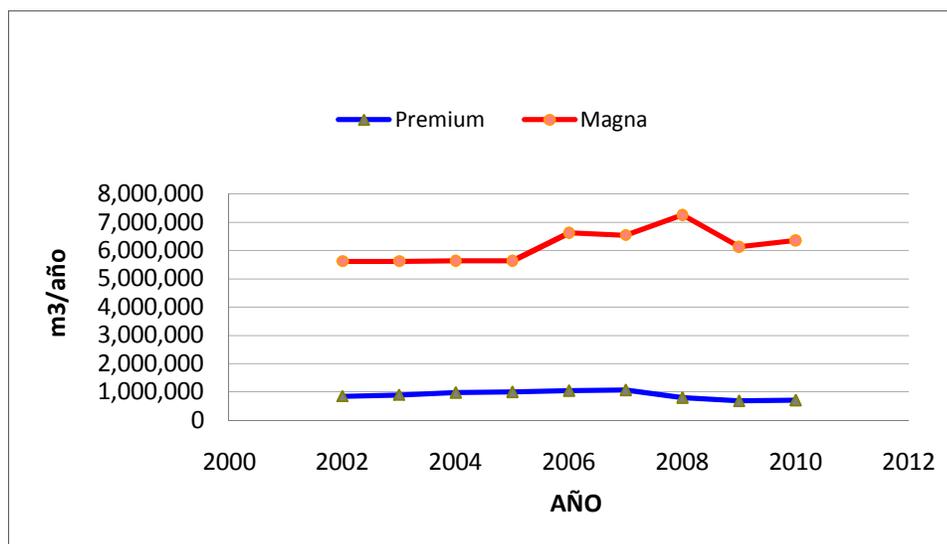


Figura 2.10 Tendencia en el consumo de las gasolinas magna y premium.

2.7 USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN

Los usos del suelo que predominan en la ZMVM se pueden clasificar en: bosques, pastizales, matorrales, agricultura y zona urbana. En particular, con respecto a la agricultura, las tierras de temporal son las que ocupan mayor superficie y se localizan desde las llanuras hasta las altas sierras.

Actualmente se presentan siete tipos de vegetación que corresponden a los climas templado frío y semiárido, básicamente forman parte de las zonas de conservación y son: bosque de oyamel, bosque de pino, bosque de encino, matorral, pastizal, agrupaciones halófilas y vegetación acuática. Además, estudios de flora en la ZMVM, revelan que se han identificado aproximadamente 1 500 especies de plantas vasculares. El Distrito Federal se divide, para fines administrativos, en Suelo Urbano y Suelo de Conservación. El Suelo de Conservación ocupa 88 442 hectáreas (59% del Distrito Federal). Parte de ellas son 38 252 hectáreas cubiertas por bosques, 500 hectáreas de matorrales y 28 599 hectáreas de uso agrícola.

El suelo de conservación limita al norte, este y oeste con el Estado de México y al sur con Morelos. Lo compone principalmente el área rural del Distrito Federal en su región sur y surponiente; se localiza en las delegaciones de Álvaro Obregón, Cuajimalpa, Iztapalapa, Magdalena Contreras, Milpa Alta, Tláhuac, Tlalpan y Xochimilco, así como una pequeña área al norte de la Ciudad de México en la delegación Gustavo A. Madero.

La importancia de zonas forestales de la ZMVM radica en la capacidad de proveer condiciones de habitabilidad a las zonas urbanas (Figura 2.11). El microclima formado por el bosque proporciona condiciones cómodas para el ser humano, además de proporcionar alternativas de entretenimiento exterior urbano en parques y jardines, proveer un medio de vida silvestre dentro del entorno urbano, mejorar la estética del entorno y la calidad de aire al reducir las concentraciones de algunos contaminantes y suministrar oxígeno a la atmósfera.

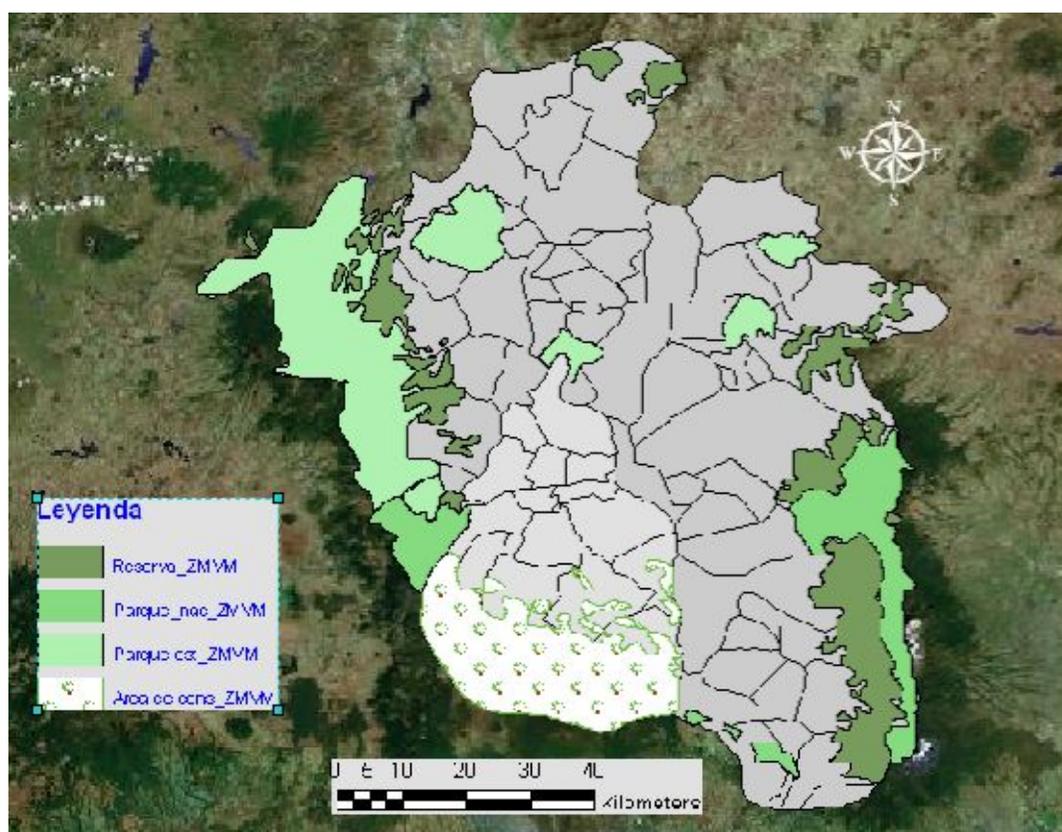


Figura 2.11. Uso de suelo en la ZMVM

2.8 EVOLUCIÓN DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES A LA ATMOSFERA

La ZMVM tiene una tasa de deforestación estimada de 1.1% anual lo cual pone en riesgo el frágil ecosistema de las zonas forestales y las especies animales que las habitan, por lo que existe la probabilidad de perder los beneficios que proporcionan las zonas forestales a la calidad del aire y a la recuperación de los mantos freáticos.

Inventarios de Emisión de Contaminantes Criterio

La evolución que han tenido las emisiones desde 1998 hasta el año 2008 se presentan en el Cuadro 2.2, donde se puede apreciar que las emisiones de PM₁₀ se reducen en un 25% y las de SO₂ disminuyen en un 55% debido principalmente a la reducción del contenido de azufre en los combustibles y al cambio en el uso de los mismos.

La reducción alcanzada del 13% en emisiones de CO es consecuencia del cambio tecnológico del parque vehicular donde los vehículos con sistema de control han ido en aumento y aquellos que no cuentan con sistema de control se han reducido paulatinamente; a las mismas causas se atribuyen las reducciones de NO_x (3%). aunque es importante mencionar que estas reducciones son mucho menores a las alcanzadas en los anteriores programas de calidad del aire, cuando se hicieron las primeras modificaciones tecnológicas y comenzaron a utilizarse los convertidores catalíticos.

Las reducciones en COVs (13%) se atribuyen en parte también a los cambios tecnológicos de los vehículos, aunque también se atribuye a un mayor control en las fuentes de área.

Cuadro 2.2 Evolución de las emisiones de contaminantes de la ZMVM 1998-2008

Año Inventario	Ton/año					
	PM ₁₀	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV
1998	32 520	14 780	1 792 ,964	185 013	737 419	513 127
2000	25 034	8 385	2 032 580	193 476	791 990	540 182
2002	23 473	8 548	1 941 656	188 262	821 014	542 572
2004	20 686	6 646	1 792 081	179 996	822 545	532 168
2006*	20 618	6 317	1 783 087	180 412	829 587	516 019
2008*	24 445	6 704	1 568 613	189 427	946 783	591 432

* Para fines de comparación se presenta el inventario de 19 delegaciones y 18 municipios conurbados.

Fuente. Dirección General de Calidad del Aire e Inventario de Emisiones.

En la Figura 2.12 se presenta la evolución de los inventarios de emisiones por fuente de la ZMVM elaborados durante el período del PROAIRE 2002-2010 por la Dirección General de Calidad del Aire e Inventarios de la SMA-GDF. Se observa que la contribución porcentual de contaminantes provenientes del sector transporte ha disminuido por las acciones realizadas en materia de control de emisiones en alrededor del 9%, en tanto que las contribuciones de los sectores industrial y servicios se incrementó.

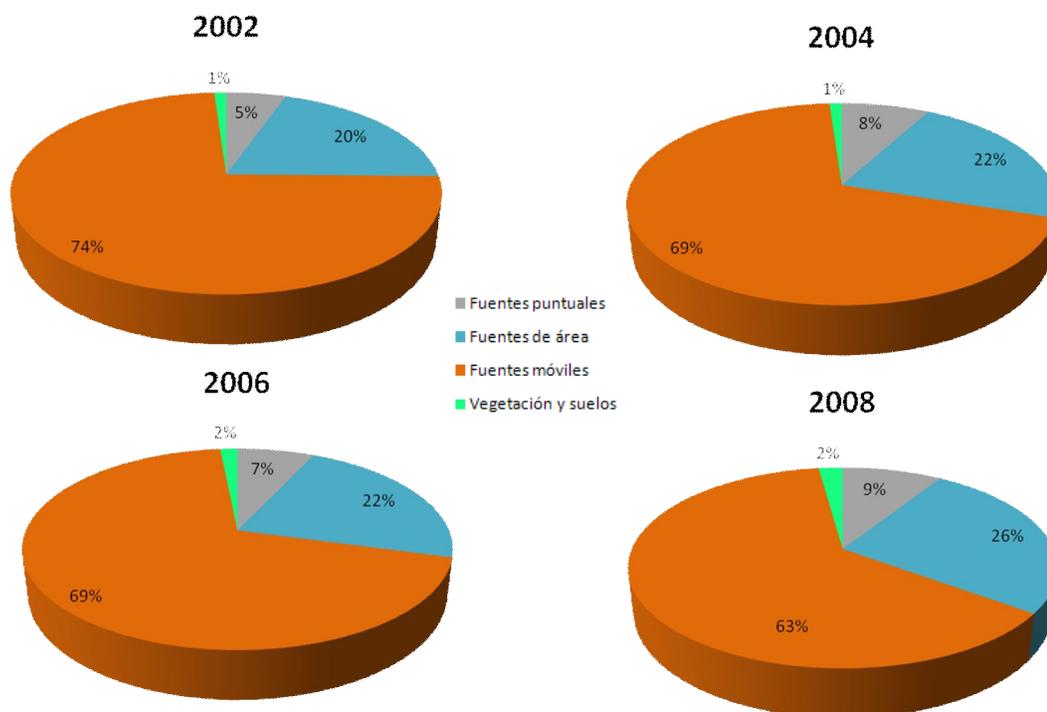
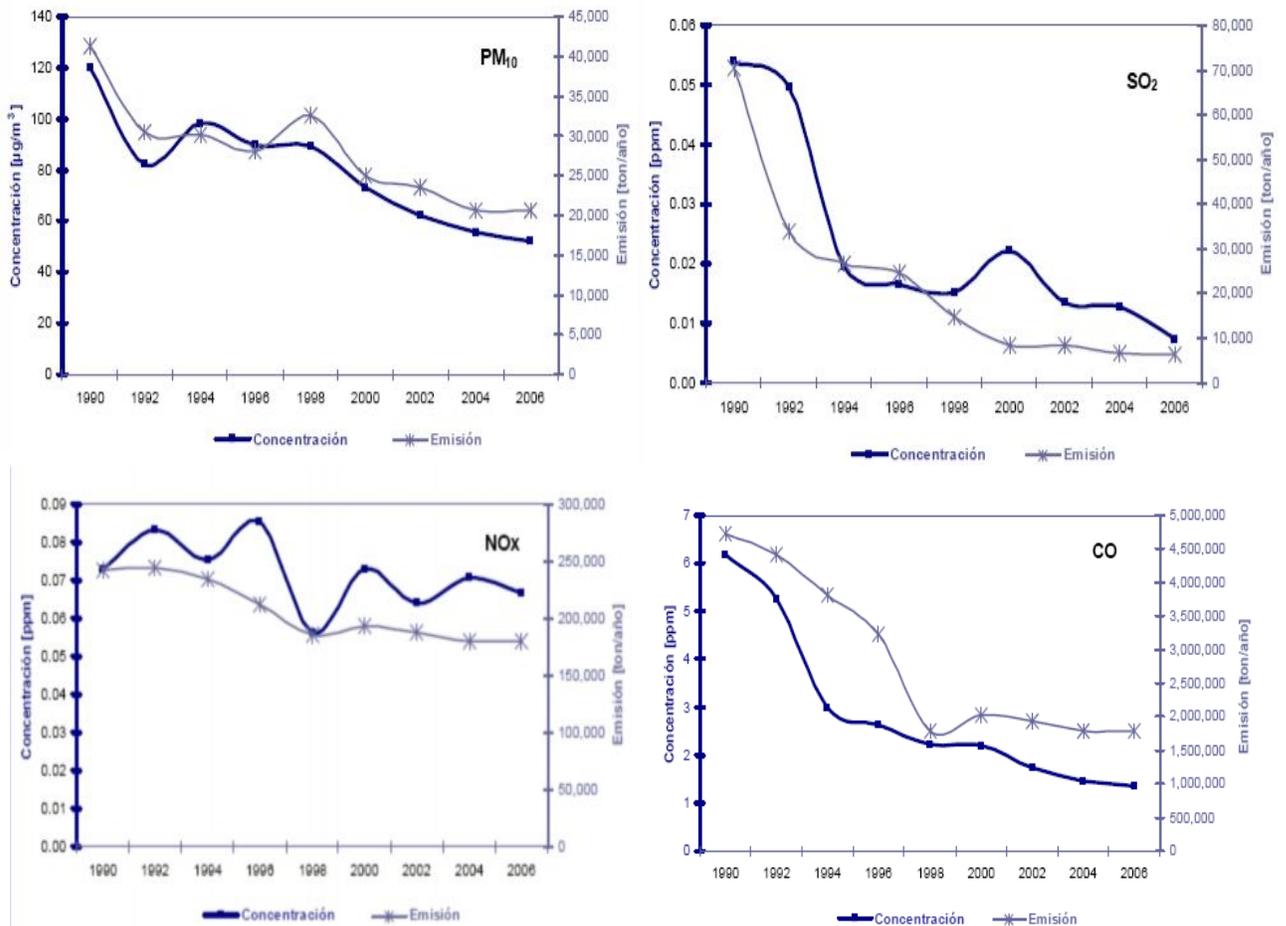


Figura 2.12. Evolución de la distribución porcentual de las emisiones a la atmósfera

La figura 2.13 muestra una comparación de las tendencias en las concentraciones de la calidad del aire de los cuatro contaminantes primarios PM_{10} , SO_2 , NO_x y CO , con las emisiones calculadas con los inventarios de emisión, donde en general se observa una alta concordancia.

Las disminuciones presentadas por las PM_{10} a lo largo de los años, coinciden con las disminuciones estimadas por los inventarios ya que ambas tienen una reducción de alrededor del 50%. Los altos valores estimados en el inventario de 1998 se debieron a variables meteorológicas de sequía generándose más partículas provenientes de suelos agrícolas y caminos pavimentados que quizá la red de monitoreo no captó por ubicarse en la zona urbana. En cuanto al SO_2 también muestra una concordancia en la disminución de la presencia del contaminante en las emisiones y concentraciones atmosféricas. El pico que se presenta en las concentraciones se ha atribuido al uso de combustibles de alto contenido de azufre, que por estar fuera de norma pudo no ser reportado por las industrias que lo consumieron y por ello no se consideró dicha emisión.

En el caso del NO_x aunque ambas tendencias son a la baja, se presentan varios picos de discrepancias en altas concentraciones atmosféricas. El primer pico de 1998 a 2000 se atribuye a la modificación del programa "Hoy no circula" que permitió que vehículos de 1993 y posteriores circularan todos los días cuando anteriormente dejaban de circular un día de la semana. El segundo pico en el 2004 pudiera ser por una sobrestimación o defasamiento en las reducciones reportadas por el sector generador de energía eléctrica en la instalación de quemadores de bajo NO_x . Finalmente, las tendencias de emisiones y concentraciones de CO en la atmósfera coinciden en su tendencia a la baja, mostrando que se han realizado importantes mejoras en la estimación de los inventarios en lo que concierne a las fuentes móviles.



Fuente: SMA-GDF. Dirección general de Inventario de Emisiones, 2006

Figura 2.13. Comparación de la evolución de las emisiones estimadas en los inventarios y las concentraciones medidas por el SIMAT.

El Cuadro 2.3 y la Figura 2.14 muestran la comparación de las emisiones producidas en cada una de las dos entidades de la ZMVM (considerando solamente los 18 municipios conurbados).

Se observa que con excepción de los NO_x y el NH₃ las emisiones totales por contaminante generadas en el Estado de México son más elevadas, destacando el caso de las PM₁₀ y el SO₂ cuyo aporte en dicha entidad sobrepasa el 70% del total, lo cual será importante considerar en programas posteriores.

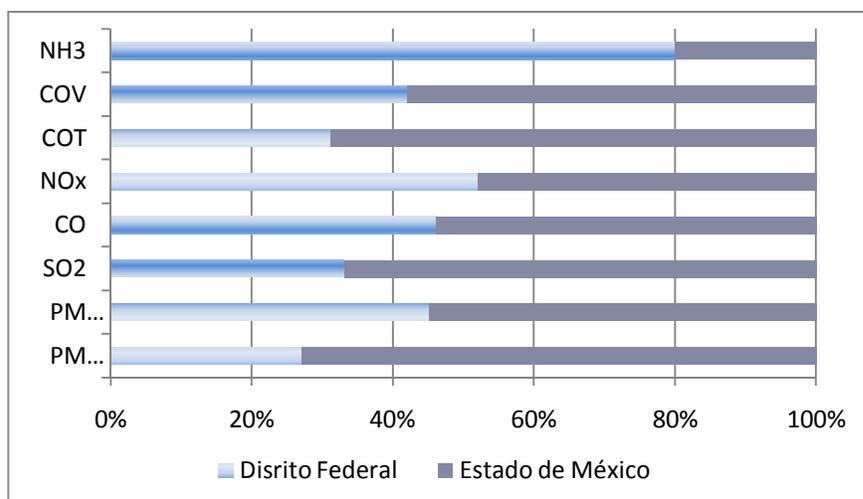
Sin embargo, al observar los datos por tipo de fuente, se encuentra que las emisiones por fuentes de área de CO y NO_x y las de fuentes vehiculares de PM₁₀ y PM_{2.5} son mayores en el Distrito Federal.

Cuadro 2.3 Datos de emisión de contaminantes por tipo de fuente.

Contaminante	Fuentes puntuales			Fuentes de área			Fuentes móviles			Vegetación y suelos			Total		
	ZMVM	DF	EM	ZMVM	DF	EM	ZMVM	DF	EM	ZMVM	DF	EM	ZMVM	DF	EM
	[ton/año]	[%]		[ton/año]	[%]		[ton/año]	[%]		[ton/año]	[%]		[ton/año]	[%]	
PM ₁₀	5 135	28	72	14 678	17	83	3902	64	36	730	15	85	24445	27	73
PM _{2.5}	983	23	77	1 643	21	79	2849	65	35	148	15	85	5623	45	55
SO ₂	3 375	10	90	23	39	61	3306	56	44	N/A	N/A	N/A	6704	33	67
CO	7 146	15	85	9 263	69	31	1 552 204	46	54	N/A	N/A	N/A	1 568 613	46	54
NOx	21 434	12	88	12 043	62	38	154 919	56	44	1031	16	84	189 427	52	48
COT	134 251	28	72	581 729	25	75	195 218	53	47	35 585	25	75	946 783	31	69
COV	129 211	28	72	241 252	44	56	185 384	53	47	35 585	25	75	591 432	42	58
NH ₃	181	13	87	15 198	45	55	4 798	55	45	N/A	N/A	N/A	20 177	80	20

N/A No aplica

Resultados preliminares del Inventario 2008 considerando los 59 municipios conurbados.



Fuente. SMA-GDF. Inventario de Emisiones de contaminantes criterio de la ZMVM, 2008.

Figura 2.14 Porcentaje de Emisiones en las dos entidades federativas de la ZMVM

Inventarios de Emisión de Contaminantes Tóxicos

Entre las actividades más importantes realizadas por la SMA-GDF durante el período del PROAIRE 2002-2010, se encuentra el desarrollo y publicación por primera vez del Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la ZMVM 2004, mismo que se actualizó para el año 2006 con la ampliación de 84 a 109 de sustancias tóxicas evaluadas. Este tipo de inventario fortalece de manera importante la política ambiental de la ZMVM, al proporcionar una de las bases técnicas más importantes para establecer medidas de mitigación de sustancias tóxicas en la atmósfera, las cuales podrían representar un riesgo mayor para los habitantes de la ZMVM que el que suponen los contaminantes criterio.

El término de compuestos tóxicos del aire es utilizado para referirse a un compuesto o grupo de compuestos químicos nocivos a la salud que se encuentran en la atmósfera, estos compuestos pueden tener efectos a corto plazo (agudos) o a largo plazo (crónicos). Estos compuestos pueden encontrarse en forma gaseosa o en forma de partículas suspendidas, pueden tener un carácter inorgánico u orgánico e incluyen compuestos cancerígenos, disolventes químicos y metales pesados entre otros.

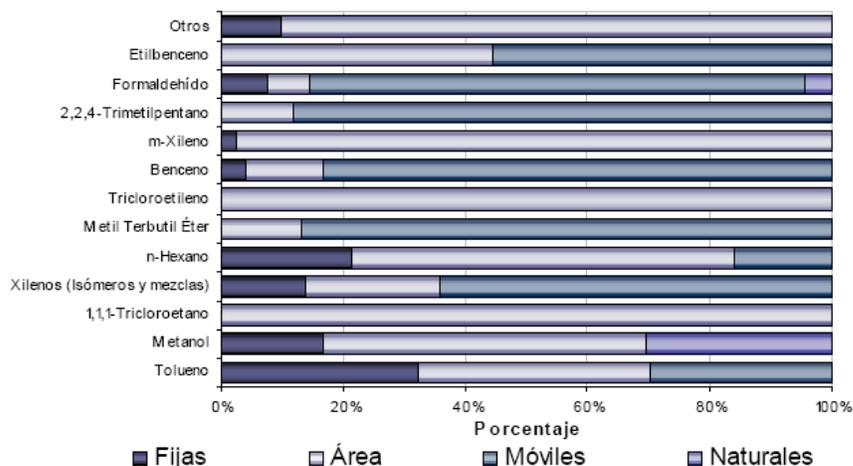
Este inventario reporta que en el año 2006 se emitieron a la atmósfera 175 000 toneladas anuales de las 109 especies tóxicas consideradas. Así mismo, más del 70% de dicha cantidad corresponde a 9 compuestos que son: tolueno, metanol, 1,1,1 tricloroetano, mezcla de xilenos, n-hexano, metil terbutil éter, tricloroetileno y benceno. Los metales pesados representaron el 1% del total, siendo el manganeso, antimonio y plomo los que se emiten en mayor proporción por caminos no pavimentados. El Cuadro 2.4 presenta la emisión de contaminantes tóxicos por sector y por entidad, donde se observa que las fuentes de área contribuyen con más del 50%, por lo que seguramente se reforzarán las medidas de control para los establecimientos que producen estas emisiones en el próximo PROAIRE.

Cuadro 2.4 Emisión de contaminantes tóxicos por sector en la ZMVM.

Sector	Distrito Federal	Estado de México	ZMVM	
	Ton/año	Ton/año	Ton/año	%
Fuentes puntuales	15 744	14 206	29 950	17
Fuentes de área	35 748	53 100	88 848	51
Fuentes móviles	19 306	31 003	50 309	29
Naturales	2 099	3 674	5 773	3
Total	72 897	101 983	174 880	100

Fuente. SMA-GDG. Dirección general de Inventario de Emisiones, 2006

La Figura 2.15 presenta las aportaciones porcentuales de las diferentes fuentes de los contaminantes tóxicos que se emiten en mayor cantidad, donde se aprecia la importancia de estudiar cada tipo de compuesto para el establecimiento de estrategias particulares. por ejemplo, a diferencia de otros compuestos que son emitidos por fuentes de área, el benceno que es un contaminante cancerígeno es emitido principalmente por fuentes móviles.



Fuente. SMA-GDG. Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos, 2006

Figura 2.15. Contribución porcentual por tipo de fuente a los principales contaminantes tóxicos (2006)

Inventarios de Emisión de Gases de Efecto Invernadero

Los inventarios bianuales de contaminantes criterio de 1998 a 2004 incluían un apartado sobre emisiones de CO₂. En el año 2006 se publica el Inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para la ZMVM (Cuadro 2.5), que incluye además las emisiones de metano y óxido nitroso, utilizando para el desarrollo de este inventario la guía del Panel Intergubernamental de Cambio Climático. Este inventario proporciona la oportunidad de realizar el seguimiento del Plan de Acción Climática del Distrito Federal y elaborar planes de acción para mitigar este tipo de emisiones.

Cuadro 2.5 Emisión de gases de efecto invernadero en la ZMVM.

Sector	Emisiones de GEI (ton/año)		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Industrial	10 345 252	223	29
Comercial-Servicios	972 601	19	2
Residencial/Habitacional	4 233 924	102	7
Transporte carretero	31 139 856	3 760	1 315
Otras fuentes*	1 069 149	246 796	66
TOTAL	37 760 782	250 900	1 419

*Incluye operación de aeronaves, locomotoras (foráneas/patio), terminales de autobuses, distribución, almacenamiento y fugas de GLP, hidrocarburos no quemados en la combustión de GLP, incendios forestales y rellenos sanitarios. Fuente: SMA-GDF. Inventario de Gases de Efecto Invernadero 2006.

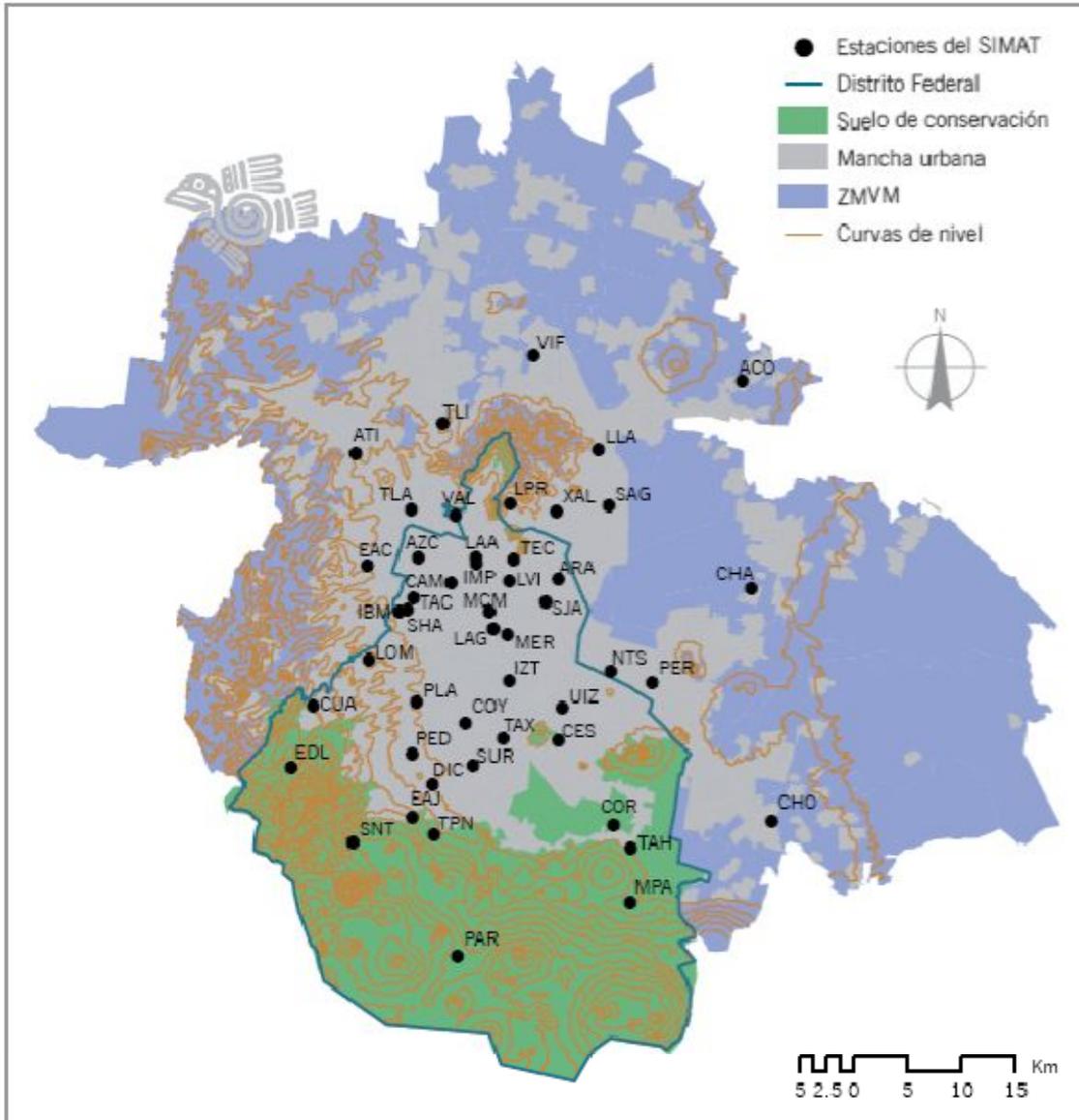
2.9 EVOLUCIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO ATMOSFÉRICO EN LA ZMVM

La Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del D.F., se encarga de la vigilancia de la calidad del aire de la ZMVM a través del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT). Su misión es la de vigilar y evaluar los niveles de la contaminación del aire para informar de manera oportuna a la población sobre cualquier riesgo. Actualmente está integrado por cuatro subsistemas (Cuadro 2.6): la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA), la Red Manual de Monitoreo Atmosférico (REDMA), la Red de Meteorología y Radiación Solar (REDMET) y la Red de Depósito Atmosférico (REDDA).

Cuadro 2.6. Evolución del número de estaciones de monitoreo del SIMAT

Año	Número de estaciones						Parámetros que se miden
	Totales		En el Distrito Federal		En el Estado de México		
	2002	2008	2002	2008	2002	2008	
RAMA	32	36	21	24	11	12	O ₃ , SO ₂ , CO, NO ₂ , NOx, PM ₁₀ , PM _{2.5}
REDMA	13	14	9	9	4	5	PST, PM ₁₀ , PM _{2.5} , Pb-PM ₁₀ , Pb-PM _{2.5}
REDMET	15	15	6	8	7	7	Velocidad, perfil y dirección del viento, humedad relativa, temperatura, perfil de temperatura y radiación ultravioleta
REDDA	16	16	12	12	4	4	pH, conductividad, sulfatos, nitratos, aniones y cationes

En los últimos años el SIMAT se ha modernizado principalmente en todo su sistema de captura y manejo de datos con el Centro de Información de la Calidad del Aire (CICA), además de haber ampliado la superficie de cobertura de monitoreo y actualmente la representatividad espacial del SIMAT comprende las 16 delegaciones del Distrito Federal y 10 municipios del Estado de México. La ubicación de las estaciones del SIMAT se muestra en la Figura 2.16.



Fuente. Informe de la Calidad del Aire 2008. SMA-GDF

Figura 2.16 Distribución y cobertura de las estaciones del SIMAT

2.10 EVOLUCION DE LAS NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE

La Secretaría de Salud modificó las Normas de Calidad del Aire que establecen los límites permisibles de concentración de los contaminantes atmosféricos, con lo que los valores normados se adecuan más a las normas internacionales.

En particular las normas modificadas entre el 2002 y el 2008 fueron las relacionadas con partículas. Se estableció la norma para partículas $PM_{2.5}$, se modificó la norma para PM_{10} y para PST. Además se estableció la norma para ozono de quinto máximo (móvil de 8 h).

En el Cuadro 2.7 se presentan las normas actualizadas de Calidad del Aire.

Cuadro 2.7. Normatividad relativa a las concentraciones atmosféricas de contaminantes criterio.

Contaminante	Norma Oficial Mexicana (NOM)	Niveles máximos permitidos de exposición		
		Aguda Crónica		
		Concentración (Tiempo Promedio)	Frecuencia Máxima Aceptable	Concentración (tiempo Promedio)
Ozono (O_3)	NOM-020-SSA-1993	0.11 ppm 0.08	Una vez al año, 4 máximo en un año	NA
Monóxido de carbono (CO)	NOM-021-SSA1-1993	11 ppm (8 horas prom. móvil)	Una vez al año	NA
Bióxido de azufre (SO_2)	NOM-022-SSA1-1993	0.13 ppm (24 horas)	Una vez al año	0.03 ppm (PAA)
Bióxido de nitrógeno (NO_2)	NOM-023-SSA1-1993	0.21 ppm (1 hora)	Una vez al año	NA
Partículas PST	NOM-025-SSA1-1993	210 $\mu g/m^3$ (24 horas)	Una vez al año	75 $\mu g/m^3$ (PAA)
Partículas PM_{10}	NOM-025-SSA1-1993	120 $\mu g/m^3$ (24 horas)	Una vez al año	50 $\mu g/m^3$ (PAA)
Partículas $PM_{2.5}$	NOM-025-SSA1-1993	65 $\mu g/m^3$ (24 horas)	Una vez al año	15 $\mu g/m^3$ (PAA)
Plomo (Pb)	NOM-026-SSA1-1993	NA	NA	105 $\mu g/m^3$ (PAA de 3 meses)
m^3 = metro cúbico		NA = no aplica		
ppm = partes por millón		PAA Promedio aritmético anual		
μg = microgramos				

2.11 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

- Banco de México. 2008. Expectativas de los especialistas en economía. México.
- Comisión Ambiental Metropolitana. (2002). Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010. Gobierno del Distrito Federal, Gobierno del Estado de México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Secretaría de Salud. México, D.F. pp. 381.
- CONAPO. Consejo Nacional de Población. 2007. Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2005.
- CONAPO. Consejo Nacional de Población. 2008. La situación demográfica en México 2008.
- Covarrubias, 2000; en Proyecto para el diseño de una estrategia integral de gestión de la calidad del aire en el Valle de México, 2001-2010. MIT, 2000.
- Hernández-Moreno A. 2009. "Evaluación del Plan Verde en materia de aire con base en el contenido de la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) y la modelación de los escenarios"
- INEGI. 2002. Marco Geoestadístico Municipal. 2000.
- Molina, L. T.; Molina, M. 2002. Air Quality in the Mexico Megacity: An integrated Assessment. Kluwer Academic Publishers.
- Muñoz, R.; Granados, M. G.; Jaimes, M. C. (2008). "Análisis del comportamiento semanal del ozono en la zona metropolitana del Valle de México en el periodo 1990-2007". Serie de Análisis del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México. SMA-GDF.
- SMA-GDF. 2000. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. Inventario de Emisiones de contaminantes criterio de la Zona Metropolitana del Valle de México. 1998.
- SMA-GDF. 2002. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. Inventario de Emisiones de contaminantes criterio de la Zona Metropolitana del Valle de México. 2000.
- SMA-GDF. 2004. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. Inventario de Emisiones de contaminantes criterio de la Zona Metropolitana del Valle de México. 2002.
- SMA-GDF. 2006. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. Inventario de Emisiones de contaminantes criterio de la Zona Metropolitana del Valle de México. 2004.
- SMA-GDF. 2006. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. Dirección General de Inventario de Emisiones. Evolución y Tendencias de las Emisiones en la ZMVM 1990-2006.
- SMA-GDF. 2008. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. Inventario de Emisiones de contaminantes criterio de la Zona Metropolitana del Valle de México. 2006.
- SMA-GDF. 2008. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. Inventario de Emisiones de gases de efecto invernadero de la Zona Metropolitana del Valle de México. 2006.
- SMA-GDF. 2008. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. Inventario de Emisiones de contaminantes tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México. 2006.
- SMA-GDF. 2009. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. Informe de la Calidad del Aire 2008.

- SMA-GDF. 2009. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. Inventario de Emisiones de contaminantes criterio de la Zona Metropolitana del Valle de México. 2008. (Documento Preliminar).
- SMA-GDF. 2003. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. Informe Anual de Actividades 2002.
- SMA-GDF. 2004. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. Informe Anual de Actividades 2004.
- SMA-GDF. 2005. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. Informe Anual de Actividades 2004.
- SMA-GDF. 2006. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. Informe Anual de Actividades 2005.
- SMA-GDF. 2007. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. Informe Anual de Actividades 2006.
- SMA-GDF. 2008. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. Informe Anual de Actividades 2007.
- SMA-GDF. 2009. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. Informe Anual de Actividades 2008.

3

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DEL PROAIRE 2002-2010

El documento denominado “Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010” (PROAIRE 2002-2010) publicado por la Comisión Ambiental Metropolitana, contiene varias estrategias y 89 medidas que debían desarrollarse a corto, mediano y largo plazo para proteger la salud de los habitantes de la ZMVM a través del mejoramiento en la calidad del aire. Por consiguiente, la evaluación de dicho Programa deberá contemplar no solamente la evaluación de las medidas y estrategias contempladas en el mismo, sino también el impacto en la calidad del aire y en la salud de los habitantes de la ZMVM.

3.1 CONSIDERACIONES GENERALES

A través de la Comisión Ambiental Metropolitana se solicitó a los coordinadores de todos los grupos la información relacionada con el cumplimiento de las estrategias y medidas previstas para el desarrollo del PROAIRE 2002-2010. Así mismo se solicitaron documentos e información estadística a diferentes dependencias de gobierno, tanto para determinar el avance de las medidas, como para realizar las estimaciones de las reducciones en las emisiones, los costos asociados y los beneficios a la salud.

La respuesta a esta solicitud mostró que a lo largo del desarrollo del PROAIRE 2002-2010 no hubo mucha interacción entre los coordinadores de los grupos, que no existen informes anuales o periódicos de los avances y costos de las acciones coordinadas por cada grupo, que no hay homogeneidad en la información de las distintas entidades y dependencias y que en general la información oficial es escasa.

Debido a lo anterior y para determinar la metodología de evaluación del PROAIRE, se tomaron en cuenta las siguientes reflexiones:

- La evaluación de un programa consiste en realizar un seguimiento del mismo, de manera que permita obtener información acerca de cómo se está llevando a cabo, para poder realizar una mejora continua a través de la retroalimentación. En este sentido, la evaluación de un programa no debe de ser un acto puntual, sino un proceso continuo que debe iniciarse desde el diseño y la planeación del programa.
- El proceso de evaluación debe incluir:
 - a) la “evaluación del contexto medioambiental” en el cual se realiza el planteamiento de las necesidades de la sociedad que llevan a la realización de un programa,
 - b) la “evaluación del diseño del programa” en la que se determina la viabilidad, la pertinencia de la programación, los actores responsables, los indicadores y la metodología de evaluación de los avances y resultados.
 - c) la “evaluación del desarrollo del programa”, que deberá efectuarse en forma periódica, de manera que retroalimente, mejore y corrija el mismo a través de la sistematización de la información de los resultados parciales, la cual debe evidenciar si las acciones se realizan en la forma planeada y si son efectivas.

d) la “evaluación de resultados”, en la que se determina el cumplimiento de las metas y objetivos y la eficacia del programa.

- En este sentido, la primera consideración sobre la evaluación del PROAIRE 2002-2010, es que el proceso de evaluación debió haberse iniciado desde el planteamiento del programa y realizarse en forma continua. De igual forma, los indicadores y metodología de evaluación para las medidas y estrategias, debieron definirse desde un principio y el proceso de evaluación debió realizarse en forma periódica.

El hecho de que el proceso de evaluación se considerara como un acto puntual al término del programa, ha tenido como consecuencias:

- No contar con los indicadores ni con la metodología para la evaluación cuantitativa y cualitativa del programa que permitieran un proceso continuo de evaluación.
- No contar con una metodología de interacción, colaboración y discusión de los diferentes grupos de administración del PROAIRE.
- No contar con la información sobre los tiempos en la instrumentación de las actividades de cada medida.
- No contar con la información sobre los costos asociados a la instrumentación de las medidas.
- No contar con un sistema de información que pudieran alimentar periódicamente los coordinadores de los grupos designados para la administración del PROAIRE 2002-2010.
- Como consecuencia, el proceso de evaluación de los resultados del PROAIRE 2002-2010 presenta grandes limitaciones.

Con base en lo anterior, se emite la **primera recomendación** producto de esta evaluación, en el sentido de que al finalizar el diseño del siguiente PROAIRE se inicie el proceso de evaluación por una institución ajena a la gestión del mismo y que éste continúe hasta que el programa finalice. Así mismo, desde el diseño del futuro PROAIRE deberá desarrollarse un sistema de información que asegure al evaluador contar con todos los elementos necesarios para determinar la correcta aplicación y la eficacia de las medidas, cuantificar el grado de avance, conocer el uso de los recursos, detectar problemas en la implementación de las medidas y retroalimentar a los responsables para un mejor desarrollo del programa. Para ello deberá existir un acuerdo de obligatoriedad a proporcionar información por parte de las distintas dependencias.

La Evaluación de un Programa Ambiental, como es el PROAIRE, podría llevarse a cabo a través de la Evaluación Ambiental Estratégica, (EAE) basada en la Directiva 2001/42/CE del Parlamento y del Consejo Europeo y recomendada por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y la Declaratoria de París para todos sus socios y miembros, entre los que se encuentra México.

La United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) define a la EAE como un proceso sistemático y anticipatorio, emprendido para analizar los efectos ambientales de planes, programas y acciones propuestas y para integrar las resoluciones en la toma de decisiones. Cabe mencionar que la OCDE emitió una recomendación para México en el año 2003: *“Desarrollar una evaluación ambiental estratégica de la política del transporte, incluyendo medidas que reduzcan los congestionamiento urbanos y desarrollar el transporte de carga por tren y barco, con base en análisis costo-beneficio.”* Con este antecedente es posible considerar el Desarrollo de una Evaluación Ambiental Estratégica para el futuro Programa para Mejorar la Calidad del Aire en la ZMVM lo que además proporcionaría la oportunidad de dar cumplimiento a la recomendación de la OCDE.

La evaluación del cumplimiento y resultados obtenidos por la aplicación del PROAIRE 2002-2010, se dividió en tres etapas que se presentan en los siguientes capítulos. El capítulo 4 presenta los avances de las medidas y la evaluación de las reducciones alcanzadas por la aplicación de las estrategias, el capítulo 5 presenta la evaluación de los impactos en la calidad del aire y beneficios a la salud del PROAIRE 2002-2010 y el capítulo 6 contiene la modelación de los escenarios antes y después de la aplicación del programa para evaluar los cambios en la calidad del aire.

3.2 INDICADORES PARA LA EVALUACIÓN DE LAS MEDIDAS.

La OCDE define a un “indicador” como un parámetro o valor derivado de parámetros que proporciona información para describir el estado de un fenómeno, ambiente o área, con un significado que va más allá del directamente asociado con el valor del parámetro en sí mismo

Desde ese punto de vista, aunque el documento del PROAIRE 2002-2010 no define explícitamente los indicadores para la evaluación de las medidas y estrategias, en su diseño muestra las directrices para determinarlos. Estos indicadores se relacionan directamente con los objetivos, acciones a realizar, costos y el programa de instrumentación.

Los indicadores cualitativos propuestos son:

1. Cumplimiento o grado de cumplimiento del o los objetivos.
2. Cumplimiento o grado de cumplimiento de cada acción propuesta.
3. Cumplimiento oportuno del programa de instrumentación.
4. Beneficios no cuantificables. (velocidad de tránsito, información confiable, equipamiento, y oportuna, calidad de vida, etc.)

Los indicadores cuantitativos propuestos son:

1. Comparación del costo estimado con el costo de instrumentación.
2. Cuantificación particular de algunas acciones (superficie reforestada, vehículos sustituidos, cursos impartidos, empresas autorreguladas, etc)
3. Cuantificación de las reducciones en la emisión de compuestos contaminantes por las fuentes.

La determinación de los avances y evaluación de cada una de las medidas se presenta en el Capítulo 4. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, la información entregada por los grupos es escasa e incompleta, y la mayoría no cuenta ni con los tiempos de realización de las actividades de las medidas, ni con los costos de instrumentación, ni con los datos que permitan estimar cuantitativa o cualitativamente los beneficios. Debido a lo anterior se reunió la información existente para cada una de las medidas utilizando los informes de los grupos en los casos en que los había, informes oficiales gubernamentales del Distrito Federal y del Estado de México, así como informes de algunas dependencias oficiales tanto federales como de ambas entidades; en algunos casos se utilizó información de Internet relacionada con notas periodísticas de entrevistas a funcionarios y boletines oficiales.

Al inicio del capítulo se presenta un listado de las medidas. Para realizar el análisis de cada una de ellas, se utilizó la división por estrategias tal y como se presenta en el documento original del PROAIRE y para realizar la vinculación con los grupos de instrumentación, se le adjudicó una clave a cada medida. En los casos que fue posible la cuantificación de las reducciones se reportó dentro de los beneficios y se emitieron recomendaciones para cada una de las 89 medidas.

3.3 EVALUACIÓN DE LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE LAS FUENTES DE EMISIÓN.

En el capítulo 4 se presenta el análisis numérico de las reducciones alcanzadas (indicador cuantitativo) por la aplicación de las medidas agrupadas en sus estrategias comparándose con las reducciones esperadas. Para llevar a cabo este análisis se realizaron las estimaciones con base a los factores de emisión o a los modelos utilizados en la determinación de los inventarios de emisiones, como es el caso del modelo MOBILE6 que se utilizó para estimar las emisiones de la flota vehicular. Se trabajó en forma estrecha con la Dirección General de Inventarios de Emisiones con quienes se comparó la metodología y los resultados. Es importante mencionar que aunque se contaba con datos que permitían cuantificar algunas reducciones del año 2009, se decidió realizar la estimación de la reducción de emisiones para el 2008 ya que se contaba con las bases completas de dicho año.

Las memorias de cálculo que se usaron para estimar las reducciones en las medidas que las producen en forma directa, se encuentran en los anexos de este documento. En el capítulo 4, para cada estrategia, se realizó una jerarquización de las medidas con base en el indicador relacionado con las reducciones alcanzadas que contribuyeron a la disminución de la contaminación ambiental.

Para las estrategias que no implican reducciones directas o cuantificables de las emisiones, se presenta una evaluación cualitativa de las acciones realizadas y las metas alcanzadas. Así mismo, se formularon recomendaciones para cada una de las medidas que sirven de guía al próximo programa de Calidad del Aire en el sentido de continuarlas, actualizarlas, suspenderlas o replantearlas.

3.4 EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS EN LA CALIDAD DEL AIRE Y CUMPLIMIENTO DE LAS NORMAS DE SALUD ASOCIADOS AL PROAIRE 2002-2010

El documento original del programa, estableció que durante la aplicación del PROAIRE 2002-2010 debían elaborarse los indicadores de calidad del aire considerando la concentración de los contaminantes, la reducción de los contaminantes en las fuentes, los efectos en la salud y los impactos económicos sociales y económicos. En este sentido, el principal instrumento de vigilancia para evaluar la efectividad del PROAIRE 2002-2010 ha sido el Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT), quien ha generado una serie de indicadores basados en las recomendaciones internacionales de la OCDE (<http://www.sma.df.gob.mx/simat/pnindicadores.htm>).

La evaluación de los impactos en la calidad del aire obtenidos con la aplicación del PROAIRE 2002-2010 se realizó con los siguientes indicadores:

1. Indicadores desarrollados por el SIMAT durante el período 2002-2008: tendencias, máximos, mínimos, promedios, eventos extremos y percentiles (90, 75 y 50).
2. Cumplimiento de los objetivos y metas de calidad del aire.

La evaluación de los impactos en la salud obtenidos con la aplicación del PROAIRE 2002-2010 se realizó con los siguientes indicadores:

1. Cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas de Salud relacionadas con la calidad del aire.
2. Activación del Programa de Contingencias Ambientales.

3. Cuantificación de la disminución de la mortalidad atribuida a la contaminación atmosférica, determinada por un estudio realizado por el Instituto Nacional de Salud Pública.

Considerando que la aplicación de las estrategias y medidas aplicadas durante el período transcurrido del PROAIRE 2002-2010 deben haberse traducido en una reducción efectiva de los contaminantes atmosféricos, principalmente de ozono y partículas, en el capítulo 5 se presenta la evaluación de la eficacia del PROAIRE 2002-2010 a través del análisis de las tendencias de la calidad del aire durante el período, utilizando todos los indicadores mencionados.

En cuanto a los impactos en la salud, se analizó el cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas de Salud relacionadas con la calidad del aire, analizando el número de veces que se excedió la norma de los contaminantes prioritarios y de la activación del Programa de Contingencias Ambientales. Así mismo, se presentan algunos resultados de indicadores de morbilidad y mortalidad obtenidos en un estudio realizado para el GDF por el Instituto Nacional de Salud Pública. No fue posible obtener información relacionada con el número de visitas y de hospitalizaciones en eventos de altas concentraciones de contaminantes ambientales, efectos en asmáticos, porcentaje de individuos que disminuyeron su actividad laboral, inversión pública y privada para atender enfermedades relacionadas con la contaminación ambiental, etc., por lo que no fue posible evaluar los beneficios socioeconómicos.

3.5 EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS EN LA CALIDAD DEL AIRE A TRAVÉS DE LA MODELACIÓN DE ESCENARIOS

Para realizar la modelación de escenarios se utilizó el modelo Multiscale Climatic Chemistry Model (MCCM) el cual se emplea para predecir la distribución temporal y espacial de los contaminantes atmosféricos primarios y secundarios. Este modelo ha sido utilizado frecuentemente por la SMA-GDF para la modelación de escenarios por lo que los inventarios de emisión contienen todos los datos necesarios para su aplicación. El modelo es de multiescala porque puede modelar procesos físicos y químicos a gran escala (miles de kilómetros cuadrados) tanto como a una menor (cientos de kilómetros cuadrados). Además tiene la capacidad de anidamiento múltiple, o sea; puede resolver áreas grandes con resolución fina, al anidar los dominios de menor escala en los de gran escala. El MCCM es un modelo que acopla directamente los procesos meteorológicos y químicos, incluye la fase gaseosa deposición, emisiones antropogénicas y naturales, incluye una descripción de los procesos de precipitación y nubosidad.

Se presenta la evaluación en los cambios de la calidad del aire modelando distintos escenarios para estimar los cambios en la calidad del aire a finales del 2008 (base completa de datos) y 2010 (proyectado), tomando como escenario base el 2002. Para estimar los efectos del programa se compararon escenarios de emisiones contaminantes y de calidad del aire de la ZMVM con y sin la instrumentación de las medidas del PROAIRE 2002-2010.

La evaluación se basa en la variación de la concentración ozono, así como en la carga de contaminantes por unidad de tiempo para NO_2 , SO_2 , COT, COV y PM en la ZMVM.

Los escenarios se definieron de la siguiente manera:

Escenario "Base": Está definido por la calidad del aire determinada en el año 2002 y publicada por la SMA-GDF.

Escenario ESC2008: Está definido por la estimación de las emisiones contaminantes y de la calidad del aire modelada para el año 2008 sin la aplicación de las medidas del "PROAIRE 2002-2010".

Escenario ESC2010: Está definido por la estimación de las emisiones contaminantes y de la calidad del aire modelada para el año 2010 sin la aplicación de las medidas del “PROAIRE 2002-2010”.

Escenario PB2008: Está definido por la estimación de las emisiones contaminantes y de la calidad del aire modelada para el año 2008 con la aplicación de las medidas del “PROAIRE 2002-2010”.

Escenario PB2010: Está definido por la estimación de las emisiones contaminantes y de la calidad del aire modelada para el año 2010 con la aplicación de las medidas del “PROAIRE 2002-2010”.

En la Figura 3-1 se puede observar la definición de los escenarios y los beneficios alcanzados.

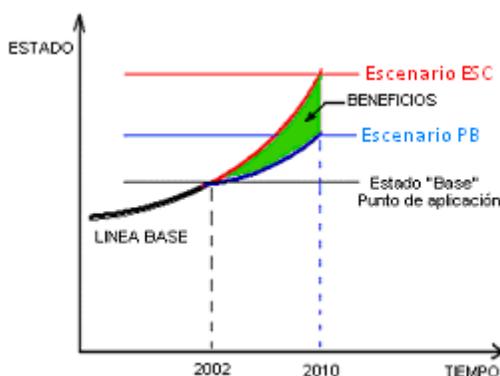


Figura 3.1. Esquemización de escenarios.

Se considera que el inventario real de emisiones 2008 es el resultado de la evolución de las fuentes de emisiones agregado a los efectos de las medidas del PROAIRE instrumentadas en el periodo 2002-2008 por lo que, para este año se constituyó el escenario PB-2008 (con PROAIRE). En consecuencia; el escenario ESC-2008 se obtuvo incrementando, al inventario 2008, las emisiones generadas que resultaron reducidas por las medidas del Programa.

El escenario PB-2010 se obtuvo con base en las flotas vehiculares proyectadas aplicando modelos econométricos de crecimiento del parque vehicular y modelos de retiro en función de la edad de las unidades (Hernández, 2009). Las proyecciones de fuentes de área y puntuales están basadas en variaciones per cápita, prospectivas energéticas y económicas. A partir del diseño del escenario PB-2010 se calculó el escenario ESC-2010 integrando los efectos de las medidas instrumentadas hasta el segundo trimestre del 2009. El dominio abarca las 16 delegaciones y los 18 municipios conurbados contemplados en el PROAIRE 2002-2010.

Como se mencionó, la calidad del aire se modeló para cada escenario de emisiones empleando el modelo fotoquímico MCCM, el cual cuenta con capacidad para determinar concentraciones de ozono en función de variables como las emisiones, la topografía, la meteorología, etc. Para ello, se realizó el análisis en distintas épocas del año de las variables meteorológicas: temperatura, humedad relativa y velocidad del viento. En total se hicieron 5 corridas de modelación de la calidad del aire en el MCCM. Se calcularon diferentes parámetros estadísticos para que funcionaran como criterios de comparación, entre ellos los análisis por estación, los cambios máximos, promedios globales y análisis de superficies de interpolación para concentraciones de ozono. En el capítulo 6 se presenta con mayor detalle la información sobre la modelación de los escenarios.

Con el fin de apreciar en forma visual las diferencias en las concentraciones de ozono y PM_{10} en los escenarios 2008 y 2010 comparados con el año 2002, se utilizó el método geoestadístico Kriging de

interpolación espacial para realizar la substracción de los escenarios 2008 y 2010 con y sin la aplicación del PROAIRE, con lo cual es posible observar visiblemente la diferencia que habría en las concentraciones de los contaminantes si no se hubieran aplicado las medidas del PROAIRE 2002-2010.

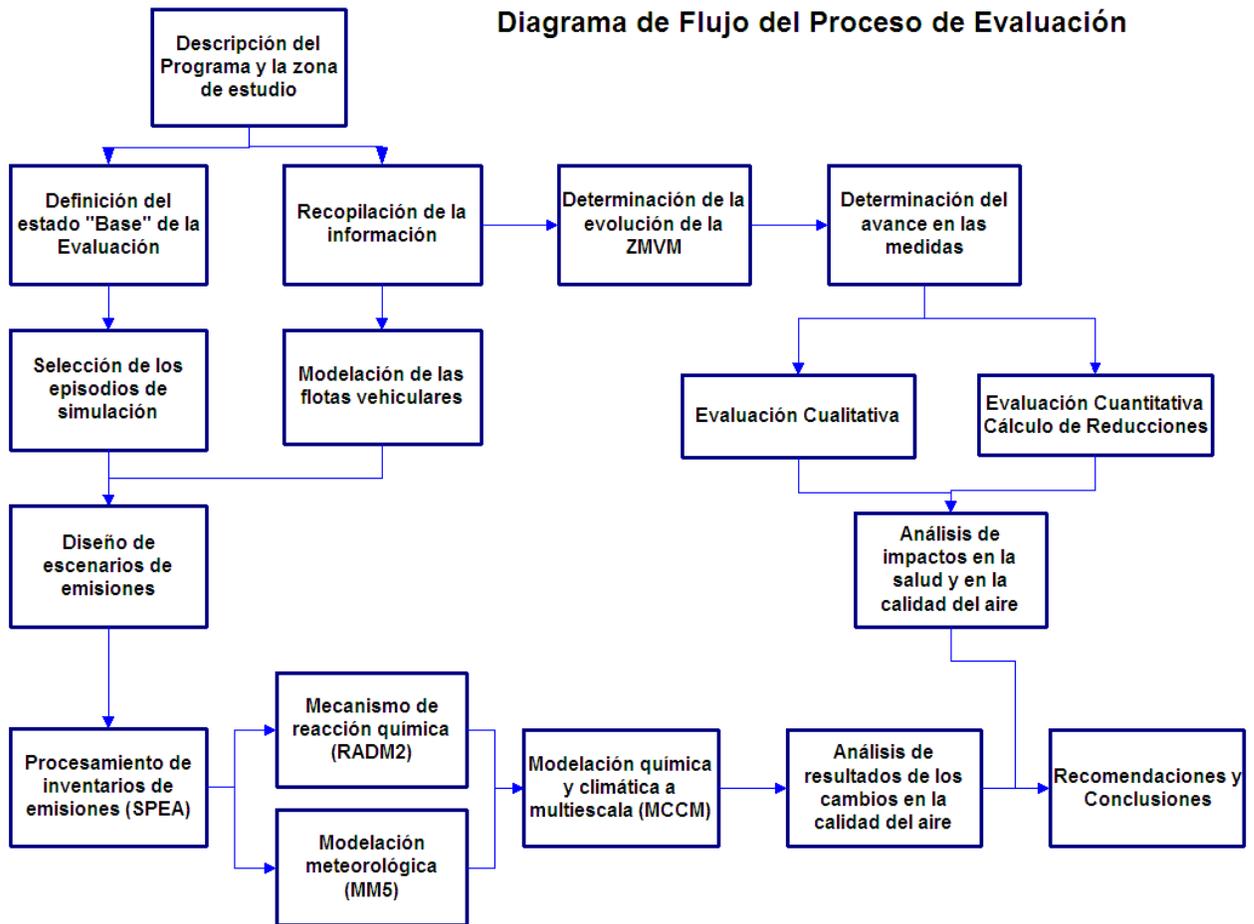


Figura 3.2. Diagrama de flujo del proceso de evaluación

3.6 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

- CAM. Comisión Ambiental Metropolitana. 2002. Programa para mejorar la calidad del aire de la Zona Metropolitana del Valle de México (PROAIRE 2002-2010). México.
- CAM. Comisión Ambiental Metropolitana. 2004. Programa para mejorar la calidad del aire de la Zona Metropolitana del Valle de México (PROAIRE) 2002-2010. Informe Ejecutivo de Avances 2002-2003. México.
- DOCE. Diario Oficial de las Comunidades Europeas. 2001. DIRECTIVA 2001/42/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO. 27 de junio de 2001. L 197/30.
- Forkel, R., & García, A. 2003. Manual del Multiscale Climatic Chemistry Model (MCCM). México.
- Hernández, A. 2009. Tesis: Evaluación del Plan Verde en materia de aire con base en el contenido de la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) y la modelación de los escenarios. México.
- INE. Instituto Nacional de Ecología. 2004. Segundo almanaque de datos de tendencias de calidad del aire en seis ciudades mexicanas. México.
- Municio, P. (1992). La evaluación segmentada de programas. *Bordón*, 43 (4), 375-395.
- OCDE. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. 2003. Evaluación del Desempeño Ambiental de México. París.
- OCDE. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. 2007. La Evaluación Ambiental Estratégica. Una guía de buenas prácticas en la cooperación para el desarrollo. U.S.A.
- OCDE. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. 2008. Conducting Sustainability Assessments. Paris.
- SEMARNAT. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2005. Indicadores básicos del desempeño ambiental en México.
- SEMARNAT. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2006. La Gestión Ambiental en México.
- SEMARNAT. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2006. La calidad del aire de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México 1986-2006.
- SMA-GDF. 2004. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. Indicadores de la Calidad del Aire. 23 de diciembre de 2009. <http://www.sma.df.gob.mx/simat/pnindicadores.htm>
- SMA-GDF. 2006. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. Inventario de Emisiones de contaminantes criterio de la Zona Metropolitana del Valle de México. 2004.
- SMA-GDF. 2008. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. Inventario de Emisiones de contaminantes criterio de la Zona Metropolitana del Valle de México. 2006.
- SMA-GDF. 2009. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. Inventario de Emisiones de contaminantes criterio de la Zona Metropolitana del Valle de México. 2008, preliminar.
- SMA-GDF. Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. 2008. Dirección de Monitoreo Atmosférico. Informe de la Calidad del Aire en el Valle de México.
- UNECE. United Nations Economic Commission to Europe, 2007. Resource Manual to Support Application of the UNECE Protocol on Strategic Environmental Assessment (SEA).

4

EVALUACIÓN DE LA REDUCCIÓN DE EMISIONES POR LAS ESTRATEGIAS

En este capítulo se presenta la evaluación de las reducciones en las emisiones como producto de la instrumentación de las medidas y estrategias. Para la identificación de las medidas, se asignó una clave a cada una de ellas. La letra G corresponde al Grupo. El primer número representa el grupo de trabajo al que fue asignada la medida (Cuadro 4.1), el segundo número es el número de la medida en dicho grupo. Posteriormente las letras representan el sector o estrategia original del programa y el último número el orden de la medida en dicho sector o estrategia.



&: T= transporte, I=Industria,

Para cada medida se realizó la investigación con las diferentes dependencias responsables y consultando algunos documentos escritos y páginas de Internet oficiales. Debido a la escasez de la información principalmente en lo relacionado a tiempos y costos no fue posible realizar el seguimiento de los programas previstos para la instrumentación de las medidas, por lo que el análisis se suscribió a los avances realizados para cada medida, los beneficios que implicaron, cuantificándose en los casos que aplicaba y se emitieron recomendaciones.

El Cuadro 4.1 presenta el listado de las medidas, con sus claves y el estado de avance que tiene cada una de ellas hasta diciembre de 2009.

Cuadro 4.1 Resumen de Avance de Medidas

T: Terminada, C: En curso, D: Detenida.

#	Clave	Medidas Vehículos y Transportes	Avance		
			T	C	D
1	G8-1-PT1	Establecimiento y aplicación de límites de emisión más estrictos para vehículos nuevos a gasolina			
2	G7-1-PT2	Reducción contenido de azufre en gasolina 50 ppm			
3	G4-1-PT3	Mejoramiento continuo del Programa de Verificación Vehicular Obligatorio			
4	G4-2-PT4	Modernización y actualización del programa hoy no circula			
5	G4-3-PT5	Rediseño del programa integral de reducción de emisiones contaminantes. PIREC			
6	G4-3-PT6	Adaptación de sistemas de control de emisiones a vehículos no equipados desde fábrica (retrofit)			
7	G4-5-PT7	Programa de detección y retiro de vehículos ostensiblemente contaminantes			
8	G6-1-PT8	Renovación de la flota vehicular de transporte de pasajeros de baja capacidad (taxis)			
9	G6-2-PT9	Sustitución del transporte pasajeros de mediana capacidad por vehículos nuevos de alta capacidad			
10	G8-2-PT10	Establecimiento de disposiciones normativas y mecanismos de control para evitar la introducción de vehículos importados fuera de especificaciones ambientales.			
11	G4-6-PT11	Diseño e instrumentación de un programa de prueba de aditivos y dispositivos anticontaminantes incluyendo un protocolo de pruebas y procedimientos administrativos.			
12	G8-3-PT12	Establecimiento y aplicación de límites de emisión más estrictos para vehículos nuevos a diesel			
13	G7-2-PT13	Reducción del contenido de azufre en el diesel			
14	G4-7-PT14	Actualización del programa de verificación de vehículos a diesel a nivel federal y homologación con los Estados Unidos de América y Canadá.			
15	G4-8-PT15	Instrumentar un programa de sustitución de motores y trenes motrices de vehículos a diesel y/o retroadaptación de sistemas de control de emisiones.			
16	G4-9-PT16	Revisión y reforzamiento del programa de autorregulación de vehículos a diesel			
17	G6-3-PT17	Diseño, evaluación y/o ejecución de proyectos piloto demostrativos.			
18	G7-3-PT18	Expansión de la red de estaciones de recarga de gas natural comprimido (GNC)			
19	G6-4-PT19	Introducción de vehículos eléctricos			
20	G3-1-PT20	Establecimiento de corredores de transporte			
21	G6-5-PT21	Eliminación de vehículos contaminantes de mayor edad de uso privado			
22	G6-6-PT22	Renovación de autobuses (RTP) y del servicio de transportes eléctricos (STE)			

23	G6-12-PT23	Renovación de la flota de transporte de carga local			
24	G6-13-PT24	Regulación del horario de circulación para los vehículos de carga.			
25	G6-15-PT25	Expansión del metro			
26	G6-16-PT26	Establecimiento de una red de trenes suburbanos			
27	G6-17-PT27	Ampliación de la red de trolebuses y tren ligero			
28	G6-7-PT28	Localización de taxis en bases			
29	G6-8-PT29	Elaboración de estudios de volúmenes y movilidad en el transporte público de pasajeros en la ZMVM.			
30	G6-9-PT30	Fomento del uso de combustibles alternativos en el sistema de transporte público de pasajeros			
31	G6-10-PT31	Implantación del registro estatal del transporte público.			
32	G6-14-PT32	Programa integral para el transporte público de carga.			
33	G6-11-PT33	Promoción de rutas directas o express, locales y metropolitanas.			
34	G3-2-PT34	Modernización de los sistemas de gestión del tránsito metropolitano.			
35	G3-3-PT35	Promoción de la gestión y coordinación para la pavimentación de vialidades en zonas marginadas de la ZMVM.			
36	G3-4-PT36	Fomento a la gestión y coordinación para la construcción de anillos y libramientos en la ZMVM			
37	G3-5-PT37	Fomentar la coordinación para mejorar la infraestructura vial metropolitana			
38	G3-1-PT38	Gestión y coordinación para mejorar la construcción y modernización de los paraderos de la ZMVM.			
Medidas Industria					
1	G1-1-I1	Reconversión energética en la industria			
2	G1-2-I2	Control de emisiones contaminantes en el sector industrial			
3	G1-3-I3	Instrumentación de programas de producción más limpia			
4	G1-4-I4	Consolidación del sistema integrado de regulación de la industria (SIRG).			
5	G1-5-I5	Fortalecimiento de los programas de autorregulación en la industria.			
6	G1-6-I6	Fortalecer las actividades de inspección y vigilancia en la industria.			
7	G7-6-I7	Disminución de emisiones generadas por las plantas de energía eléctrica situadas en la ZMVM			
Medidas Servicios					
1	G1-7-S1	Reducción de emisiones de hidrocarburos en lavanderías de lavado en seco			
2	G1-8-S2	Mecanismos de autorregulación y mejoramiento de la gestión ambiental en pequeños y medianos establecimientos.			
3	G1-9-S3	Capacitación en prácticas eficientes de combustión en establecimientos comerciales y de servicios que cuenten con calderas.			
4	G7-4-S4	Reducción de emisiones por fugas de gas LP en instalaciones domésticas de la ZMVM			
5	G1-10-S5	Verificación de los sistemas de recuperación de vapores instalados en las estaciones de servicio			

6	G1-11-S6	Regulación de las actividades de extracción en bancos de materiales pétreos no consolidados.			
7	G8-4-S7	Lineamientos del uso de combustibles y la operación de hornos artesanales para la fabricación de tabique.			
8	G7-5-S8	Promover el uso de energía solar en sustitución de combustibles fósiles			
9	G1-12-S9	Promover y desarrollar instrumentos económicos de fomento ambiental para los establecimientos industriales y de servicios en la ZMVM.			
		Medidas Recursos Naturales			
1	G2-1-RN1	Instrumentación de programas de ordenamiento ecológico.			
2	G2-2-RN2	Refuerzo de los instrumentos legales en materia de uso del suelo.			
3	G2-3-RN3	Control y ordenamiento de los asentamientos humanos.			
4	G2-4-RN4	Contención del crecimiento de la mancha urbana en el área rural de la ZMVM.			
5	G2-5-RN5	Proteger, inspeccionar y vigilar los recursos naturales.			
6	G2-6-RN6	Mejorar la prevención y combate de incendios forestales.			
7	G2-7-RN7	Inversión ambiental para la vigilancia social del suelo del área rural de la ZMVM, mediante el pago compensatorio por servicios ambientales.			
8	G2-8-RN8	Monitoreo del estado de conservación de los recursos naturales en la ZMVM.			
9	G2-9-RN9	Manejo de áreas naturales protegidas.			
10	G2-10-RN10	Programa de recuperación de hábitat a través de la plantación de especies adecuadas.			
11	G2-11-RN11	Saneamiento y restauración de recursos naturales.			
12	G2-12-RN12	Recuperación, restauración, conservación y ampliación de las áreas verdes urbanas de la ZMVM.			
13	G2-13-RN13	Programa de capacitación, instrumentación y establecimiento de esquemas de financiamiento para la producción agropecuaria y forestal sustentable.			
14	G2-14-RN14	Programa de capacitación, instrumentación y establecimiento de esquemas de financiamiento para la producción agropecuaria y forestal sustentable.			
15	G2-15-RN15	Programa de recuperación de suelos erosionados en la cuenca oriental del Valle de México.			
		Medidas Salud			
1	G10-1-PS1	Modernización y actualización del programa de contingencias ambientales atmosféricas (PCAA).			
2	G10-2-PS2	Medidas particulares para reducir la exposición de la población a la contaminación del aire.			
3	G10-7-PS3	Percepción social y comunicación de riesgos.			
4	G10-3-PS4	Actualización de la evaluación de costos económicos asociados a efectos en salud.			
5	G10-4-PS5	Vigilancia epidemiológica de los efectos de la contaminación atmosférica.			
6	G8-5-PPS6	Creación y revisión de normas de calidad del aire.			
7	G10-5-PS7	Investigación de efectos de la contaminación atmosférica en la salud en la ZMVM.			
8	G10-6-PS8	Efectos en la salud asociados con fuentes puntuales de emisión de contaminantes.			
		Medidas Educación			
1	G5-1-EA1	Subprograma de educación ambiental formal.			
2	G5-2-EA2	Subprograma de educación ambiental no formal.			
3	G5-3-EA3	Subprograma de información, formación y capacitación			

		ambiental.			
4	G5-4-EA4	Subprograma de comunicación y difusión educativa ambiental.			
		Medidas Fortalecimiento			
1	G1-13-FI1	Elaborar la caracterización y diagnóstico de los establecimientos industriales, comerciales y de servicios, ubicados en la ZMVM.			
2	G1-14-FI2	Integración de un comité metropolitano de evaluación y seguimiento de nuevas tecnologías para el control de emisiones atmosféricas.			
3	G8-6-FI3	Elaborar los reglamentos de la Ley Ambiental del Distrito Federal en materia de fuentes fijas y móviles.			
4	G11-1-FI4	Actualización del inventario de emisiones.			
5	G9-1-FI5	Reactivación del fideicomiso ambiental del Valle de México.			
6	G11-2-FI6	Modernización de la red automática de monitoreo atmosférico.			
7	G1-15-FI7	Fortalecimiento del registro de emisiones y transferencia de contaminantes en la ZMVM.			
8	G11-3-FI8	Investigación de la calidad del aire en el Valle de México 2002-2010.			

El obstáculo principal para la estimación de las reducciones logradas fue la escasez y falta de actualización de la información. En general, casi ninguno de los grupos de trabajo cuenta con informes totales o parciales de los avances del PROAIRE 2002-2010. Por ello, todas las cuantificaciones realizadas se basaron en los datos que utiliza la SMA-GDF para la elaboración de los inventarios de emisiones.

Para realizar la evaluación, se compararon los valores esperados que se estimaron en el documento original del PROAIRE 2002-2010 con las reducciones obtenidas en cada una de las medidas. Los sectores en los que se cuantificaron las reducciones fueron los de vehículos y transporte, el de industria y el de servicios. En los sectores y medidas en los que no es posible cuantificar las reducciones se presenta el resumen de las acciones llevadas a cabo y una evaluación cualitativa de beneficios ambientales.

El Cuadro 4.2 presenta el resumen de las reducciones esperadas y alcanzadas por contaminante durante el PROAIRE 2002-2010. En general, las reducciones cuantificadas muestran que la meta numérica total en volumen de reducciones se alcanzó dos años antes. Sin embargo, no se han cumplido las metas cuantitativas para PM_{10} , hidrocarburos y NO_x en el sector de transporte, aunque hubo un mayor volumen reducido de CO que el esperado; en el sector industrial las reducciones alcanzadas para SO_2 , NO_x e hidrocarburos no metánicos fueron pequeñas, aunque se superó 20 veces la meta para PM_{10} . Las reducciones alcanzadas en el sector servicios se superaron en más del 20% a fines del 2008.

Cuadro 4.2 Reducciones esperadas (al 2010) y alcanzadas (diciembre 2008)

MEDIDAS		Ton/año PM ₁₀	Ton/año SO ₂	Ton/año CO	Ton/año NO _x	Ton/año HCNM
Vehículos y Transportes	E	4 282	1 012	590 972	114 090	82 746
	A	2 112	463	817 132	64 307	71 286
Industria	E	121	4 208	234	7 006	5 980
	A	2 866	43	N/E	472	587
Servicios	E	N/A	N/A	N/A	N/A	11 181
	A	N/A	N/A	N/A	N/A	13 851
Recursos Naturales	E	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Salud	E	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Educación Ambiental	E	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Fortalecimiento	E	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Total reducciones esperadas	E	4 403	5 220	591 206	121 096	99 907
Total reducciones alcanzadas	A	5 078	506	817 132	64 779	85 706
Reducción en % respecto a las emisiones totales proyectadas al 2010	E	0.55	0.93	75.5	15.3	8
Reducción en % respecto a las emisiones al 2008	A	0.23	0.05	85.5	6.7	7.5

E: Reducciones esperadas al 2010. A: Reducciones alcanzadas al 2008. N/E: No estimada. N/A: No aplica

4.1 ESTRATEGIA DE REDUCCIÓN DE EMISIONES GENERADAS POR EL TRANSPORTE

Resultados generales

Las reducciones totales esperadas para el año 2010 ascienden a 899 787 ton/año para este sector y representan más del 98% del total de reducciones esperadas de todo el programa. Hasta fines del año 2008, el volumen total de las reducciones como consecuencia de la aplicación de medidas relacionadas con vehículos y transporte eran de 955 382 ton/año, lo cual es superior a la meta establecida, sin contar que aún faltan las reducciones de 2009 y 2010. Cabe mencionar que las medidas que dieron lugar a las mayores reducciones son diferentes a las originalmente proyectadas y la distribución de las reducciones tampoco fue la esperada y aunque se superó la meta para CO, los demás contaminantes tuvieron reducciones menores a las esperadas (Cuadro 5.2).

Reducción en la emisión de contaminantes atmosféricos

Se había estimado que en este grupo de medidas, el CO aportara el 75% de las reducciones totales para vehículos y transportes, y hasta la fecha alcanza más del 86% de las mismas, lo cual implica que las reducciones en otros contaminantes que tienen un mayor impacto en la salud o en la producción de ozono tuvieron reducciones menores a las esperadas. Los hidrocarburos no metánicos representaron únicamente el 7.5% de las reducciones por vehículos y transportes frente al 10% inicialmente esperado, lo que implica que no se cumplieron las expectativas de reducción de estos importantes precursores en la formación de ozono. La reducción de NO_x, otro precursor del ozono, tuvo un poco menos de la mitad de las ton/año esperadas de reducción. Lo anterior tiene implicaciones negativas en la disminución de

los niveles de ozono atmosférico. Las PM_{10} y el SO_2 , contaminantes que tienen importantes efectos adversos a la salud, presentaron reducciones menores a la mitad de las esperadas, lo cual se debió en parte al incumplimiento de las medidas 2 y 13, relacionadas con la disminución del contenido de azufre en la gasolina y el diesel, pero principalmente a que los proyectos del tren suburbano (que inició en 2008) y la expansión del metro, tuvieron un gran retraso, además de que la ampliación de la red de trolebuses y tren ligero no se llevó a cabo por falta de presupuesto.

Reducciones vinculadas a la aplicación de las medidas

Las medidas que más contribuyeron en el volumen total de las ton/año reducidas fueron la “Sustitución de taxis en el Distrito Federal” (medida 8) que, aunque no alcanzó las reducciones esperadas para partículas, rebasó la expectativa de reducciones contaminantes contribuyendo con más de 150 000 ton/año, el Programa de retiro de vehículos ostensiblemente contaminantes” (medida 7 con reducciones mayores a 138 000 ton/año), el “Programa integral de reducción de emisiones PIREC” (medida 5 con más de 123 000 ton/año de reducciones), el “Fomento de uso de combustibles alternativos” (medida 30), principalmente de microbuses a Gas LP, el “Mejoramiento continuo de la verificación vehicular” (medida 3) y la “Actualización del programa Hoy No Circula”; originalmente, a los últimos programas no se les había estimado reducciones en el PROAIRE 2002-2010, sin embargo fueron exitosos y se lograron importantes reducciones. Es importante resaltar que el éxito de los mencionados programas estuvo muy vinculado al programa de la medida 1: “Establecimiento de límites más estrictos para vehículos nuevos”, cuyas reducciones cuantificadas son menores al 10% de las reducciones esperadas; pero sin el cumplimiento de dicha medida no hubiera sido posible obtener las reducciones mencionadas en las demás medidas.

De las medidas del grupo de Vialidad, la 37, referente al mejoramiento de la infraestructura vial fue la que aportó mayor cantidad de reducciones con más de 107 000 ton/año, seguida por la de anillos y libramientos (medida 36) y corredores de transporte (medida 20).

Las medidas que han tenido reducciones similares a las contempladas en el documento de PROAIRE 2002-2010 son la 22, relacionada con la “Renovación de autobuses RTP y servicio de transporte eléctrico STE” y la medida 23, relacionada con la “Renovación de la flota de transporte de carga local”.

Las medidas que no han tenido ningún avance y por lo tanto no produjeron ninguna reducción son la medida 6, “Adaptación de sistemas retrofit” de la que se esperaba la mayor reducción de las medidas de vehículos por más de 180 000 ton/año y cuyo esquema costo-beneficio fue inviable; la medida 21, correspondiente a la “Eliminación de de vehículos contaminantes de uso privado de mayor uso” de la que se esperaba una reducción de alrededor de 116 000 ton/año, no tuvo resultados debido a que la crisis económica no ha permitido que el programa de reemplazo se incremente, a pesar que desde el 2009 se puso en marcha un programa federal de sustitución; la medida 28, de “Localización de taxis en bases” que reduciría más de 6 600 ton/año tampoco avanzó.

Las medidas 1 y 12 para establecer límites más estrictos de emisión en vehículos y transportes nuevos no se han podido aplicar en la forma requerida debido a que aún no se cuenta con la gasolina y diesel de bajo azufre (medida 13) requeridos por la industria automotriz para implementar la tecnología que produzca mayores reducciones en las emisiones de escape (medida 15). La medida 14 de homologación de los vehículos a diesel con los programas de verificación de los Estados Unidos y Canadá tampoco será posible mientras no se cuenta con el diesel de bajo azufre. Por ello, será necesario solicitar a PEMEX la distribución en altos volúmenes de este tipo de combustibles lo que implicará un beneficio importante en cuanto a la disminución de emisiones vehiculares.

Por otra parte, cabe mencionar que el “Programa de autorregulación de vehículos a diesel (medida 16) fue relativamente exitoso ya que aproximadamente el 25% de los mismos entraron al programa logrando disminuciones de alrededor de 6 000 ton/año al lograr niveles de opacidad menores en un 65% a los establecidos por la norma.

Es importante señalar que en muchos casos fue difícil realizar las estimaciones y en otros imposible por la falta de datos como aforos de las nuevas vialidades y libramientos. Además, no se han realizado los estudios sobre la modificación de las velocidades con las que se transita, no se ha publicado la información actualizada del tren suburbano en cuanto a número de viajes, usuarios, frecuencia diaria etc. y en general persiste una falta de información “oficial” sobre la situación actual de las vialidades.

El Cuadro 5.3 presenta un resumen de las recomendaciones para cada medida en el sentido de continuarla, actualizarla periódicamente, suspenderla o replantearla con el fin de obtener mejores resultados. Se intentó realizar una jerarquización de las 20 medidas más importantes en relación con la disminución de las emisiones totales y sus implicaciones en la mejora en la calidad del aire y disminución de efectos adversos a la salud. Las restantes medidas de vehículos no fueron jerarquizadas y el orden en que se presentan es el del documento del PROAIRE 2002-2010. Cabe mencionar que dicha jerarquización no fue fácil y es relativa, ya que algunas medidas que tienen muy pocas o nulas reducciones fueron determinantes para el cumplimiento de otras medidas que sí obtuvieron reducciones importantes, como es el caso de aquellas relacionadas con normatividad.

Cuadro 4.3 Reducciones esperadas (al 2010) y alcanzadas (en 2008) para Vehículos y Transportes.

Clave	Medidas Vehículos y Transportes		Ton/año PM ₁₀	Ton/año SO ₂	Ton/año CO	Ton/año NOx	Ton/año HCNM
G8-1-PT1	Establecimiento y aplicación de límites de emisión más estrictos para vehículos nuevos a gasolina	E	426	159	10,482	11,006	3,564
		A	0	0	3,164	1,870	1,217
G7-1-PT2	Reducción contenido de azufre en gasolina 50 ppm	E	N/E	N/E	N/E	N/E	N/E
		A	4	61	0	0	0
G4-1-PT3	Mejoramiento continuo del Programa de Verificación Vehicular Obligatorio	E	N/E	N/E	N/E	N/E	N/E
		A	N/E	N/E	84,416	2,310	5,304
G4-2-PT4	Modernización y actualización del programa hoy no circula	E	N/E	N/E	N/E	N/E	N/E
		A	115	84	64,483	4,757	5,752
G4-3-PT5	Rediseño del programa integral de reducción de emisiones contaminantes. PIREC	E	N/E	N/E	N/E	N/E	N/E
		A	N/E	N/E	95,763	15,865	11,488
G4-3-PT6	Adaptación de sistemas de control de emisiones a vehículos no equipados desde fábrica (retrofit)	E	N/E	N/E	153,419	12,643	14,959
		A	0	0	0	0	0
G4-5-PT7	Programa de detección y retiro de vehículos ostensiblemente contaminantes	E	N/E	N/E	N/E	N/E	N/E
		A	1,515	0	113,087	14,091	10,240
G6-1-PT8	Renovación de la flota vehicular de transporte de pasajeros de baja capacidad (taxis)	E	124	N/E	N/E	8,579	11,434
		A	38	58	138,974	3,942	12,903
G6-2-PT9	Sustitución del transporte pasajeros de mediana capacidad por vehículos nuevos de alta capacidad	E	12	N/E	151,933	5,027	13,374
		A	-125	-6	24,688	-245	1,413
G8-3-PT12	Establecimiento y aplicación de límites de emisión más estrictos para vehículos nuevos a diesel	E	640	N/E	N/E	6,362	1,012
		A	0	0	0	0	0
G7-2-PT13	Reducción del contenido de azufre en el diesel	E	N/E	40	N/E	N/E	N/E
		A	0	0	0	0	0
G4-9-PT16	Revisión y reforzamiento del programa de autorregulación de vehículos a diesel	E	N/E	N/E	N/E	N/E	N/E
		A	232	NE	2,724	2,244	904
G6-4-PT19	Introducción de vehículos eléctricos	E	N/E	40	N/E	N/E	N/E
		A	0.13	N/E	238	24	24
G3-1-PT20	Establecimiento de corredores de transporte	E	N/E	N/E	N/E	N/E	N/E
		A	0	0.6	3,530	14	314
G6-5-PT21	Eliminación de vehículos contaminantes de mayor edad de uso privado	E	155	0	102,267	5,234	8,323
		A	0	0	0	0	0
G6-6-PT22	Renovación de autobuses (RTP) y del servicio de transportes eléctricos (STE)	E	95	0	725	860	348
		A	110	38	498	1,477	395
G6-12-PT23	Renovación de la flota de transporte de carga local	E	24	0	86,829	6,131	5,728
		A	20	0	65,008	306	3,808
G6-15-PT25	Expansión del metro	E	352	91	9,375	7,074	2,841
		A	0	0	0	0	0
G6-16-PT26	Establecimiento de una red de trenes suburbanos	E	265	72	7,064	5,330	2,140
		A	4	5	6,859	391	773
G6-17-PT27	Ampliación de la red de trolebuses y tren ligero	E	2,189	598	62,830	45,729	18,554
		A	0	0	0	0	0
G6-7-PT28	Localización de taxis en bases	E	N/E	12	6,048	115	469
		A	N/E	N/E	N/E	N/E	N/E
G6-9-PT30	Fomento del uso de combustibles alternativos en el sistema de transporte público de pasajeros	E	N/E	N/E	N/E	N/E	N/E
		A	-6	39	96,711	-1,545	989
G3-4-PT36	Fomento a la gestión y coordinación para la construcción de anillos y libramientos en la ZMVM	E	N/E	N/E	N/E	N/E	N/E
		A	110	183	37,704	2,517	4,373
G3-5-PT37	Fomentar la coordinación para mejorar la infraestructura vial metropolitana	E	N/E	N/E	N/E	N/E	N/E
		A	196	N/E	79,287	16,292	11,372

E: Reducciones esperadas al 2010. A: Reducciones alcanzadas al 2008. N/E: No estimada

Cuadro 4.4. Recomendaciones y jerarquización de las Medidas de Vehículos y Transportes

J	No	Clave y grupo	Medidas Vehículos y Transportes	Recomendación
1	8	G6-1-PT8 Transporte	Renovación de la flota vehicular de transporte de pasajeros de baja capacidad (taxi). Mayor volumen total, importantes reducciones en HCNM que son tóxicos y precursores de O ₃ .	Continuar
2	7	G4-5-PT7 C. Vehicular	Programa de detección y retiro de vehículos ostensiblemente contaminantes. Además del alto volumen en reducciones totales, tuvo las más altas reducciones en PM ₁₀ .	Continuar
3	5	G4-3-PT5 C. Vehicular	Rediseño del programa integral de reducción de emisiones contaminantes, PIREC.	Continuar
4	1	G8-1-PT1 Normatividad	Establecimiento y aplicación de límites de emisión más estrictos para vehículos nuevos a gasolina. Fue fundamental para el cumplimiento de otras medidas.	Actualizar periódicamente
5	37	G3-5-PT37 Vialidad	Fomentar la coordinación para mejorar la infraestructura vial metropolitana.	Continuar
6	30	G6-9-PT30 Transporte	Fomento del uso de combustibles alternativos en el sistema de transporte público de pasajeros.	Replantear por disponibilidad de gas
7	3	G4-1-PT3 C. Vehicular	Mejoramiento continuo del Programa de Verificación Vehicular Obligatorio.	Actualizar periódicamente
8	4	G4-2-PT4 C. Vehicular	Modernización y actualización del programa hoy no circula.	Actualizar periódicamente
9	23	G6-12-PT23 Transporte	Renovación de la flota de transporte de carga local.	Continuar
10	36	G3-4-PT36 Vialidad	Fomento a la gestión y coordinación para la construcción de anillos y libramientos en la ZMVM.	Continuar
11	9	G6-2-PT9 Transporte	Sustitución del transporte pasajeros de mediana capacidad por vehículos nuevos de alta capacidad.	Continuar y Extender al Estado de México
12	26	G6-16-PT26 Transporte	Establecimiento de una red de trenes suburbanos.	Continuar
13	16	G4-9-PT16 C. Vehicular	Revisión y reforzamiento del programa de autorregulación de vehículos a diesel.	Actualizar y extender al Estado de México
14	20	G3-1-PT20 Vialidad	Establecimiento de corredores de transporte.	Continuar y extender al Estado de México
15	22	G6-6-PT22 Transporte	Renovación de autobuses (RTP) y del servicio de transportes eléctricos (STE).	Continuar y extender al Estado de México
16	21	G6-5-PT21 Transporte	Eliminación de vehículos contaminantes de mayor edad de uso privado.	Continuar
17	2	G7-1-PT2 Energía	Reducción contenido de azufre en gasolina 50 ppm.	Ampliar distribución
18	33	G6-11-PT33 Transporte	Promoción de rutas directas o express, locales y metropolitanas.	Continuar y extender al Estado de México
19	25	G6-15-PT25 Transporte	Expansión del metro.	Continuar
20	27	G6-17-PT27 Transporte	Ampliación de la red de trolebuses y tren ligero.	Continuar
	6	G4-3-PT6 C. Vehicular	Adaptación de sistemas de control de emisiones a vehículos no equipados desde fábrica (retrofit).	No continuar
	10	G8-2-PT10 Normatividad	Establecimiento disposiciones normativas y mecanismos de control para evitar la introducción de vehículos importados	Replantear

			fuera de especificaciones ambientales.	
11	G4-6-PT11 C. Vehicular		Diseño e instrumentación de un programa de prueba de aditivos y dispositivos anticontaminantes incluyendo un protocolo de pruebas y procedimientos administrativos.	Continuar y extender a nivel federal
12	G8-3-PT12 Normatividad		Establecimiento y aplicación de límites de emisión más estrictos para vehículos nuevos a diesel.	Actualizar periódicamente
13	G7-2-PT13 Energía		Reducción del contenido de azufre en el diesel.	Continuar
14	G4-7-PT14 C. Vehicular		Actualización del programa de verificación de vehículos a diesel a nivel federal y homologación con los Estados Unidos de América y Canadá.	Continuar
15	G4-8-PT15 Normatividad		Instrumentar un programa de sustitución de motores y trenes motrices de vehículos a diesel y/o retroadaptación de sistemas de control de emisiones.	Replantear
17	G6-3-PT17 Transporte		Diseño, evaluación y/o ejecución de proyectos piloto demostrativos.	Replantear pruebas
18	G7-3-PT18 Energía		Expansión de la red de estaciones de recarga de gas natural comprimido (GNC).	Replantear
19	G6-4-PT19 Transporte		Introducción de vehículos eléctricos.	Continuar
24	G6-13-PT24 Transporte		Regulación del horario de circulación para los vehículos de carga.	Replantear
28	G6-7-PT28 Transporte		Localización de taxis en bases.	Replantear en D.F.
29	G6-8-PT29 Transporte		Elaboración de estudios de volúmenes y movilidad en el transporte público de pasajeros en la ZMVM.	Continuar
31	G6-10-PT31 Transporte		Implantación del registro estatal del transporte público.	Actualizar periódicamente
32	G6-14-PT32 Transporte		Programa integral para el transporte público de carga.	Replantear
34	G3-2-PT34 Vialidad		Modernización de los sistemas de gestión del tránsito metropolitano.	Continuar
35	G3-3-PT35 Vialidad		Promoción de la gestión y coordinación para la pavimentación de vialidades en zonas marginadas de la ZMVM.	Replantear
38	G3-1-PT38 Vialidad		Gestión y coordinación para mejorar la construcción y modernización de los paraderos de la ZMVM.	Continuar

J. Jerarquización de la medida

4.2 ESTRATEGIA DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DE LA INDUSTRIA Y LOS SERVICIOS

INDUSTRIA

Resultados generales

Se esperaba que la aplicación de las medidas para la Industria del PROAIRE 2002-2010 contribuyeran con un 2.1% de las reducciones totales estimadas, equivalente a 17 549 ton/año para fines del 2010. A fines del 2008, las reducciones alcanzadas representan menos del 23% de dicha cantidad con únicamente 3 968 ton/año.

Reducción en la emisión de contaminantes atmosféricos

El diseño de las medidas apuntaba a una importante reducción de NO_x (40%), seguida por hidrocarburos (34%) y SO₂ (24%), sin embargo las reducciones alcanzadas a diciembre 2008 muestran una distribución muy diferente, correspondiendo las reducciones a NO_x, HCNM y SO₂ en un 12, 15 y 1% respectivamente, mientras que el contaminante que más se redujo con la aplicación de las medidas fueron las partículas PM₁₀ contribuyendo con el 72% de las reducciones alcanzadas que representan alrededor de 2 900 ton/año (Cuadro 4.5). Esta contribución en la disminución de partículas es relevante ya que este contaminante es de los que más efectos adversos a la salud presentan.

Reducciones vinculadas a la aplicación de las medidas

De las 7 medidas contempladas para el sector industrial, se esperaba una importante reducción de SO₂ y NO_x con la “Reconversión energética de la industria” (medida 1), al implicar que un gran número de industrias dejarían de consumir diesel para utilizar gas natural. Sin embargo debido a problemas relacionados con la falta de redes de distribución de gas natural, esta medida avanzó muy poco encontrando a finales del año 2008 una reducción de apenas 139 ton/año frente a las 5 213 ton/año que se esperaban lograr para fines del 2010.

Una medida que ha avanzado, aunque menos a lo esperado es la de “Control de emisiones contaminantes en el sector industrial” (medida 2), con la cual se propició la reducción de más de 3 600 ton/año lo cual representa un avance a finales de 2008 del 46% sobre las reducciones esperadas para dicha medida. La reducción más importante es en PM₁₀ lo cual tiene importantes implicaciones en la calidad del aire y la salud, seguida de HCNM y NO_x. El éxito parcial de esta medida se vincula principalmente a la exención al Programa de Contingencias Ambientales y a los estímulos ofrecidos por el GDF, mientras que en el Estado de México no se logró obtener esa información, aunque falta que alrededor del 75% de las industrias sujetas a dicho programa realicen sus reducciones si quieren exentar el Programa de Contingencias. La crisis económica que han sufrido las empresas en los últimos años es también un impedimento para que inviertan en equipos de control y programas de ahorro de energía.

Aunque la medida 4 relacionada con un “Sistema integrado de regulación” se logró concluir tanto en el Distrito Federal como en el Estado de México, y se fortalecieron las acciones de inspección y vigilancia (medida 6), la realidad es que la instrumentación de la medida para una “Producción más limpia” (medida 3) la cual tenía una expectativa moderada de reducción de emisiones (menor al 15% del total), no se logró impulsar suficientemente. Sin embargo se firmaron varios convenios, algunas empresas consideraron la autorregulación, y se dio capacitación a ciertas industrias. Probablemente algunas de las

reducciones de la medida 2 se vinculen con la aplicación de la medida 3, sin embargo, a la fecha la respuesta ha sido escasa y se tienen muy pocos datos al respecto. La misma situación prevalece con la medida 5 de autorregulación de la industria, a la cual muy pocas empresas se han sumado para realizar sus auditorías y adquirir sus certificados de industria limpia.

En cuanto a la implementación del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC), tanto la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Estado de México como la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal finalizaron sus sistemas de acceso y exportación de datos con lo cual los usuarios pueden conocer la información de este registro a través de Internet.

Finalmente para la medida 7 con la que se tenía la expectativa de disminuir las emisiones de NO_x en 4 000 ton/año, el resultado reportado por la SMA-GDF es muy inferior (216 ton/año). Aunque es importante manifestar que la información sobre las emisiones de las termoeléctricas es escasa y tiene una gran incertidumbre. Se desconoce si se establecieron los monitoreos perimetrales en las generadoras de energía Jorge Luke y Valle de México.

Cuadro 4.5 Reducciones esperadas (al 2010) y alcanzadas (en 2008) para la Industria

No	Clave	Medidas Industria		Ton/año PM ₁₀	Ton/año SO ₂	Ton/año CO	Ton/año NO _x	Ton/año HCNM
1	G1-1-I1	Reconversión energética en la industria	E	8	4 190	N/A	1 015	N/A
			A	16	43	N/E	80	N/E
2	G1-2-I2	Control de emisiones contaminantes en el sector industrial	E	95	N/E	N/E	1 532	5 953
			A	2 850	N/E	N/E	176	587
3	G1-3-I2	Instrumentación de programas de producción más limpia	E	18	18	234	459	27
			A	N/E	N/E	N/E	N/E	N/E
7	G1-7-I7	Disminución de emisiones generadas por las plantas de energía eléctrica situadas en la ZMVM	E	N/E	N/E	N/E	4 000	N/E
			A	N/E	N/E	N/E	216	N/E

E: Reducciones esperadas al 2010. A: Reducciones alcanzadas al 2008. N/E: No estimada

El Cuadro 4.6 muestra las recomendaciones generales para cada medida, así como la jerarquización de las mismas relacionadas con la reducción en las emisiones.

Cuadro 4.6. Medidas de Industria

J	No	Medidas Industria	Recomendación
1	2	G1-2-I2 Industria y Servicios	Control de emisiones contaminantes en el sector industrial Continuar
2	7	G7-6-I7 Energía	Disminución de emisiones generadas por las plantas de energía eléctrica situadas en la ZMVM Replantear
3	5	G1-5-I5 Industria y Servicios	Fortalecimiento de los programas de autorregulación en la industria. Continuar y extender al Estado de México
4	6	G1-6-I6 Industria y Servicios	Fortalecer las actividades de inspección y vigilancia en la industria. Continuar
5	1	G1-1-I1 Industria y Servicios	Reconversión energética en la industria Continuar y extender al Estado de México
6	4	G1-4-I4 Industria y Servicios	Consolidación del sistema integrado de regulación de la industria (SIRG). Continuar y extender al Estado de México
7	3	G1-3-I3 Industria y Servicios	Instrumentación de programas de producción más limpia Continuar

SERVICIOS

Resultados generales

Las expectativas de reducción de contaminantes en el sector de servicios se habían estimado en alrededor de 11 200 ton/año de hidrocarburos para el año 2010. A fines de 2008, esta cifra fue superada por alrededor de un 20%, para obtener una reducción de 13 851 ton/año, que corresponde al 1.4% de las reducciones totales alcanzadas durante la aplicación de las medidas del PROAIRE 2002-2010 (Cuadro 5.4). Las reducciones alcanzadas por este sector tienen gran relevancia porque algunos de ellos son tóxicos y la mayoría corresponden a contaminantes precursores en la formación de ozono.

Reducción en la emisión de contaminantes atmosféricos

Tanto las reducciones esperadas como las alcanzadas, se relacionan con la disminución de hidrocarburos, principalmente de compuestos orgánicos volátiles (COVs) reactivos en la formación de ozono troposférico. Las reducciones alcanzadas por este sector representan el 11% de las reducciones totales para HCNM de todo el PROAIRE 2002-2010 hasta finales de 2008 (Cuadro 4.7).

Reducciones vinculadas a la aplicación de las medidas

Las reducciones obtenidas se deben casi en su totalidad a la medida 5 que consistió en realizar la instalación de “Sistemas de Recuperación de Vapor en Estaciones de Servicio” en el Distrito Federal de acuerdo a la norma local NAEDF-001-AMBT-2006.

A pesar del intenso esfuerzo en modernizar la normatividad relacionada con los recipientes de GLP, correspondiente a la medida 4, no hubo un mayor seguimiento y promoción para evitar fugas de este combustible, por lo que las reducciones alcanzadas fueron muy pocas, menor al 2% de las reducciones esperadas, además de que en el Estado de México no se realizaron acciones normativas similares.

Las medidas 6 y 7 que correspondían al Estado de México, no han tenido un seguimiento de inspección y vigilancia. A pesar de haberse publicado la normatividad en el caso de los materiales pétreos y del esfuerzo de inversión que se hizo en las tabiqueras, se desconoce el monto de las reducciones. Considerando los importantes efectos adversos a la salud que provocan las partículas es muy importante el seguimiento de estas medidas.

La medida 1 que tenía la expectativa de importantes reducciones en COV (6 000 ton/año) quedó detenida por falta de apoyo a la industria de lavanderías y no se obtuvieron reducciones. Es importante considerar la aplicación de una normatividad para el control de COVs en estos establecimientos.

Aunque el objetivo principal en el Distrito Federal al promover el uso de la energía solar en el sector Servicios y desarrollar una normatividad, fue motivada principalmente por la puesta en marcha del “Plan Verde”, para lograr reducciones importantes de emisiones de CO₂, el uso de energías alternativas implica reducciones en la emisión de otros contaminantes. No se presentan dichas reducciones ya que no se tuvo acceso a los datos.

Con lo anterior, queda nuevamente de manifiesto, la necesidad de que en el próximo Programa de Calidad de Aire se consideres de manera simultánea los beneficios que diferentes estrategias y medidas representan en la reducción, no solo de las emisiones de contaminantes criterio, sino también de contaminantes tóxicos y de gases de efecto invernadero.

Cuadro 4.7 Reducciones esperadas (al 2010) y alcanzadas (en 2008) en Servicios

No	Clave	Medidas Servicios		Ton/año PM ₁₀	Ton/año SO ₂	Ton/año CO	Ton/año NOx	Ton/año HCNM
1	G1-5-S1	Reducción de emisiones de hidrocarburos en lavanderías de lavado en seco	E	N/A	N/A	N/A	N/A	6 000
			A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/E
4	G1-5-S4	Reducción de emisiones por fugas de gas LP en instalaciones domésticas de la ZMVM	E	N/A	N/A	N/A	N/A	5 181
			A	N/A	N/A	N/A	N/A	101
5	G1-5-S5	Verificación de los sistemas de recuperación de vapores instalados en las estaciones de servicio	E	N/A	N/A	N/A	N/A	N/E
			A	N/A	N/A	N/A	N/A	13 750
8	G1-5-S8	Promover el uso de energía solar en sustitución de combustibles fósiles	E	N/E	N/E	N/E	N/E	N/E
			A	N/E	N/E	N/E	N/E	N/E

E: Reducciones esperadas al 2010. A: Reducciones alcanzadas al 2008. N/E: No estimada. N/A. No aplica

El Cuadro 4.8 muestra las recomendaciones y jerarquización de las medidas de servicios de acuerdo al volumen de emisiones logradas.

Cuadro 4.8. Recomendación y jerarquización de las Medidas de Servicios

No	J	Medidas Servicios	Recomendación	
1	5	G1-10-S5 Industria y Servicios	Verificación de los sistemas de recuperación de vapores instalados en las estaciones de servicio	Extender al Estado de México
2	8	G7-5-S8 Energía	Promover el uso de energía solar en sustitución de combustibles fósiles	Continuar y extender al Estado de México
3	4	G7-4-S4 Energía	Reducción de emisiones por fugas de gas LP en instalaciones domésticas de la ZMVM	Replantear
4	1	G1-7-S1 Industria y Servicios	Reducción de emisiones de hidrocarburos en lavanderías de lavado en seco	Replantear
5	2	G1-8-S2 Industria y Servicios	Mecanismos de autorregulación y mejoramiento de la gestión ambiental en pequeños y medianos establecimientos.	Continuar y extender al Estado de México
6	3	G1-9-S3 Industria y Servicios	Capacitación en prácticas eficientes de combustión en establecimientos comerciales y de servicios que cuenten con calderas.	Replantear
7	6	G1-11-S6 Industria y Servicios	Regulación de las actividades de extracción en bancos de materiales pétreos no consolidados.	Replantear Inspección y vigilancia
8	7	G8-4-S7 Normatividad	Lineamientos del uso de combustibles y la operación de hornos artesanales para la fabricación de tabique.	Replantear
9	9	G1-12-S9 Industria y Servicios	Promover y desarrollar instrumentos económicos de fomento ambiental para los establecimientos industriales y de servicios en la ZMVM.	Replantear

4.3 ESTRATEGIA PARA LA PRESERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES Y PREVENCIÓN DE LA EXPANSIÓN DE LA MANCHA URBANA

Resultados generales

Durante el desarrollo del PROAIRE 2002-2010, los recursos naturales han seguido sujetos a enormes presiones de degradación, no solamente por fenómenos naturales, sino principalmente debido al incontenible aumento de la población en la ZMVM y la necesidad de satisfacer las necesidades de vivienda y alimentación. Esto produce como resultado, la disminución de suelo de conservación y áreas verdes, con el consecuente aumento de las emisiones contaminantes.

En el período de evaluación se realizaron un gran número de acciones dirigidas a cuantificar, contener e incluso revertir los efectos de dicha contaminación en la zona metropolitana que se desata resintiéndose el consumo de los recursos naturales. El objetivo de tales medidas es lograr en la región un desarrollo sustentable.

La conservación de los recursos naturales juega un papel importantísimo en la captura no solamente de CO₂, sino en general de las emisiones contaminantes. El deterioro de la cobertura vegetal y forestal trae como consecuencia terrenos áridos y poco fértiles por la pérdida de nutrientes. Estos se erosionan con la lluvia y el viento, produciendo a su vez generación de partículas a la atmósfera. Por ello, aunque en el presente estudio no fue posible la cuantificación de las reducciones alcanzadas por las medidas aplicadas, se considera implícito en cada una de ellas la mejora de la calidad del aire. La implementación del Plan Verde en el Distrito Federal fortaleció de manera importante la realización de varias medidas del PROAIRE 2002-2010 sobre Conservación de los Recursos Naturales.

Ordenamiento ecológico (Medidas 1-4)

Con respecto al Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal (PGOEDF), aprobado en el año 2000, se está elaborando un apartado ambiental con el objetivo de integrar los criterios y lineamientos del PGOEDF en los Programas Delegacionales de Desarrollo Urbano (PDDU), así como los convenios y acuerdos con las delegaciones respectivas. En 2008-2009 se ha continuado la actualización del PGOEDF y el avance es del 45%. El Programa de Ordenamiento Ecológico de la Región del Volcán Popocatepetl y su Zona de Influencia fue publicado en la *Gaceta del Gobierno* el 8 de febrero del 2007.

Para lograr el ordenamiento y control de los asentamientos urbanos irregulares se identificaron en el Distrito Federal 840 asentamientos irregulares en 2 500 hectáreas, en 9 delegaciones que cuentan con suelo de conservación. La SMA-GDF ha integrado una Comisión conocida como "Crecimiento Cero", en la que participan diversas autoridades administrativas del GDF. Con la creación de la Policía Ambiental se pretende evitar nuevos asentamientos humanos irregulares, vigilar los parajes con más incidencia de tala clandestina, inhibir el cambio de uso de suelo así como el depósito de residuos de construcción.

Por su parte, la SMA-GEM actualizó el Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio del Estado de México de 1993, cuya nueva versión se publicó en la *Gaceta del Gobierno* el 19 de junio del 2006. La Coordinación General de Conservación Ecológica del Estado de México a través de su componente de Protección y Vigilancia ha fortalecido su infraestructura para evitar los asentamientos irregulares, principalmente en la Sierra de Guadalupe que es la que presenta mayor problemática.

Suelo de Conservación y Áreas Naturales Protegidas (Medidas 5)

En el Distrito Federal se tienen registradas 15 Áreas Naturales Protegidas (ANP); de éstas, 8 son de su competencia y son administradas por la SMA-GDF. En el Estado de México, los 18 municipios conurbados de la ZMVM, cuentan actualmente con 18 ANP, el Sistema de ANP de toda la entidad suma una superficie de 990 244 hectáreas, el 44% del territorio estatal.

Se han establecido programas operativos de vigilancia forestal sistemática para la conservación de los recursos naturales. Sus estrategias están fundamentadas en un mayor trabajo de prevención física, cultural, participación social y coordinación interinstitucional. En el Estado de México, la Coordinación General de Conservación Ecológica (CGCE) se encarga de preservar, restaurar y proteger 21 685 hectáreas de cinco áreas naturales protegidas (Sierra de Guadalupe, Sierra de Tepotzotlán, Sierra Hermosa, Sierra Patlachique y Cerro Gordo), ubicadas todas en la ZMVM.

Se publicó el decreto de creación del Heroico Cuerpo de Brigadistas de Protección del Suelo de Conservación del Distrito Federal, que está integrado por 1 500 mujeres y hombres. En el Distrito Federal se inició la elaboración de cuatro Programas de Manejo para las ANP con categoría de Reserva Ecológica Comunitaria. Estas se encuentran en San Miguel Topilejo y San Nicolás Totolapan, del Área Comunitaria de Conservación Ecológica de Milpa Alta y del Parque Urbano Bosque de Tlalpan, con lo cual se tendría cubierto 90 % de las áreas que cuentan con su instrumento rector de manejo y conservación. Se encuentra en trámite para publicarse en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el documento que establecerá oficialmente el Sistema de Áreas Naturales Protegidas (Medida 8-14).

En el Estado de México, la SMA-GEM, por conducto de la Coordinación General de Conservación Ecológica (CGCE) se encarga de preservar, restaurar y proteger 21 685 hectáreas de cinco áreas naturales protegidas (Sierra de Guadalupe, Sierra de Tepotzotlán, Sierra Hermosa, Sierra Patlachique y Cerro Gordo). Se está implementando el Sistema Telemático de Monitoreo Ambiental el cual tiene por objetivo proteger y conservar las ANP del Estado de México (Medida 8).

El Programa de Atención a Visitantes, considerado en los Programas de Manejo de las áreas, ha venido operando en tres ANP: Sierra de Santa Catarina, Sierra de Guadalupe y Desierto de los Leones. Se ofrecen servicios al visitante como visitas guiadas, cursos, uso de canchas deportivas y áreas de campamento. Se han atendido a casi 3 000 personas y los recursos que se han captado han sido aplicados directamente en la conservación de las ANP. Recientemente se ha incorporado a este programa el ANP "Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco" (Medida 9).

Se creó el programa de Fondos de Apoyo para la Conservación y Restauración de los Ecosistemas a través de la participación social (PROFACE), en el 2008, el cual considera dos modalidades; los FOCORE y el Apoyo para la Participación Social en Acciones para la conservación y Restauración de los Ecosistemas (APASO), ambos orientados al financiamiento de proyectos y de mano de obra en los programas de trabajo para la protección, conservación y/o restauración de ecosistemas (Medida 11).

En el proyecto de conservación y ampliación de las áreas verdes en el 2008 se establece el Programa de Mejoramiento y Recuperación de Espacios Públicos y la adopción de áreas verdes (Medida 12, 14).

Dentro del programa de programa de capacitación, instrumentación y establecimiento de esquemas de financiamiento para la producción agropecuaria y forestal sustentable en el Distrito Federal se ha llevado a cabo el programa Integral de Empleo Productivo y Sustentable (PIEPS) que inició su operación en el 2001 para atender las necesidades de empleo temporal de los habitantes de zonas rurales (Medida 13). La SEGEM obtuvo financiamiento por 99 millones 700 mil pesos del Fideicomiso Ambiental del Valle de México, para implementar el programa para Mitigar la Emisión de Partículas Suspendidas en el Valle de México.

Incendios forestales (Medida 6)

Se ha dado prioridad la protección y conservación de la cubierta forestal, a través de programas de prevención, limpiando y abriendo brechas de cortafuego, realizando podas y cajeteo de árboles, acondicionando caminos y realizando quemas controladas. En el Distrito Federal se tiene un Programa de prevención y combate de incendios y la Secretaría de Desarrollo Agropecuario del Gobierno del Estado de México, por conducto de la Protectora de Bosques (Probosque), ha puesto en marcha el Programa Estatal de Prevención, Control y Combate de Incendios Forestales.

Resultados vinculados con la reducción de contaminantes a la atmósfera

Se recuperaron más de 85 mil hectáreas de suelo de conservación y se ha contenido el fraccionamiento, construcción e invasión de predios en el Distrito Federal (Medida 1-4).

Con las medidas de prevención y control, se ha disminuido el número de incendios y la superficie de las zonas afectadas de ANP (Medida 6), lo cual disminuye la emisión de partículas.

En el Programa de Servicios Ambientales Hidrológicos el Gobierno del Distrito Federal contó con un total de 192 millones de pesos a cinco años, destinados al pago directo de los beneficiarios y propietarios de zonas en buen estado de conservación de bosques y selvas, que coadyuvan en la remoción de contaminantes y a la recarga de acuíferos. En el Estado de México se creó el Programa para el Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH), que en 2008 ha apoyado a 1 913 hectáreas para que ofrezcan servicios ambientales de recarga de acuíferos y cobertura forestal (Medida 7).

En el proyecto de reforestación de la ZMVM, para la recuperación de hábitats, durante el periodo 1998-2007, se reforestaron en el Distrito Federal alrededor de 32 000 hectáreas con 72.6 millones de árboles, principalmente nativos, de los cuales 24.3 millones fueron de reposición. La reforestación en 18 municipios del Estado de México en el periodo 2000-2006, fue de 21.6 millones de árboles (Medida 10).

En el programa de reforestación urbana, solamente en el 2009 se plantaron 193 482 plantas, 80 066 árboles, 38 192 arbustos, 55 224 ornamentales, y dentro de la reforestación del suelo de conservación se logro el establecimiento de 2 millones de árboles. En el Estado de México como parte de la relación de convenios interinstitucionales, la Coordinación General de Conservación Ecológica firmó con diversos municipios 64 convenios para la rehabilitación y reforestación de áreas verdes urbanas (Medida 12).

En el Estado de México durante el período 2007-2008, Probosque llevó a cabo el diagnóstico fitosanitario en 187 824 hectáreas; se apoyó la ejecución de trabajos de saneamiento en 73 hectáreas y, de manera directa, realizó el combate y control de plagas y enfermedades en 55 hectáreas (Medida 11). En el ejercicio del periodo 2008-2009 se concluyeron los trabajos para conformar el Plan Maestro de Rescate Integral de los Ríos Magdalena y Eslava. En 2007 el GDF, firmó un convenio de colaboración con la Asociación Reforestamos México, Naturalia A.C. y la Asociación de Scouts de México para dar inicio al programa "Cinturón Verde" con el propósito de recuperar los principales bosques y suelos de conservación que rodean al valle de México con una meta de un millón de árboles en 87 310 hectáreas para el 2012 (Medida 11 y 14).

Con el financiamiento obtenido por la SEGEM por 99 millones 700 mil pesos del Fideicomiso Ambiental del Valle de México, se implementó el programa para Mitigar la Emisión de Partículas Suspendidas en la ZMVM a través de la disminución de suelos erosionados, se han extraído más de 1 millón de m³ de azolve, se han construido 23 800 m de barreras forestales rompevientos y se han plantado más de 2 millones de árboles, entre otras acciones que faltan por realizarse y que esperan mitigar en 170 000 ton/año la emisión de partículas PM₁₀ provenientes de suelos erosionados.

4.4 ESTRATEGIA PARA LA INTEGRACIÓN DE LAS POLÍTICAS DE DESARROLLO URBANO, TRANSPORTE Y CALIDAD DEL AIRE

En esta estrategia existe un avance significativo con la creación de la Agenda de Sustentabilidad Ambiental de la ZMVM coordinada por el Colegio Nacional con fondos del Reino Unido.

Entre las acciones previstas por el PROAIRE 2002-2010 estaba el establecimiento de un transporte escolar obligatorio. En febrero de 2009 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal se publicó el documento que establece las medidas para controlar y reducir la contaminación atmosférica y el congestionamiento vial producido directa o indirectamente por el funcionamiento de establecimientos escolares y empresas del Distrito Federal, así como el Decreto para transporte escolar en el Distrito Federal. El programa contemplado se realizará en etapas y se completará para el 2014 cuando todas las escuelas con más de 490 estudiantes estén integradas. La SMA-GDF estimó que para el ciclo escolar 2009-2010 en el que están incorporadas 24 escuelas con más de 19 000 alumnos, se tendrá una reducción de contaminantes de más de 13 000 ton/ciclo escolar.

Por otra parte, en noviembre de 2008, se publicó el Programa de Certificación de Edificaciones Sustentables, cuyo objetivos son la implementación y certificación que promuevan, a través de incentivos económicos e instrumentos de regulación voluntaria, la reducción de emisiones contaminantes y el uso eficiente de energía en las edificaciones ya existentes y por construirse.

Se encuentra en marcha un plan para la optimización de horarios y otorgamiento de incentivos para habitar en sitios cercanos a las oficinas de gobierno del Distrito Federal con el fin de disminuir el uso de transporte.

4.5 ESTRATEGIA PARA LA PREVENCIÓN DE LA EXPOSICIÓN DE LA POBLACIÓN A NIVELES DE CONTAMINACIÓN RIESGOSOS MEDIANTE LA EVALUACIÓN Y COMUNICACIÓN DE RIESGOS

La implementación de varias de las acciones para la prevención de la exposición de la población a la contaminación atmosférica y de protección a la salud ha promovido y/o coadyuvado a la reducción de algunas emisiones contaminantes.

La modernización y actualización del programa de contingencia ambiental atmosférica (Medida 1), permitió contar con mejor calidad de aire en la zona metropolitana, ya que la activación con la presencia de valores más pequeños de contaminación, se traduce en la reducción inmediata de emisiones de autos de mayor edad y de empresas contaminantes, entre otras acciones. Actualmente la reducción de los índices de contaminación para declarar la contingencia, son insuficientes, por lo que las reducciones en los valores de activación de contingencia en: ozono, partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$, deberán continuar actualizándose. Con la información obtenida del análisis de las bases de datos de contaminantes ambientales y de la información epidemiológica, la Secretaría de Salud a través de la COFEPRIS ha presentado una propuesta de cambio en el Plan de Contingencias Ambientales de la ZMVM, la cual, si es aprobada redundará en una mayor reducción de las emisiones contaminantes.

En el marco del Comité de Normalización de la Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios de la Secretaría de Salubridad (COFEPRIS-SSA), se participó en la revisión y actualización de las normas oficiales mexicanas de calidad del aire (ozono, partículas y bióxido de azufre) para la protección a la salud de la población (Medida 6). La participación del sector salud fue importante en la reforma de la NOM-025-SSA1-1993 donde se propuso la concentración normada para las $PM_{2.5}$ y se modificaron las normas de PM_{10} y PST, lo cual, al igual que la medida anterior, promueve la disminución de emisiones contaminantes.

La COFEPRIS desarrolló el análisis de información del Sistema Único de Información para la Vigilancia Epidemiológica (SUIVE) en el que se obtuvieron valores resumen por semana epidemiológica a partir de las fechas establecidas en los calendarios epidemiológicos, indicando los promedios y valores máximos por zona y estación de monitoreo. Se cuenta con una base de datos con los cálculos diarios de todos los indicadores de 6 contaminantes criterio y 2 parámetros meteorológicos de todas las estaciones de monitoreo (Medida 5). Así mismo, la COFEPRIS reporta que tomando en consideración los datos epidemiológicos de enfermedades respiratorias por contaminación atmosférica de la población que reside en la ZMVM, reportados por las unidades médicas, Centros de Salud y Clínicas de 2º y 3er nivel de atención durante el período 1999-2008, se pudo realizar la estimación del costo de atención médica para algunos de los indicadores en salud (Medida 4); cabe mencionar que en esta evaluación no se tuvo acceso a dichos datos. Los resultados obtenidos en esta medida tendrán una gran importancia para los programas futuros de calidad del aire que se propongan, ya que el contar con el costo en salud producido por la contaminación ambiental, promoverá que se realicen análisis costo-beneficio como en otros países, donde la conclusión ha sido, que por muy costoso que parezca, resulta más económico prevenir y tomar medidas para la reducción de contaminantes que sufragar los gastos de salud de una población enferma, esto significa que se podrían acelerar acciones que, sin contar con este tipo de evidencias se llevarían a cabo en forma más lenta.

En cuanto a la aplicación de las medidas 2 y 3 relacionadas con educación, percepción y comunicación de riesgos, cuya finalidad es reducir la exposición de la población a la contaminación del aire, se ha tenido como resultado el fortalecimiento de los programas de monitoreo. Su difusión es cada vez más accesible a la población ya sea vía internet (sma.df.gob.mx) o telefónica. Estas acciones de difusión promovieron la concientización de la población y han modificado su actitud tanto para evitar zonas de alta contaminación, como para participar en forma más activa en la reducción de las emisiones.

Finalmente, aunque se realizaron algunos estudios relacionados con las medidas 7 y 8 persiste la necesidad de contar con un mayor conocimiento de los niveles de especies tóxicas presentes en la ZMVM y sus efectos en la salud, para instrumentar acciones que tiendan a reducir el riesgo y tiempos de exposición de la población a dichas especies.

4.6 ESTRATEGIA PARA EL REFORZAMIENTO DEL MARCO NORMATIVO Y SU CUMPLIMIENTO

El reforzamiento del Marco Normativo durante la aplicación del PROAIRE 2002-2010 fue una de las estrategias fundamentales para que los diferentes sectores modificaran sus actitudes, y cumplieran sus obligaciones. En ese sentido, la elaboración de los diagnósticos de establecimientos industriales, comerciales y de servicios en las dos entidades de la ZMVM, de los reglamentos de la Ley Ambiental para fuentes fijas y móviles en el Distrito Federal, de los inventarios de emisiones de contaminantes criterio, tóxicos y COV y del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes, fue esencial para que las autoridades ambientales comprendieran con mayor precisión la forma en que se comportan los

contaminantes atmosféricos y pudieran elaborar y actualizar los instrumentos normativos requeridos para el cumplimiento de las leyes ambientales federales y locales que conduzcan a una mejor calidad del aire.

De este modo, en los últimos 8 años, se actualizaron diferentes leyes y normas que promovieron un mejor comportamiento ambiental de los diferentes sectores de la sociedad.

A nivel Federal, en junio de 2004 se publicó el decreto por el que se expide el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes y se adiciona y reforma la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica.

En agosto de 2003, se publicó el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Ordenamiento Ecológico de competencia Federal. En diciembre de 2004 se reformó un artículo de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Áreas Naturales Protegidas. En febrero de 2005 se publica el Reglamento de la Ley Federal de Desarrollo Forestal Sustentable.

Por su parte, la Secretaría de Salud apoyada por otras dependencias actualizó las normas de calidad del aire para ozono y partículas, además de publicar por primera vez la norma para $PM_{2.5}$. Aunque quedaron pendientes, la publicación de los quiebres del IMECA para este contaminante, así como la publicación de los métodos de referencia y equivalentes para PM_{10} y $PM_{2.5}$.

En la ZMVM se actualizó el programa de contingencias, modificando los valores de ozono y partículas con los cuales se activa la precontingencia y contingencia ambientales. En relación con las fuentes móviles, se publicaron las normas que establecen límites más estrictos para vehículos nuevos a gasolina y a diesel: normas NOM-042-SEMARNAT-2003 y NOM-044-SEMARNAT-2006 respectivamente. Se actualizaron las normas para vehículos a gasolina y a diesel en circulación: NOM-041-SEMARNAT-2006 y NOM-044-SEMARNAT-2006 respectivamente. Así mismo, se fortalecieron los programas de vigilancia industrial y vehicular y los de preservación de los recursos naturales. En el Distrito Federal, en diciembre del 2003, se publicó en la *Gaceta Oficial* el Programa General de Desarrollo Urbano del Distrito Federal.

4.7 ESTRATEGIA PARA EL FORTALECIMIENTO DE LA EDUCACIÓN AMBIENTAL, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

Las acciones conjuntas de las instancias que integran la CAM permitieron el diseño y publicación del Programa Rector Metropolitano Integral de Educación Ambiental (PREMIA), documento publicado en noviembre del 2000 que contiene los lineamientos para fortalecer la formación de una cultura ambiental en la ZMVM. Aunque en el marco de este Programa se celebraron algunos eventos que permitieron la construcción de consensos para la integración de una Agenda Metropolitana y la identificación de las estrategias para facilitar la instrumentación de acciones de educación ambiental, no hubo un seguimiento de este Programa y las acciones posteriores se dispersaron sin tener objetivos precisos.

Dentro de los programas de educación formal se tiene la integración de las principales instituciones de educación superior que ofrecen programas de licenciatura, especialización y posgrado relacionados con temas ambientales, sin embargo persiste la duplicación de esfuerzos y la falta de enseñanza en algunos temas.

Dentro de los esfuerzos realizados por la SMA-GDF, se han fortalecido los tres Centros de Educación Ambiental (CEA) Acuexcomatl, Ecoguardas y Yautlica y se han sistematizado las actividades y materiales

de educación ambiental con la elaboración de cartas descriptivas y fichas técnicas. Se han impartido más de 300 cursos y numerosas acciones de educación, cultura y vinculación con la población del Distrito Federal.

De particular importancia es el hecho de que los Centros de Educación Ambiental (CEA) han elaborado actividades educativas para cada grado escolar de la educación básica (Pre-escolar a Secundaria), los cuales podrían ser incluidos en el currículo escolar en el corto plazo.

Mensualmente, se difunde y distribuye el Informe Ejecutivo de la Calidad del Aire de la ZMVM, vía correo electrónico, a 64 tomadores de decisiones en diferentes instituciones (INE, SEEDOMEX, IIE, ANIQ, FEMISCA, CONIECO, SSA, CAM, SEMARNAT, IMP, UNAM, ININ, PROFEPA y SMA, entre otros), además de que está disponible para consulta de quién esté interesado.

Durante el periodo de 2008-2009, se ha logrado divulgar diversos temas ambientales en más de 80 espacios (radio, televisión, prensa, y cine) y se han realizado 42 diseños gráficos que complementan nuestra actividad educativa.

La gran cantidad de información generada por los diversos proyectos científicos apoyados por el FIDAM con más de 350 millones de pasos, además de los proyectos realizados por el INE y diversas instituciones educativas y de investigación proporciona una mayor certidumbre a los tomadores de decisiones sobre los pasos a seguir para continuar estableciendo medidas que conlleven a una mayor disminución de la contaminación atmosférica. Será indispensable continuar con esta estrategia para que investigadores de diversas instituciones continúen realizando investigaciones que conduzcan a un mayor entendimiento de la contaminación en la ZMVM, así como para que se evalúen los impactos que el PROAIRE 2002-2010 ha tenido en el abatimiento de la contaminación atmosférica.

4.8 COBENEFICIOS MEDIANTE LA REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES URBANOS Y DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Las acciones realizadas para disminuir las emisiones contaminantes a la atmósfera han contribuido en algunos casos a la reducción de gases de efecto invernadero, principalmente de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2). Esta reducción es evidente tanto en los casos donde se logró una mejor eficiencia energética (lo que significa una disminución en el consumo de combustible), como en los casos en que se utilizaron combustibles alternativos. Sin embargo, es importante señalar que todas aquellas acciones que contribuyeron a la disminución de CO por una mejora en la tecnología dirigida a la combustión completa, han tenido como consecuencia un aumento en las emisiones de CO_2 .

En este sentido, la puesta en marcha del “Plan Verde” en el Distrito Federal” motivó en mayor medida la realización de algunas de las acciones contempladas en el PROAIRE, e impulsó el desarrollo de otras como fue el caso del Hoy no circula sabatino y el “Programa de Vivienda Sustentable del Distrito Federal” que estimula el ahorro de energía y con el cual la SMA-GDF ha estimado una reducción de más de 26 000 ton/año de CO_2 .

El Cuadro 4.9 muestra las disminuciones o incrementos de CH_4 , N_2O y CO_2 debidos a las medidas realizadas en el sector de transporte y vialidad, donde se observa que a pesar de que algunas medidas contribuyeron a una mayor emisión de los mismos, el balance total tiene como resultado la reducción de los GEI en alrededor de 560 000 ton/año.

Cuadro 4.9. Reducciones en gases de efecto invernadero (GEI) debidas a medidas en Transporte y Vialidad.

(El signo (-) significa aumento en las emisiones)

Clave	Medidas Vehículos y Transportes	GEI (ton/año)		
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O
G8-1-PT1	Establecimiento y aplicación de límites de emisión más estrictos para vehículos nuevos a gasolina	-21 330		
G7-1-PT2	Reducción contenido de azufre en gasolina 50 ppm			
G4-1-PT3	Mejoramiento continuo del Programa de Verificación Vehicular Obligatorio	-132 654	228	
G4-2-PT4	Modernización y actualización del programa hoy no circula	297 103	5 752	
G4-3-PT5	Rediseño del programa integral de reducción de emisiones contaminantes. PIREC	-150 484	494	
G4-3-PT6	Adaptación de sistemas de control de emisiones a vehículos no equipados desde fábrica (retrofit)			
G4-5-PT7	Programa de detección y retiro de vehículos ostensiblemente contaminantes	-177 708	440	
G6-1-PT8	Renovación de la flota vehicular de transporte de pasajeros de baja capacidad (taxis)	-70 540	555	-3
G6-2-PT9	Sustitución del transporte pasajeros de mediana capacidad por vehículos nuevos de alta capacidad	-244 287	60	-13
G8-3-PT12	Establecimiento y aplicación de límites de emisión más estrictos para vehículos nuevos a diesel			
G7-2-PT13	Reducción del contenido de azufre en el diesel			
G4-9-PT16	Revisión y reforzamiento del programa de autorregulación de vehículos a diesel	-4 281	39	
G6-4-PT19	Introducción de vehículos eléctricos	2 131		
G3-1-PT20	Establecimiento de corredores de transporte	-22 832	128	-1
G6-5-PT21	Eliminación de vehículos contaminantes de mayor edad de uso privado			
G6-6-PT22	Renovación de autobuses (RTP) y del servicio de transportes eléctricos (STE)	18 876	17	4
G6-12-PT23	Renovación de la flota de transporte de carga local	-3 887	312	-1
G6-15-PT25	Expansión del metro			
G6-16-PT26	Establecimiento de una red de trenes suburbanos	35 843	33	
G6-17-PT27	Ampliación de la red de trolebuses y tren ligero			
G6-7-PT28	Localización de taxis en bases			
G6-9-PT30	Fomento del uso de combustibles alternativos en el sistema de transporte público de pasajeros	206 590	-200	237
G3-4-PT36	Fomento a la gestión y coordinación para la construcción de anillos y libramientos en la ZMVM	812 072		
G3-5-PT37	Fomentar la coordinación para mejorar la infraestructura vial metropolitana	6 945	490	0
	Reducciones totales	551 556	8 348	223

En el sector industrial, la medida relacionada con la Renovación Energética de la Industria (Medida 1) aportó una reducción de GEI estimada en más de 73 000 ton/año de CO₂ y la SMA-GDF reporta que la medida del sector servicios relacionada con la “Promoción de energía solar en sustitución de combustibles fósiles” (medida 8) proporciona una reducción de CO₂ de 355 000 ton/año.

5

EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS EN LA CALIDAD DEL AIRE Y LA SALUD DEL PROAIRE 2002-2010

5.1 EVALUACION DE LOS EFECTOS EN LA CALIDAD DEL AIRE

El objetivo prioritario del PROAIRE 2002-2010 fue la mejora de la calidad del aire en la ZMVM como resultado de la disminución de las concentraciones atmosféricas de los contaminantes criterio, en particular del ozono y PM_{10} . En este sentido, es necesario reconocer que la calidad del aire ha mejorado en los últimos años y que la tendencia decreciente de los contaminantes, que inició desde la aplicación del PICCA (1990) y el PROAIRE I (1995-2000) se ha mantenido hasta el 2009, lo cual muestra que las medidas instrumentadas en el PROAIRE 2002-2010 han tenido efectos importantes.

Como se mencionó en el capítulo de Metodología, la evaluación de los efectos que ha tenido el PROAIRE 2002-2010 en la calidad del aire, se realiza con base a los indicadores que ha definido el Sistema de Monitoreo Atmosférico y que año con año son publicados, especificando las pruebas estadísticas de acuerdo a los lineamientos de la OCDE.

Por ello se analizan las tendencias de las concentraciones para todos los contaminantes, presentando en la misma gráfica de tendencia los máximos, mínimos y percentiles 90-10 que ha reportado el SIMAT, así como los cambios anuales que han experimentado.

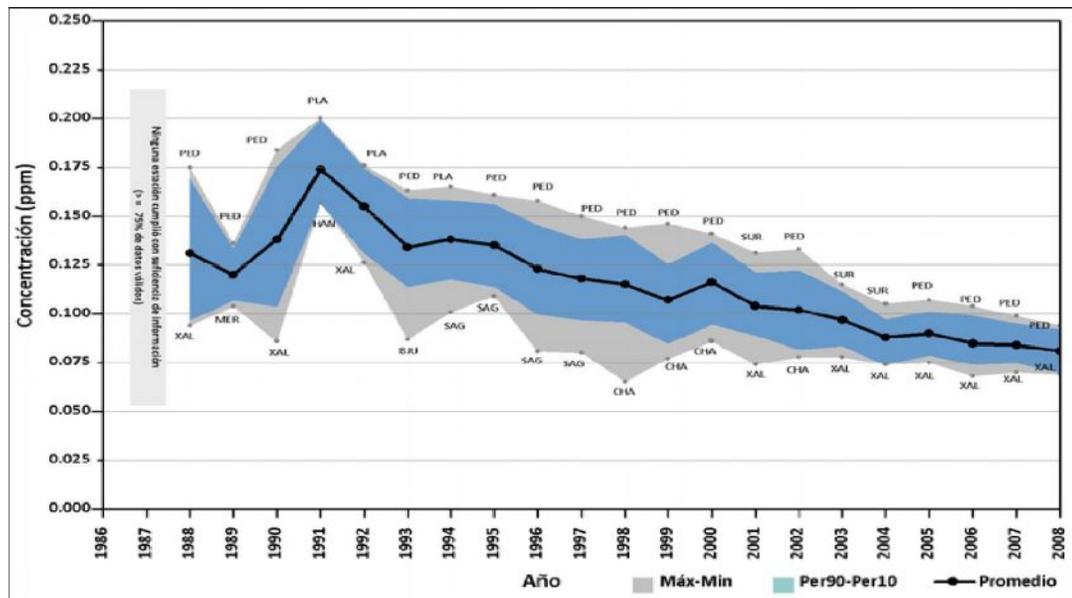
Para el ozono se analizan otros indicadores como son: la concentración máxima anual y el valor máximo de los promedios móviles de 8 horas.

Para las PM_{10} , NO_2 y SO_2 se analiza además la presencia de eventos extraordinarios registrados por el SIMAT en las diferentes concentraciones de dichos contaminantes.

En el documento del PROAIRE 2002-2010 se sugirió realizar mediciones adicionales para partículas en diferentes épocas climáticas y determinar la dispersión y absorción de la luz por las partículas (visibilidad) y realizar el análisis de iones, carbón orgánico y elemental, así como determinar la distribución de aerosoles por tamaños. No obstante, dichas mediciones no se realizaron de manera sistemática, aunque se han reportado algunos artículos científicos que presentan resultados en muestreos piloto que serán de gran utilidad en programas posteriores.

Ozono (O₃)

La figura 5.1 muestra el indicador de tendencia anual no solo de valores promedio sino de máximos, mínimos y percentiles (90-10) de la concentración de ozono. Se aprecia que en el período 2002-2009 se ha mantenido una tendencia decreciente tanto en promedios como en los registros de valores altos (máximos, percentil 90) como en los valores bajos (percentil 25). La disminución neta es de más del 15%, y una reducción acumulada desde 1989 del 36%.



Fuente: <http://www.sma.df.gob.mx/simat2/informaciontecnica/index.php?opcion=2&opcionmonitoreo=1>.

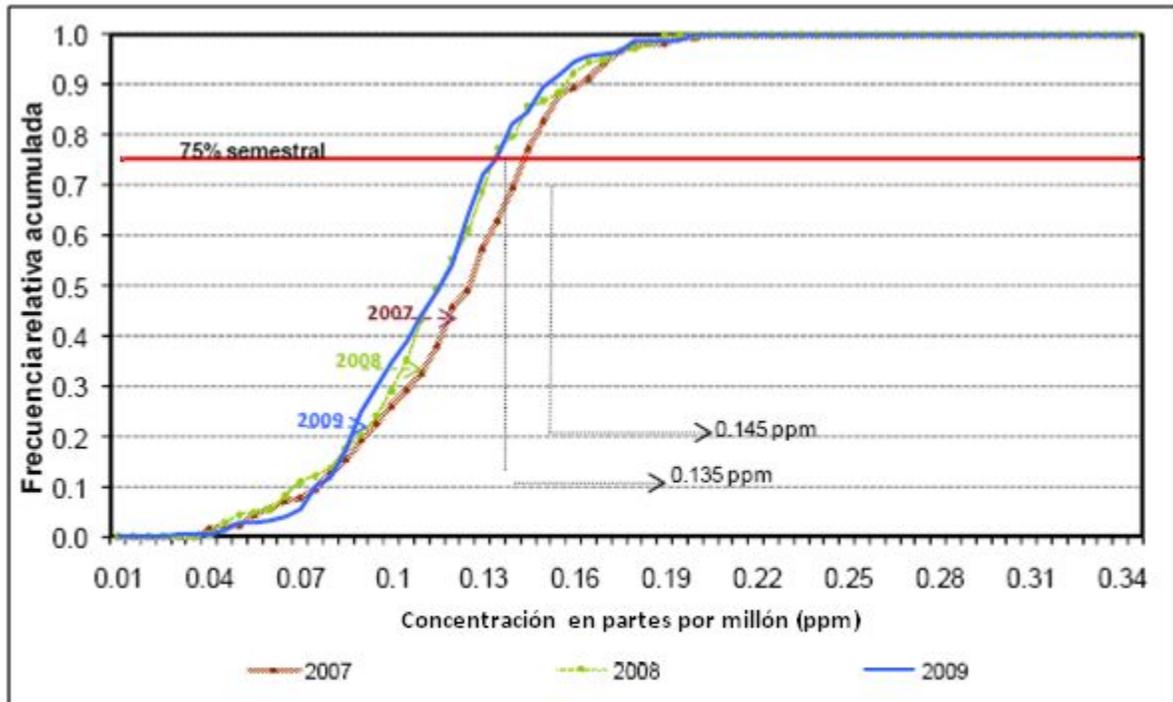
Figura 5.1 Tendencia anual en las concentraciones (promedio y percentiles) de Ozono

Así mismo, para visualizar el comportamiento del indicador de concentraciones máximas de ozono, se presenta en la Figura 5.2 la distribución de frecuencia acumulada del primer trimestre de los últimos tres años de las concentraciones máximas diarias de ozono. En ella se aprecia que en este período del PROAIRE 2002-2010, las concentraciones máximas de O₃ han disminuido en intensidad.

Aunque el ozono sigue siendo el principal problema de contaminación atmosférica en la ZMVN, las tres metas establecidas en el PROAIRE 2002-2010 para este contaminante se alcanzaron, puesto que:

- Se eliminaron las concentraciones de ozono superiores a 200 IMECA (0.233 ppm)
- Se redujo en forma considerable el número de días con concentraciones de ozono entre 101-200 IMECA³ (Figura 5.3) y han aumentado paulatinamente los días con buena calidad del aire.
- Se incrementó no solamente el número de días con concentraciones de ozono dentro del límite establecido por la norma (0.110 ppm, promedio de 1 hora). Se disminuyó de 300 días de excedencia en 2002 a 185 días en 2008, asimismo disminuyó el número de horas con excedencia pasando de 1 297 a 466 horas. Para 2008 el 50% de las concentraciones medidas se encuentran por debajo de 0.118 ppm, muy cercanas al valor límite de la norma de salud.

³ Con la modificación al algoritmo de cálculo del IMECA de O₃ publicada el 29/11/06, NADF-009-AIRE-2006, este intervalo corresponde a 0.111-0.220 ppm.



Información de las estaciones de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico que presentaron suficiencia de información (75%), es decir, que tuvieron anualmente 75% de registros válidos o que registraron concentraciones máximas que exceden los límites permisibles especificados en las Normas Oficiales Mexicanas Fuente: Secretaría del Medio Ambiente, Dirección General de Gestión de Calidad del Aire. SIMAT, 2009.

Figura 5.2. Distribución de frecuencia de las concentraciones promedio diarias de O₃ en ppm del primer semestre de los años 2007-2009

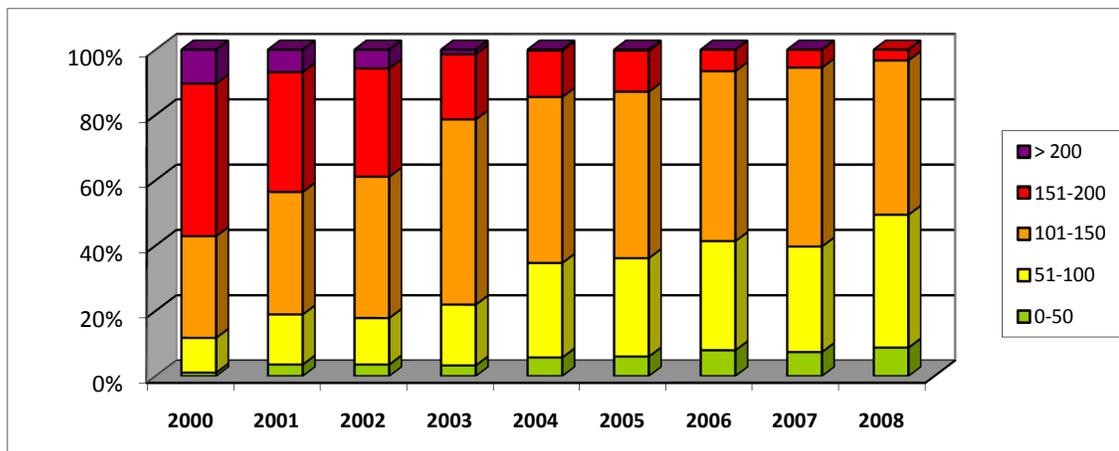


Figura 5.3 Frecuencia de días conforme a la calidad del aire por O₃ en la ZMVM (IMECAS)

En octubre de 2002 se modificó la NOM-020-SSA1-1993 de ozono, en donde se establece un nuevo indicador, el máximo promedio de 8 h anual. La Figura 5.4 muestra las tendencias tanto en el cumplimiento de la norma de 1 h como la del promedio móvil de 8 h. Como se mencionó anteriormente, el número de días con cumplimiento de la norma ha aumentado, sin embargo, no se ha logrado dar cumplimiento a la norma que establece el límite permisible de 0.08 ppm para el quinto máximo (concentración promedio móvil), aunque el número de días sobre norma ha ido aumentando paulatinamente. El valor estimado de la magnitud del cambio anual del decremento de O₃ lo ha realizado el SIMAT a través del indicador "percentil 90". La tasa de cambio para el indicador de O₃ máximo anual fue de 0.0031-0.0094 ppm/año para el período 1990-2007.

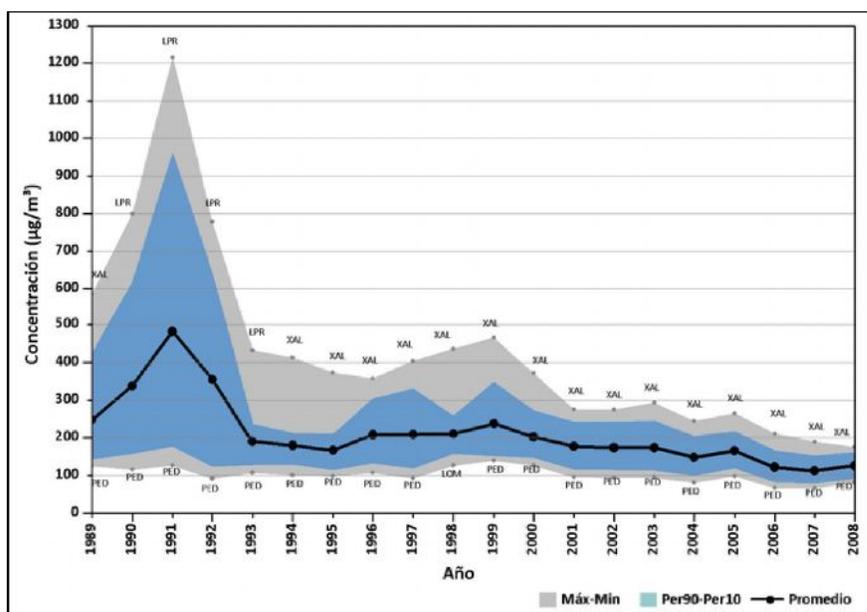


Fuente. Segundo Informe Secretaría de Medio Ambiente D.F. 2008.

Figura 5.4 Evolución de las concentraciones de O₃ en la ZMVM (1990-2008)

Partículas Suspendidas Totales (PST).

En la figura 5.5 se observa que la tendencia en las concentraciones atmosféricas de las partículas y su variabilidad en todos sus indicadores se han mantenido a la baja con una reducción neta de alrededor del 15% en el período, aunque las reducciones reportadas entre 2002-2010 no son tan altas como las de la década anterior. No obstante que no se establecieron metas específicas para este contaminante. La norma de salud NOM -025-SSA1 se modificó para disminuir el nivel de PST de 260 a 210 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (promedio de 24 horas). La tasa de cambio para las PST (utilizando el indicador percentil 90) fue de 2.6 a 21.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{año}$ para el período 1990-2007.



Fuente: <http://www.sma.df.gob.mx/simat2/informaciontecnica/index.php?opcion=2&opcionmonitoreo=5>.

Figura 5.5 Tendencia anual en las concentraciones (promedio y percentiles 90 y 10) de PST

Partículas Menores a 10 micrómetros (PM₁₀).

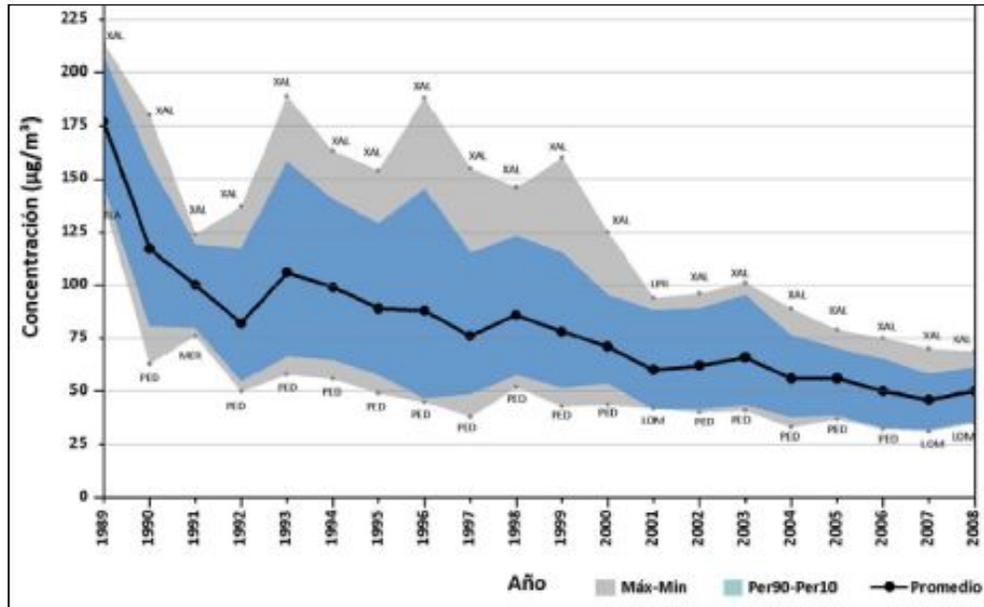
Los objetivos del PROAIRE 2002-2010 establecen aumentar el número de días en que las concentraciones de PM₁₀ estuviesen dentro de la norma y reducir el promedio anual de las concentraciones de PM₁₀. Cuando se publicó el programa, la normatividad contemplaba que la concentración de PM₁₀ no debía exceder 150 µg/m³ en periodos de 24 horas y que la concentración promedio anual no debía rebasar los 50 µg/m³. En el año 2006 se modificó la norma de 24 horas a 120 µg/m³. El objetivo del PROAIRE 2002-2010 se ha cumplido y sigue habiendo una tendencia decreciente en todos los indicadores de este contaminante como se observa en la Figura 6.6. La tasa de cambio para PM₁₀ (utilizando el indicador percentil 90) fue de 1.9 a 8.8 µg/m³/año con método de referencia (manual) y de 1.1-2.7 µg/m³/año con método equivalente (automático) para el período 1990-2007.

A la fecha, la meta de no rebasar el promedio anual de 50 µg/m³ se cumple en las estaciones del Distrito Federal, con excepción de la estación Merced, pero en las estaciones del Estado de México los niveles están por encima. Por otra parte, ha disminuido el número de eventos extraordinarios registrados por PM₁₀ tanto en el Distrito Federal como en el Estado de México.

La meta de incrementar el número de días con cumplimiento de la norma con el nuevo límite establecido se ha venido alcanzando, ya que en 2002 la norma se excedía el 25% de los días y en 2008 se disminuyó al 4%. Este contaminante reporta una reducción acumulada desde 1989 mayor al 70%. Sin embargo, aunque ha habido una disminución paulatina, todavía se reportan eventos extraordinarios de alta concentración de PM₁₀ (Cuadro 5.1).

Cuadro 5.1. Eventos con incrementos extraordinarios registrados de PM₁₀

Año	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Distrito Federal	1	25	27	72	22	19	48	2	22
Estado de México	12	120	56	108	39	50	58	14	44

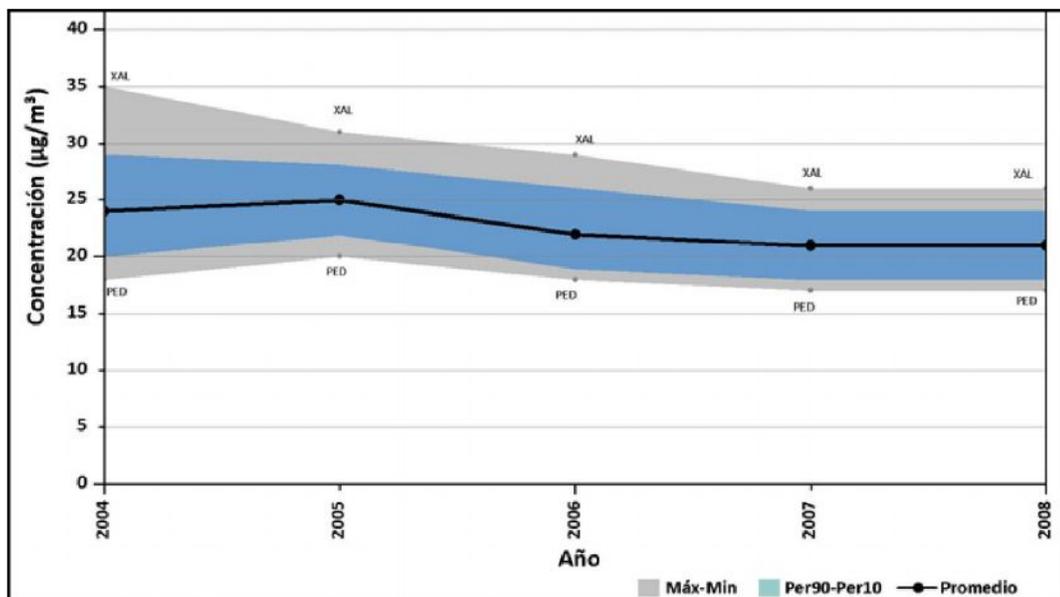


Fuente: <http://www.sma.df.gob.mx/simat2/informaciontecnica/index.php?opcion=2&opcionmonitoreo=5>.

Figura 5.6 Tendencia anual en las concentraciones (promedio y percentiles 90 y 10) de PM₁₀

Partículas Menores a 2.5 micrómetros (PM_{2.5}).

Tal como se preveía en el documento original del PROAIRE 2002-2010, se implementó la norma para PM_{2.5} en 65 µg/m³ promedio de 24 horas y de 15 µg/m³ promedio anual. Este contaminante se mide desde el 2004 y se tuvieron series completas de datos en 9 estaciones a partir del año 2005. Este contaminante ha tenido una reducción gradual en todos sus indicadores y para fines del 2009, la norma de 24 horas se cumple todos los días del año, sin embargo, no se ha logrado el objetivo de alcanzar los 15 µg/m³ de promedio anual (Figura 5.7).



Fuente: <http://www.sma.df.gob.mx/simat2/informaciontecnica/index.php?opcion=2&opcionmonitoreo=5>.

Figura 5.7 Tendencia anual en las concentraciones (promedio y percentiles 90 y 10) de PM_{2.5}

Otro indicador que debiera evaluarse en el caso de las partículas, principalmente $PM_{2.5}$, es el relacionado con la visibilidad, sin embargo aun no se tiene la infraestructura para realizar el seguimiento de este parámetro. Actualmente solo se cuenta con una cámara que proporciona a diferentes horas del día una imagen que puede relacionarse con la visibilidad en la ZMVM.

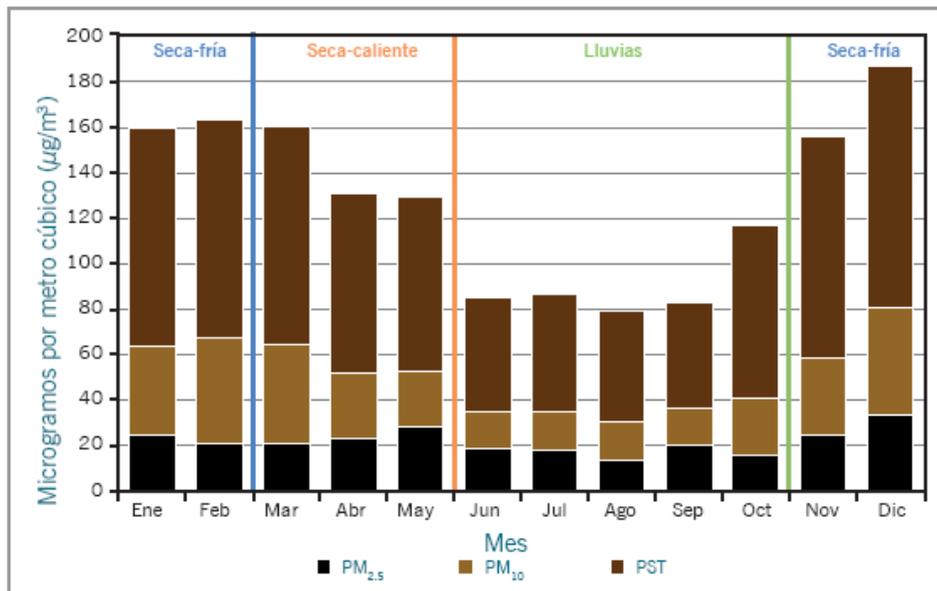
Plomo en partículas suspendidas totales.

Desde el diseño del PROAIRE 2002-2010, este contaminante está bajo control debido principalmente a que se sustituyeron las gasolinas con contenido de tetraetilo de plomo. Sin embargo, se continua realizando su monitoreo.

Los valores no rebasaron ningún día la norma de $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en promedio trimestral y sigue siendo la estación Xalostoc, ubicada en una zona industrial la que reporta los mayores valores (hasta $0.112 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Los niveles de plomo presentan una disminución acumulada del 95% desde 1989. La tasa de decremento para el plomo en PST (utilizando el indicador percentil 90) fue de 0.009 a $0.104 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{año}$ y de 0.0051 - $0.0925 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{año}$ para PM_{10} en el período 1990-2007.

Variación climática de las partículas atmosféricas

Es importante puntualizar que usualmente las concentraciones de CO, NOx y principalmente las partículas, presentan un patrón muy definido dependiendo de la época climática, donde las mayores concentraciones se tienen en la época seca-fría, mientras que en el caso de los COVs y el SO₂ las mayores concentraciones se registran en la época seca-caliente, por lo que las acciones en el futuro deberán reforzarse en la época de secas que es cuando se presentan las concentraciones más elevadas de partículas (Figura 5.8)

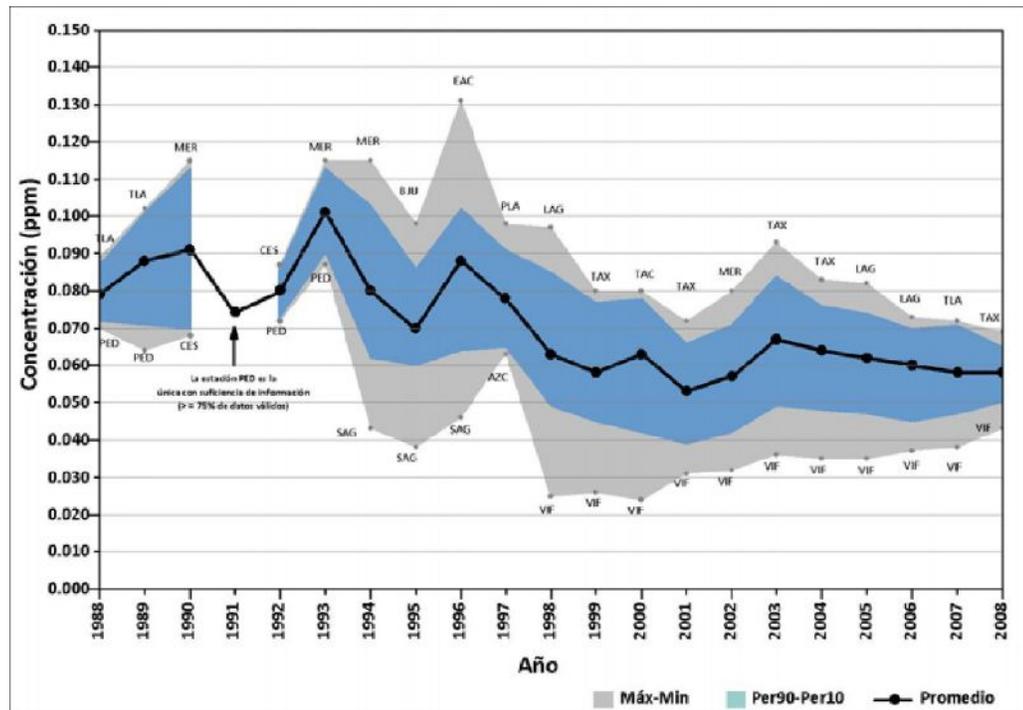


Fuente. Informe de la Calidad del aire 2008.SMA-GDF, SIMAT, 2009

Figura 5.8 Variación estacional de la concentración de partículas en 2008 (PST, PM₁₀ y PM_{2.5})

Dióxido de Nitrógeno (NO₂).

La Figura 5.9 muestra la tendencia descendente que han presentado los indicadores de este contaminante. A pesar de la alta reactividad fotoquímica que se lleva a cabo en la atmósfera de la ZMVM, la concentración promedio horaria de la norma de 0.21 µg/m³ no se rebasa ningún día. La meta del PROAIRE 2002-2010 asociada a la disminución de días en que se rebasan los niveles de ozono se alcanzó al disminuir las concentraciones de sus precursores NO_x y NO₂. El NO₂ presenta una reducción acumulada desde 1989 del 30%.



Fuente: <http://www.sma.df.gob.mx/simat2/informaciontecnica/index.php?opcion=2&opcionmonitoreo=2>

Figura 5.9 Tendencia anual en las concentraciones (promedio y percentiles 90 y 10) de NO₂

A partir del año 2003 se comenzó a reportar la frecuencia de eventos extraordinarios de NO₂ en el Distrito Federal y el Estado de México. Como se observa en el Cuadro 5.2 el número de estos eventos que se observaban principalmente en el Distrito Federal, han disminuido y en el 2007 y 2008 no se reportó ninguno.

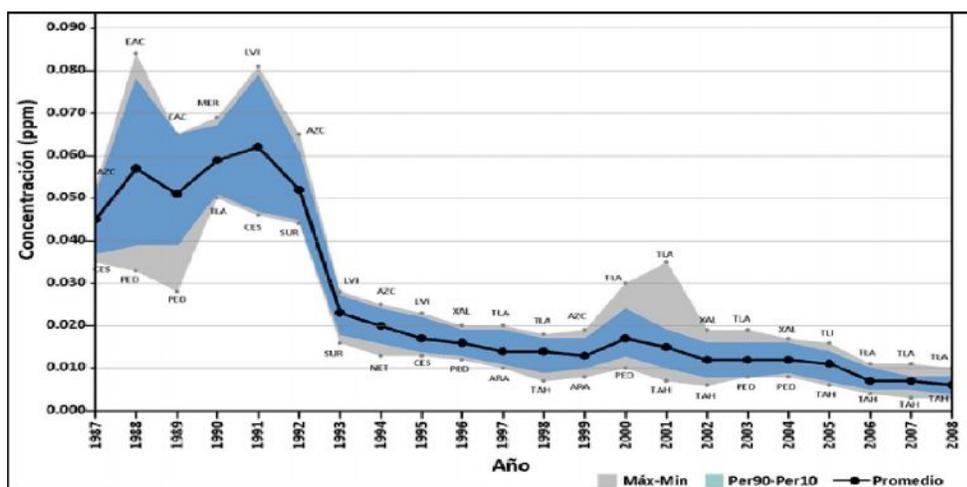
Cuadro 5.2. Eventos con incrementos extraordinarios registrados de NO₂

Año	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Distrito Federal	7	3	3	0	0	0
Estado de México	1	1	1	2	0	0

Dióxido de azufre (SO₂).

Las metas del PROAIRE 2002-2010 de reducir las concentraciones promedio diario de bióxido de azufre y reducir la concentración promedio anual (0.03 ppm promedio anual) se alcanzaron desde el año 2003, ya que a partir del mismo no se ha presentado ninguna excedencia en las normas, en parte por la mejora en los combustibles utilizados en la ZMVM de tal manera que la reducción acumulada desde 1989 es mayor al 70% (Figura 5.10).

La tasa de cambio con tendencia decreciente de SO₂ solamente se presentó en 16 estaciones, alcanzando valores de 0.0005-0.002 ppm/año utilizando el indicador de percentil 90 (período 1990-2007). Las estaciones restantes no presentan ninguna tendencia.



Fuente: <http://www.sma.df.gob.mx/simat2/informaciontecnica/index.php?opcion=2&opcionmonitoreo=4>

Figura 5.10 Tendencia anual en las concentraciones (promedio y percentiles 90 y 10) de SO₂

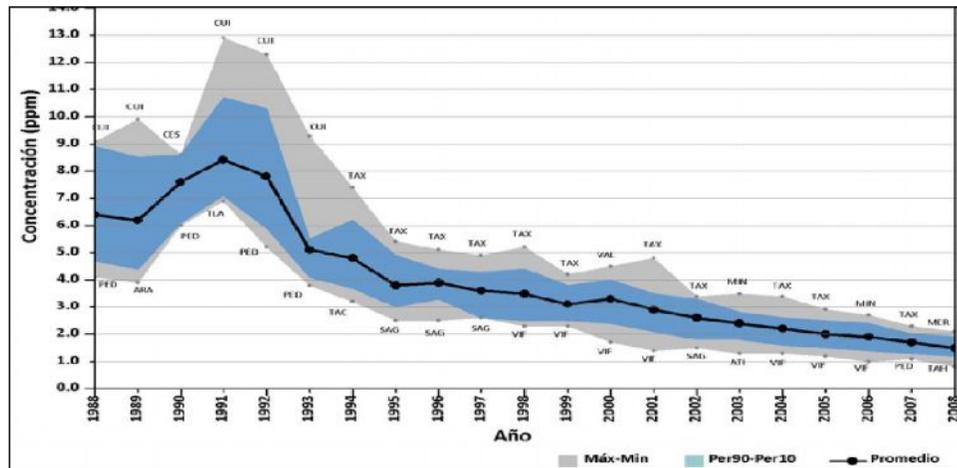
Sin embargo, aunque se han disminuido, no se ha podido eliminar aún la presencia, en forma esporádica, de picos horarios con concentraciones mayores a 0.2 ppm en las zonas industriales, principalmente del Estado de México (Cuadro 5.3).

Cuadro 56.3. Eventos con incrementos extraordinarios registrados de SO₂

Año	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Distrito Federal	0	8	6	7	7	10	3	1	0
Estado de México	12	85	27	15	34	57	16	15	11

Monóxido de carbono (CO).

La tendencia decreciente en todos los indicadores de este contaminante se observan en la Figura 6.11 sin que se rebase la norma (11 ppm, promedio 8 horas) desde 2002 a la fecha, alcanzándose una reducción neta en el período de alrededor del 40% y una reducción acumulada desde 1989 superior al 70%. La tasa de cambio decreciente entre 1990-2007 ha sido de 0.132-140 ppm/año (percentil 90).



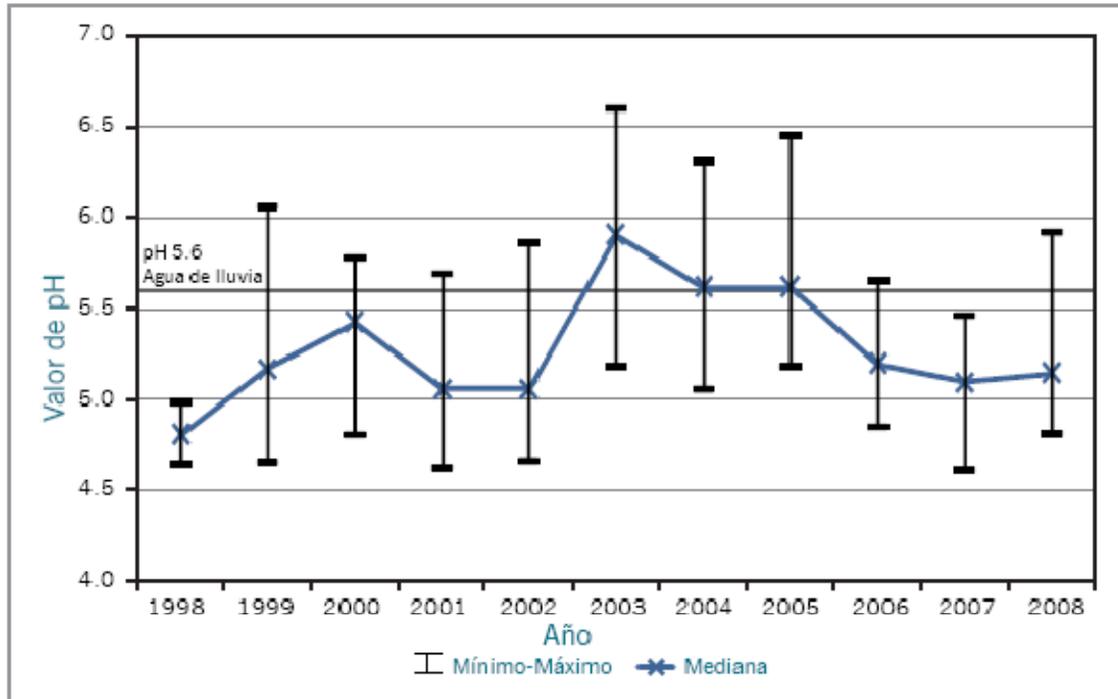
Fuente: <http://www.sma.df.gob.mx/simat2/informaciontecnica/index.php?opcion=2&opcionmonitoreo=3>

Figura 5.11 Tendencia anual en las concentraciones (promedio y percentiles 90 y 10) de CO

Lluvia ácida

El PROAIRE 2002-2010, no estableció metas ni objetivos relacionados con la presencia de lluvia ácida, la cual se forma en el aire por la presencia de humedad, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno. Sin embargo, desde 2003, la región que es impactada por la lluvia ácida se ha incrementado gradualmente, ya que sólo 4 de 16 estaciones reportaron un promedio ponderado de pH menor a 5.6. En 2004 y 2005 se duplicó el número de estaciones y para los años 2006 y 2007 todas las estaciones reportaron la presencia de lluvia ácida. En 2008 solo la estación de Xalostoc (XAL) registró un valor promedio de pH mayor a 5.6.

Aunque la lluvia ácida no tiene un impacto directo en la salud de los habitantes, sí lo produce en los materiales y el medio ambiente, principalmente en los cuerpos de agua y el suelo, el cual puede disminuir su fertilidad y afectar gravemente las zonas forestales, agrícolas y de conservación con un impacto generalizado a los hábitats de dichas zonas. La Figura 6.12 muestra la tendencia de la acidez de la lluvia en los últimos años, donde se observa un aumento de acidez a partir del año 2003. En 2006 se alcanzan los valores anteriores a 2002, debido a la presencia de sulfatos y nitratos formados en la atmósfera a partir del dióxido de azufre y del dióxido de nitrógeno.



Fuente: <http://www.sma.df.gob.mx/simat2/informaciontecnica/index.php?opcion=2&opcionmonitoreo>

Figura 5.12 Tendencia anual del pH de lluvia en la ZMVM (valores menores a 5.6 indican presencia de lluvia ácida)

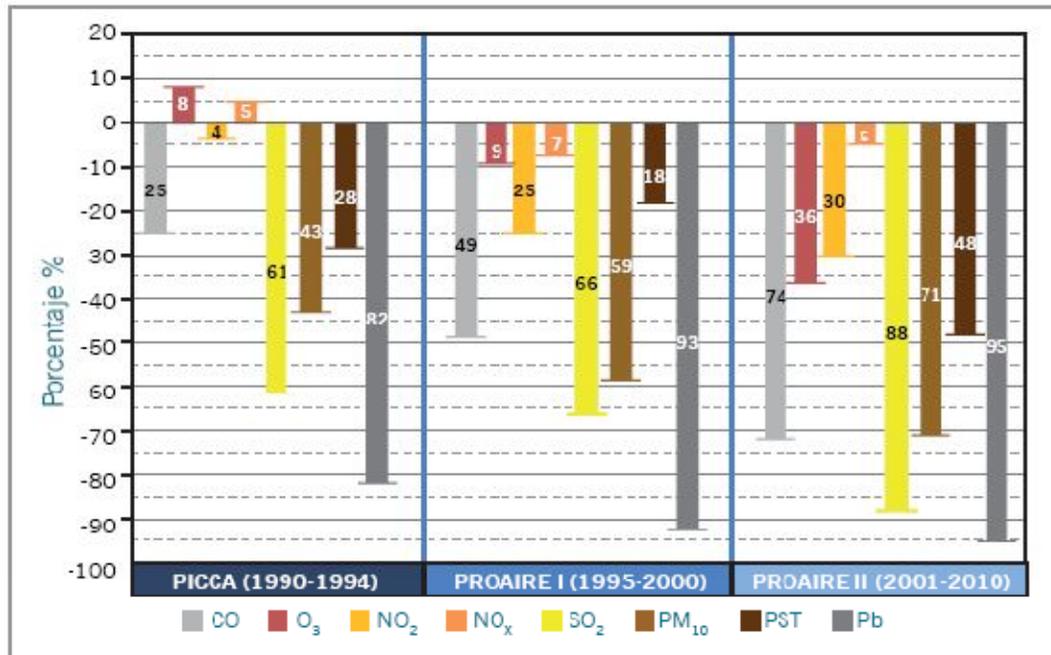
Conclusiones y Recomendaciones

En lo que respecta a la calidad del aire, se alcanzaron la mayoría de las metas previstas en el PROAIRE 2002-2010. En la Figura 5.13 se muestra el porcentaje de reducciones que se alcanzó por cada uno de los programas de calidad del aire.

Los niveles de las concentraciones de CO, y SO₂, han alcanzado niveles relativamente seguros para la población con reducciones netas mayores al 70% que en 1989. Por ello, sería adecuado estudiar la posibilidad de recomendar valores más estrictos en las normas correspondientes y alcanzar una mayor certidumbre en cuanto a la protección de la salud. Respecto a los NO_x, la disminución ha sido del 5% mientras que para el NO₂ se han alcanzado reducciones de 30%. Actualmente no se excede la norma ningún día del año. Habrá que eliminar por completo los picos extraordinarios de NO_x y SO₂ que se registran usualmente por el uso indebido de combustibles inadecuados.

Queda como reto para un siguiente programa el cumplimiento total de las normas para los tres tamaños de partículas, tanto en su promedio diario como anual, por lo que deberán instrumentarse medidas dirigidas a este objetivo. Por otra parte, aunque se ha logrado una reducción neta de hasta el 36% de ozono desde 1989, el que se excedan las normas de ozono (tanto la horaria como la de 8 horas) sigue siendo el mayor reto a resolver dentro del problema de contaminación atmosférica en la ZMVM. Para lograr la reducción en la presencia de este contaminante en la atmósfera será necesario instrumentar medidas más contundentes para el control de la emisión de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno, por lo que el sector transporte, industrial y energético serán los principales objetivos en la instrumentación de medidas.

El repunte en la acidez de la lluvia en la ZMVM preocupa, no solamente por el daño que causa en el suelo agrícola y de conservación, sino porque el incremento en la lluvia ácida produce un aumento en la pérdida del patrimonio histórico de la ZMVM, y representa un costo importante en la degradación de los materiales expuestos a este fenómeno. Por ello, es importante que los programas futuros incluyan medidas para controlar estos eventos.



Fuente. Informe de la calidad del Aire. SMA-GDF. 2009.

Figura 5.13 Impacto de los Programas de Calidad del Aire en la reducción de contaminantes (1990-2008)

5.2 EVALUACION DEL CUMPLIMIENTO DE LAS NORMAS DE SALUD

El cuadro 5.4 muestra el número y porcentaje de días en que se rebasa la norma de cada uno de los contaminantes criterio; es posible observar, como se mencionó en la sección anterior, que se ha alcanzado el cumplimiento de la norma en la mayoría de los contaminantes criterio con excepción de las PM₁₀ que aún exceden la norma el 7% de los días y el ozono que aunque ha tenido una reducción gradual, excede la norma de protección a la salud más del 50% de los días al año.

Cuadro 5.4 Excedencia de las normas de calidad del aire para contaminantes criterio

Contaminante Año	O ₃		PM ₁₀ *		CO		SO ₂		NO ₂		Pb°		PM _{2.5} *	
	días	%	días	%	días	%	días	%	días	%	días	%	días	%
1990	336	93	49	86	212	59.6	11	3.1	32	9.2	4	100		
1991	341	97	27	59	270	78.5	9	2.6	15	4.9	2	50		
1992	332	91	34	60	238	68.6	36	10.8	8	2.5	1	25		
1993	324	89	48	80	112	32.0	0	0	30	8.7	0	0		
1994	344	94	47	78	27	7.4	0	0	27	7.4	0	0		
1995	324	89	42	69	8	2.2	0	0	34	9.3	0	0		
1996	327	89	46	79	8	2.2	1	0.3	84	23.0	0	0		
1997	322	88	39	64	1	0.3	0	0	38	10.4	0	0		
1998	320	88	43	70	6	1.6	0	0	30	8.2	0	0		
1999	300	82	46	75	2	0.5	0	0	18	4.9	0	0		
2000	323	88	28	46	2	0.5	1	0.3	23	6.3	0	0		
2001	296	81	21	34	0	0	8	2.2	1	0.3	0	0		
2002	300	82	15	25	0	0	1	0.3	0	0	0	0		
2003	285	78	22	38	0	0	0	0	6	1.6	0	0	D/I	D/I
2004	239	65	10	16	0	0	0	0	3	0.8	0	0	0	0
2005	233	64	4	7	0	0	0	0	3	0.8	0	0	2	3
2006	214	59	12	20	0	0	0	0	1	0.3	0	0	1	2
2007	220	60	3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	185	51	4	7	0	0	0	0	0	0	N/D	N/D	0	0

*El porcentaje de días que se rebasa la norma de PM₁₀, es con base al total de días muestreados (cada seis días).

° Número y porcentaje de trimestres en que se rebasa la norma de Pb

N/D- No determinados. D/I - Datos Insuficientes

Fuente: Sistema de Monitoreo Atmosférico, SMA-GDF, 2009.

Durante el período del PROAIRE 2002-2010, el programa que activa las medidas restrictivas en los sectores generadores de emisiones para reducir los niveles elevados de contaminación del aire, fue activado por la CAM tres veces en la Fase I, en 2002 por el valor de 242 de ozono, y en 2003 y 2005 por valores de 176 y 181 IMECAS de PM₁₀. Sin embargo, la Fase de Precontingencia se activó 10 veces en el 2002 y 2 veces en 2003 por valores de ozono entre 202 y 232 IMECAS y 2 veces en el 2003 por valores de PM₁₀ de 161 y 164 IMECAS (Cuadro 5.5). La aplicación de las medidas adoptadas en el PROAIRE 2002-2010 dio como resultado la disminución de los niveles de ozono; en 2004 y 2005 no se activó el programa, y se establecieron nuevos valores de activación de contingencia para ozono. En el 2006 hubo

dos eventos de precontingencia por PM_{10} y en el 2007 y 2008 con los nuevos valores aplicados para ozono se ha activado la precontingencia 5 veces por valores de ozono de 172-185 IMECAS. Las zonas con más afectación por ozono son la suroeste y noroeste, mientras que para partículas es la noreste.

Cuadro 5.5 Aplicación de las Fases I y Precontingencia Atmosféricas declaradas por la CAM de 2001 a 2008

FASE ACTIVADA	O ₃				PM ₁₀			
	IMECA	Fecha	Zona	Estación	IMECA	Fecha	Zona	Estación
Fase I Contingencia	242	18 Sep 2002	SO	PED				
Fase I Contingencia					176	25 Dic 2003	NE	XAL
Fase I Contingencia					181	01 Ene 2005	NE	VIF
Precontingencia	219	16 Ene 2002	SO	PED				
Precontingencia	209	15 Feb 2002	SO	PED				
Precontingencia	204	15 Mar 2002	NO	TAC				
Precontingencia	208	02 Abr 2002	SO	PLA				
Precontingencia	207	20 Abr 2002	SO	PLA				
Precontingencia	202	22 Abr 2002	NO	AZC				
Precontingencia	210	22 Abr 2002	SO	PED				
Precontingencia	232	18 Sep 2002	SO	PED				
Precontingencia	202	23 Oct 2002	SO	PED				
Precontingencia	212	21 Dic 2002	NO	EAC				
Precontingencia					161	1 Ene 2003	NE	XAL
Precontingencia	209	3 Abr 2003	NO	AZC				
Precontingencia	204	10 May 2003	SO	SUR				
Precontingencia					164	25 Dic 2003	NE	XAL
Precontingencia					169	1 Ene 2006	NE	VIF
Precontingencia					167	16 Mar 2006	NE	SAG
Precontingencia*	185	14 Abr 2007	SO	PED				
Precontingencia	172	23 Jun 2007	SO	COY				
Precontingencia	184	27 Jul 2007	SO	TPN				
Precontingencia	172	8 Abr 2008	NO	EAC				
Precontingencia	172	10 May 2008	SO	COY				

* A partir de 2006 ozono la activación para de Fase I se modificó de 241 a 201 IMECAS

Fuente. Calidad del aire en la Ciudad de México. Informe 2008.

Aunque en los últimos años los valores de IMECA para la activación de las fases I y II de contingencias ambientales ha disminuido, en julio de 2008, la CAM realizó una nueva modificación al PCAA, estableciendo que, para el caso del ozono, los niveles de activación de cada fase se reduzcan gradualmente cinco puntos IMECA cada año, hasta el 2011, teniendo como meta que para dicho año se active la precontingencia ambiental cuando alguno de los contaminantes (PM_{10} o ozono) rebase los 150 IMECAS.

Como se aprecia en el Cuadro 5.6, las medidas implementadas durante el PROAIRE 2002-2010 se han traducido en la disminución de contingencias ambientales, lo que a su vez ha permitido aplicar valores más estrictos para la activación de las fases de precontingencia y contingencia ambiental.

Cuadro 5.6 Comparación de contingencias ambientales antes y durante el PROAIRE 2002-2010

PERÍODOS	PRECONTINGENCIA		CONTINGENCIA FASE I		CONTINGENCIA FASE II	
	Ozono	PM ₁₀	Ozono	PM ₁₀	Ozono	PM ₁₀
1991-1995 (PICCA)*	761	24	24	NA	6	NA
1996-2000 (PROAIRE I)**	298	13	13	7	0	0
2001	14	0	0	0	0	0
2002-2008 (PROAIRE 2002-2010)***	17	4	1	2	0	0

Fuente. Informe SMA-GDF 2007 y Calidad del aire en la Ciudad de México. Informe 2008

NA No aplica.

* De 1990 a 1997 los datos de precontingencia se obtuvieron del número de días con 201-250 IMECAS de O₃. De 1990 a mayo de 1998 la Fase I de O₃ se aplicaba a partir de 251 IMECAS y la Fase II para O₃ y PM₁₀ con 301 y 251 IMECAS respectivamente

**De mayo 1998 al 18 de agosto de 2006 se aplicaba la Fase I para O₃ y PM₁₀ a partir de 241 y 176 IMECAS

***De agosto 2006 a julio 2008 la Fase I para O₃ y PM₁₀ se aplica a partir de 201 y 176 IMECAS respectivamente

A partir del 1 de julio de 2008 la precontingencia se aplica para O₃ y PM₁₀ a partir de 165 y 160 IMECAS respectivamente, la contingencia Fase I a partir de 195 y 175 IMECAS respectivamente y la Fase II a partir de 245 IMECAS para O₃ y PM₁₀.

Ozono

La intensidad de las concentraciones de ozono durante el período 202-2010 ha disminuido en forma importante. Para el año 2002 se reportaban 300 días en que se excedía la norma para el ozono y en 2008 este valor descendió a 185 días y el ozono muestra un decremento en las concentraciones máximas, asimismo, es importante mencionar que, el número de días de activación de contingencias y precontingencias disminuyó durante el desarrollo del programa, a pesar de que en los últimos años los valores de IMECA de activación de la fase I y II de contingencias ambientales para ozono y PM₁₀ son más estrictos.

Sin embargo, en el 2008 todas las estaciones de monitoreo superaron tanto el indicador de 1 hora como el de 8 horas, siendo los habitantes del poniente y suroeste los más afectados. Así mismo, los mayores riesgos para la población se presentan los meses de marzo a mayo, que es la temporada que históricamente ha presentado los niveles más altos de ozono.

Considerando que 9.5 millones de habitantes (61%) de los 15.7 millones de habitantes que se encuentran dentro de la cobertura de la red de monitoreo, habitan en zonas donde la concentración de ozono excede la norma más de 100 horas al año, se recomienda establecer objetivos más ambiciosos en la disminución de las concentraciones de los precursores del ozono, es decir de hidrocarburos y NO_x, para a su vez reducir el número de días y horas en que se rebasa la norma de ozono, esto con el fin de proteger la salud de la población, principalmente de aquellos que habitan la zona suroeste de la ZMVM. Es importante seguir realizando estudios para evaluar el riesgo por exposición a este contaminante, en particular en niños y ancianos.

Partículas suspendidas.

En general se han mantenido a la baja las concentraciones de partículas suspendidas, aunque en el último año se reporta un ligero incremento en los niveles de los tres tamaños de partículas en comparación con el 2007. En el 2008, en ninguna de las estaciones de monitoreo se logró el cumplimiento de la norma para PST al reportar valores mayores a 210 µg/m³ para el percentil 98.

El objetivo de incrementar el número de días con cumplimiento de la norma para PM₁₀, a pesar del nuevo límite establecido, se alcanzó en el año 2008 en todo el Distrito ederal y solamente dos estaciones Xalostoc y Nezahualcóyotl rebasaron la norma con valores de 134 µg/m³ y de 127 µg/m³ para el percentil 98, respectivamente. Estas estaciones ubicadas al Noreste y Oriente de la Ciudad se

encuentran cerca de vialidades primarias muy transitadas, además la estación Nezhualcóyotl está cerca del Bordo Poniente y recibe la influencia de las tolvaneras provenientes del suelo erosionado del Ex Lago de Texcoco ubicado al oriente de la ZMVM. Esta situación adquiere particular importancia puesto que en el noreste de la ZMVM se concentra la mayor parte de la población infantil, De acuerdo al SIMAT, el 57% de la población de la ZMVM se expone a concentraciones entre 1 y 2 veces el valor de la norma para el indicador de exposición crónica de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$

En cuanto a las $\text{PM}_{2.5}$, durante el 2008 en ningún sitio se reportaron valores superiores al límite establecido por la NOM para el indicador de 24 horas de $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el percentil 98. Sin embargo, en todas las estaciones se excedió el valor del promedio anual de la NOM de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el valor máximo se registró en la estación Xalostoc con $26.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Es importante publicar la norma para los métodos de medición de las $\text{PM}_{2.5}$, así como los valores de IMECA.

Dióxido de Nitrógeno (NO_2).

Las concentraciones de NO_2 durante el período del programa se han mantenido con un ligero decrecimiento, entre 2002 y 2006 la norma se excedió 13 veces y para el 2007 y 2008 se cumplió la norma al 100%. La concentración más alta se registró en la estación Tacuba, con 0.183 ppm, seguida de Merced con 0.174 ppm y Azcapotzalco con 0.170 ppm.

Históricamente el noreste registra las concentraciones más altas del contaminante, probablemente porque las estaciones de esta zona reciben el impacto de las emisiones de la termoeléctrica localizada viento arriba en el municipio de Acolman, Estado de México, asimismo la zona norte es la región con un mayor número de industrias.

Dióxido de Azufre (SO_2).

Este contaminante se mantuvo al 100% del cumplimiento de las normas de 0.13 ppm (promedio de 24 horas) y de 0.03 ppm (promedio anual), durante todo el período de evaluación. Los valores máximos se registran usualmente al norte y noroeste de la ZMVM. Sin embargo, se registran eventos frecuentes de corta duración con concentraciones de SO_2 mayores a 0.2 ppm de forma irregular a lo largo del año usualmente durante la noche y la madrugada asociados a vientos del norte y noreste, bajas temperaturas e inversiones térmicas, que aunque no afectan el promedio diario para el cumplimiento de la norma, podrían provocar impactos a la salud en personas sensibles. La población más expuesta se encuentra en los municipios conurbados del norte de la Ciudad de México, en donde se concentra el mayor número de industrias, y en el centro de la ciudad, en donde confluyen gran parte de las vialidades.

Monóxido de carbono (CO).

El cumplimiento de la norma de 11 ppm (promedio móvil de 8 horas) de este contaminante no ha sido rebasada desde el 2001, e incluso las concentraciones más altas registradas en el 2008 en zonas con alto tránsito vehicular alcanzan un máximo de 5.6 ppm en la estación Merced. Se recomienda establecer un valor más estricto de la norma a 9 ppm, como en otros países.

Aunque en esta sección se presentaron las tendencias promedio del comportamiento de los contaminantes criterio, es importante subrayar que las concentraciones de los mismos difieren por zonas geográficas por lo que se requiere realizar estudios que permitan implementar medidas de forma local para disminuir los niveles de contaminación en zonas específicas. Por ejemplo en el sur y suroeste se presentan las mayores concentraciones de ozono, mientras que en el norte las mayores concentraciones de partículas.

Conclusiones y Recomendaciones

En la última década, los niveles de concentración atmosférica del CO, NO₂, SO₂ y plomo se han reducido en forma gradual, de manera que se han logrado mantener por debajo de las recomendadas por las normas de salud. Por ello es importante evaluar la posible disminución de los valores de las normas de estos contaminantes con el fin de tener una mayor certidumbre de la protección a la salud de la población.

En el caso de las partículas, aunque el cumplimiento en las normas de promedio de 24 horas es cada vez mayor, resulta necesario cumplir con los promedios anuales recomendados para los tres tamaños de partículas, por lo que tendrán que implementarse medidas más agresivas en el control de partículas. En cuanto al ozono, a pesar de que se han reducido sustancialmente los picos y se ha incrementado el cumplimiento de la norma horaria y de 8 horas, es necesario continuar implementando medidas de reducción de emisiones de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno y consecuentemente lograr disminuir las concentraciones diarias de ozono.

En el norte y noreste se siguen presentando altos niveles de partículas por lo que se recomienda establecer medidas locales para reducir la exposición de la población a este contaminante.

5.3 BENEFICIOS A LA SALUD

La asociación existente entre la concentración de contaminantes tales como el ozono y las PM₁₀ y los diversos síntomas de enfermedad respiratoria y/o cardiovascular, así como con la mortalidad, ha sido reportada en los últimos 25 años en múltiples publicaciones y reportes.

Entre algunos de estos estudios relacionados con partículas suspendidas, se encuentran el de Romieu *et al.* (1996) que describe la afectación de niños con asma provocados por exposiciones promedio de PM₁₀ de 167 µg/m³ en comparación con niños que se exponen a una concentración promedio de 54.2 µg/m³. Borja-Aburto *et al.* (1997) reportan un incremento en la mortalidad total de 6% por cada incremento de 100 µg/m³ en la concentración de partículas suspendidas totales. Loomis *et al.* (1999) reportan un incremento en el riesgo de la mortalidad infantil del 18.2% por cada incremento de 25 µg/m³ en la concentración de partículas finas. La organización mundial de la salud ha reportado relaciones con la mortalidad (WHO, 2001), Cicero *et al.* (2001) estiman que el riesgo de morir prematuramente se incrementa en 1.48% por cada incremento de 10 µg/m³ en la concentración ambiental de PM₁₀, y también existen reportes que asocian la mortalidad infantil con partículas (APHEIS 2002).

Entre los artículos relacionados con la exposición a ozono, Bell *et al.* (2004) reportan un incremento del 0.52% en la mortalidad diaria por cada incremento de 10 ppb (0.010 ppm) de ozono en la concentración promedio de la semana previa, en 95 ciudades de los Estados Unidos, mientras que Ito *et al.* (2005) analizaron los resultados de diversos estudios alrededor del mundo publicados entre 1990-2003 y reportan un incremento en la mortalidad de 0.39% por cada incremento de 10 ppb de ozono en la concentración horaria máxima. Un estudio publicado por Bell M. *et al.* (2006) reporta los beneficios en salud que pueden obtenerse en tres ciudades latinoamericanas entre las que se encuentra la ZMVM (en un período de 20 años 2000-2020), y se concluye que es posible evitar en dicho período alrededor de 156 000 muertes, 4 millones de ataques de asma, 300 000 visitas médicas de niños y 48 000 casos de bronquitis crónica en las tres ciudades con un impacto económico de 21 a 165 millones de dólares, de llevarse a cabo las políticas públicas adecuadas para disminuir la contaminación atmosférica generada por PM₁₀ y ozono. Finalmente, un estudio realizado sobre la disminución de la contaminación ambiental en ciudades americanas entre los años 80 y 90 estimó un aumento en la esperanza de vida de su población en aproximadamente 5 meses. (Pope *et al.* 2009). Sin embargo, la evaluación de los efectos en la morbilidad y mortalidad de los contaminantes atmosféricos debe realizarse con metodologías precisas que disminuyan la incertidumbre en los resultados obtenidos, para que dichos resultados puedan sentar las bases de diferentes políticas públicas.

Con la finalidad de contar con un estudio que permitiera evaluar el impacto en salud (mortalidad) asociado a la reducción de los niveles de concentración de aire actuales en la población de la ZMVM, en particular por la contaminación por ozono y PM₁₀, el Gobierno del Distrito Federal, solicitó al Instituto Nacional de Salud Pública el desarrollo del estudio denominado "Estado del Conocimiento sobre los Efectos en la Salud Asociados a la Contaminación del Aire en la Población de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México". Dicho estudio realizado entre el 2006 y el 2009, detalla la metodología seguida para la estimación de la exposición de la población y su incertidumbre, así como la delimitación del espacio geográfico de trabajo, en que se consideraron las 16 delegaciones del Distrito Federal y 33 municipios del Estado de México. Este proyecto, además de analizar diferentes escenarios a futuro, estima las muertes evitadas por las reducciones de O₃ y PM₁₀ ocurridas entre el año 1997 y 2005 como consecuencia de las acciones llevadas a cabo en la ZMVM durante el PICCA, el PROAIRE I y el PROAIRE 2002-2010.

En este estudio se determinó la exposición de la población a PM₁₀ y ozono, se seleccionaron los eventos en salud, se determinó la frecuencia en la población de algunos problemas de salud, se determinó la

asociación cuantitativa entre la exposición y el efecto en la salud a través de la selección de funciones de concentración respuesta (CFR), se seleccionaron diferentes escenarios comparativos, se estimó la mortalidad y morbilidad evitada de acuerdo a los diferentes escenarios planteados, y se realizó un análisis de la incertidumbre de los resultados.

Se utilizaron las bases de datos del sitio web del SIMAT que utilizó el Proyecto ESCALA cuyo último año incluido es el 2005 y que validó los datos de acuerdo a lo que establece la norma respectiva de cada contaminante. Las funciones de concentración respuesta (FCR) corresponden a los riesgos relativos encontrados en estudios epidemiológicos que asocian contaminación del aire a efectos en la salud. Se incluyeron las FCRs provenientes del proyecto ESCALA que determina el efecto de PM₁₀ y ozono sobre la mortalidad en residentes de la ZMVM, y otras FCRs obtenidas a partir de otros estudios.

El cuadro 5.7 presenta los resultados de las estimaciones de número de muerte evitadas por reducciones de ozono entre 1997-2005 y el cuadro 5.8 presenta las estimaciones del número de muertes evitadas por PM₁₀ entre 1997-2005 determinadas por el Instituto de Salud Pública. En los años que no se incluyen en el cuadro, no hubo muertes evitadas puesto que las concentraciones no tuvieron variación.

Con base a estos resultados se observa que considerando solamente los años 2002-2003 y 2003-2004, que se encuentran dentro del período del PROAIRE 2002-2010, el número de muertes evitadas en la ZMVM utilizando el estimador FTR de ESCALA, atribuibles a las medidas realizadas para disminuir los niveles de concentración de ozono y PM₁₀ fue de 283 por las reducciones en ozono y de 388 por las reducciones en PM₁₀. Cabe mencionar que el estudio del Instituto nacional de Salud Pública realizó estas estimaciones en 1 zona del Distrito Federal y 4 zonas distintas del Estado de México.

Cuadro 5.7 Muertes evitadas por disminución de ozono

Período	Muertes evitadas	Intervalos de confianza 95%
1997-1998	57	32-81
1998-1999	142	80-203
2000-2001	255	143-366
2001-2002	57	32-81
2002-2003	28	16-41
2003-2004	255	143-366
Total 1997-2005	794	

Fuente: Riojas et al., 2009.

Cuadro 5.8 Muertes evitadas por disminución de PM₁₀

Período	Muertes evitadas	Intervalos de confianza 95%
1998-1999	1410	1043-1776
2000-2001	65	48-82
2001-2002	65	48-82
2002-2003	65	48-82
2003-2004	323	238-407
Total 1997-2005	1928	

Fuente: Riojas et al., 2009

En el estudio no se consideraron los eventos en salud tales como el incremento de enfermedades respiratorias agudas de las vías superiores puesto que en muchos casos no hubo hospitalización o no

quedan registrados los eventos. Sin embargo, el número de estos eventos también disminuiría al mejorar la calidad del aire.

Por otra parte, las estimaciones a futuro, considerando un escenario de reducción de los promedios anuales de concentración de los promedios máximos móviles de 8 horas de ozono y utilizando el estimador de ESCALA se evitarían en la ZMVM cerca de 300 muertes al año.

Así mismo se estimó, que si se cumpliera la normatividad actual de PM_{10} de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como promedio anual, se podrían evitar 397 muertes en la ZMVM utilizando los estimadores de ESCALA. Si se cumpliera la normatividad europea de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se evitarían 1030 muertes en total. Finalmente, si se adoptara la normatividad OMS y EPA de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se evitarían 2 306 muertes.

No se contó con la información relacionada a admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias y cardiovasculares, ni de las salas de emergencia. Tampoco se contó con información estadística de niños asmáticos o con tos crónica, ni se han publicado estudios que contemplen la pérdida de productividad por enfermedad o cuidados maternos.

Conclusiones y Recomendaciones

La investigación realizada por el Instituto Nacional de Salud Pública sobre los beneficios que ha representado la implementación de programas de calidad del aire, muestra solamente los resultados de 2 de los 8 años transcurridos durante el PROAIRE 2002-2010, en que se evitaron 671 muertes por las reducciones en PM_{10} y ozono, por lo que se puede suponer que el número de muertes evitadas en el período es mucho mayor considerando que faltan 6 años de estimaciones, lo cual representa una importantísima razón para promover y lograr el cumplimiento de la normatividad.

Por otra parte, el número de muertes evitadas cuando se disminuye y se cumple el valor de la norma de PM_{10} no se incrementa en forma lineal ya que una reducción adicional de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de la norma actual evitaría 2.6 veces más de muertes.

Considerando que el objetivo principal de un Programa de calidad del Aire es la protección de la salud de los habitantes, se recomienda que los gobiernos locales delegacionales y municipales se coordinen con el sector salud de su zona para que los registros médicos contengan la información necesaria y se realice validación de los datos, ya que muchos de ellos resultan con frecuencia inservibles para la realización de estudios epidemiológicos.

Incrementar las bases de datos sobre admisiones hospitalarias y mortalidad por causas asociadas a la contaminación atmosférica, bien documentadas y suficientemente sólidas que incluyan las AGEB de los pacientes para realizar análisis de exposición.

Realizar evaluaciones de impacto a la salud en forma periódica, particularmente para $PM_{2.5}$ y fortalecer el sistema de vigilancia en salud. Realizar estudios costo-beneficio por pérdida de días laborables, baja de productividad, etc. de manera que se estimen costos por padecimientos relacionados con la contaminación ambiental.

Realizar estudios sobre beneficios económicos por reducción de la contaminación atmosférica, esperanza de vida y ausencia escolar.

La mala calidad del aire que ha presentado la ZMVM desde los años ochenta, es violatoria al derecho humano a vivir en un medio ambiente sano, por lo que es imperativo que las políticas públicas que se establezcan tengan un impacto significativo para que los niveles de contaminación disminuyan hasta cumplir al menos con la normatividad actual.

5.4 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

- APHEIS (2002). Health impact assessment of air pollution in 26 European cities. Second year Report. Union Europea, Air Pollution and Health: A European Information System: 225.
- Bell ML, Davis DL, Gouveia N, Borja-Aburto VH, Cifuentes LA. (2006). "The avoidable health effects of air pollution in three Latin American cities: Santiago, Sao Paulo, and Mexico City." *Environ Res* 100 (3): 431-40.
- Cicero, F. P.; Torres, V.; Rosales, A.; Cesar, H.; Dorland, K.; Muñoz, R.; Uribe, R.; Martinez, A. P. (2001). "Evaluation of Human Exposure to Ambient PM10 in the Metropolitan Area of Mexico City Using a GIS-Based Methodology". *Journal of the Air & Waste Management Association*. 51:1586-1593.
- Comisión Ambiental Metropolitana. (2002). Programa para mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010. Mexico D.F, GDF, GEMEX, SEMARNAT, SS.
- Comisión de Derechos Humanos del Distrito Federal (CDHDF), 2008. Informe especial sobre el derecho humano a un medio ambiente sano y la calidad del aire en la Ciudad de México.
- Evans, J., J. Levy, et al. (2002). Health benefits of air pollution control in Air Quality in the Mexico Megacity. An Integrated Assessment. L. Molina and M. Molina. Netherlands, Kluwer Academic Publishers
- External Review Draft. U. S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC: Office of Research and Development report no. EPA-600/R-08/139.
- IAL. Instituto de Aire Limpio. 200). Revisión Crítica de Información sobre el Proyecto de Restricción Vehicular Sabatina. Ciudad de México, Clean Air Initiative.
- Ito, K.; De Leon, S. F.; Lippmann, M. (2005). "Associations Between Ozone and Daily Mortality Analysis and Meta-Analysis". *Epidemiology*. 16:446-457.
- Loomis, D., M. Castillejos, et al. 1999. Air pollution and infant mortality in Mexico City. *Epidemiology* 10(2): 118-23.
- Molina, L. T.; Molina, M. 2002. Air Quality in the Mexico Megacity: An integrated Assessment. Kluwer Academic Publishers.
- Muñoz, R.; Granados, M. G.; Jaimes, M. C. (2008). "Análisis del comportamiento semanal del ozono en la zona metropolitana del Valle de México en el periodo 1990-2007". Serie de Análisis del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México. Secretaría del Medio Ambiente. México, D.F. Disponible en <http://www.sma.df.gob>. Calidad del aire.
- Pope, C. A., 3rd, M. Ezzati, et al. (2009). "Fine-particulate air pollution and life expectancy. in the United States." *N Engl J Med* 360(4): 376-86.
- Romieu, I.; Meneses, F.; Ruiz, S.; Sienna, J. J.; Huerta, J.; White, M. C.; Etzel, R. A. (1996). "Effects of air pollution on the respiratory health of asthmatic children living in Mexico City". *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 154:300-307.
- Riojas Horacio, Urinda Alamo, Texcalac Jose Luis, Romieu Isabelle. (2009). Informe final del Proyecto "Estado del Conocimiento sobre los Efectos en la Salud Asociados a la Contaminación del Aire en la Población de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México". SMA-GDF, INSP.
- SMA-GDF. 2006. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. Dirección General de Inventario de Emisiones. Evolución y Tendencias de las Emisiones en la ZMVM 1990-2006.

- SMA-GDF. 2007. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. Informe Anual de Actividades 2006.
- SMA-GDF. 2008. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. Informe Anual de Actividades 2007.
- SMA-GDF. 2008. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federa. Inventario de Emisiones de contaminantes criterio de la Zona Metropolitana del Valle de México. 2006.
- SMA-GDF. 2008. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federa. Inventario de Emisiones de contaminantes tóxicos de la Zona Metropolitana del Valle de México. 2006.
- SMA-GDF. 2009. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. Informe Anual de Actividades 2008.
- SMA-GDF. 2009. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. Informe de la Calidad del Aire 2008.
- SMA-GDF. 2009. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federa. Inventario de Emisiones de contaminantes criterio de la Zona Metropolitana del Valle de México. 2008. (Documento Preliminar).
- US EPA. (2008). Integrated Science Assessment for Particulate Matter, First Report.

6

EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS EN LA CALIDAD DEL AIRE durante el PROAIRE 2002-2010 A TRAVÉS DE LA MODELACIÓN DE ESCENARIOS

Con la finalidad de darle seguimiento al análisis de medidas de control de emisiones planteadas en el PROAIRE 2001-2010, se modelaron escenarios de diagnóstico para simular la aplicación del control de emisiones en las fuentes y su contribución a la disminución de la contaminación ambiental en la ZMVM.

Una herramienta muy útil para estimar la contribución de las fuentes antropogénicas a las concentraciones de contaminantes atmosféricos son los modelos fotoquímicos, mismos que relacionan las emisiones con las concentraciones ambientales de compuestos emitidos ó generados. En este sentido, para la modelación de escenarios de diagnóstico en los cuales pueda simularse el patrón de emisiones de diversas fuentes y su impacto en el ambiente, previamente ha sido utilizado en estudios para la ZMVM, el modelo fotoquímico de trayectoria Multiscale Climate Chemistry Model (MCCM por sus siglas en inglés), el cual cuenta con capacidad para determinar concentraciones de ozono en función de variables como las emisiones, la topografía, la meteorología, etc. Estos escenarios estuvieron basados en proyecciones poblacionales realizadas por el Consejo Nacional de Población (CONAPO) y de las variables económicas publicadas por el Banco de México complementadas con pronósticos de series de tiempo así como en datos de todo un conjunto de instituciones públicas y privadas.

6.1 CARACTERÍSTICAS DE LA MODELACIÓN

Como se mencionó en el capítulo 3, la modelación se realizó para el año 2002 (caso base) cuando inició el PROAIRE 2002-2010, para el año 2008, puesto que es el último año para el que se tiene una base completa de datos y para el año 2010, realizando una proyección de los datos del 2008. Para los años 2008 y 2010 la modelación se realizó con dos escenarios, el primero sin aplicar las medidas del PROAIRE 2002-2010 y el segundo sin la aplicación de medidas.

Periodo de modelación

El periodo de modelación fue seleccionado a través del análisis estadístico de las variables meteorológicas: humedad relativa, velocidad del viento, temperatura, frecuencia de inversiones térmicas, radiación UV y global, altura de capa de mezclado y precipitación acumulada semanal en la ZMVM en el año 2002.

Después de aplicar un análisis de Cluster a los promedios semanales de las variables antes citadas, la semana seleccionada fue la del 12 al 18 de Febrero de 2002, misma que se consideró representativa para las condiciones meteorológicas promedio de la temporada seca fría en la Cuenca de México. A partir de lo anterior, se definió el periodo base del 13 al 17 (miércoles a domingo) de Febrero de 2002, para modelar los escenarios.

Coberturas geográficas para modelación meteorológica y fotoquímica

Por otra parte, para llevar a cabo las modelaciones se requirió establecer 3 coberturas geográficas (dominios) necesarias para representar y delimitar las regiones en la simulación en las dimensiones X y Y (Figura 6.1):

Un Dominio 1 (D1), con malla de $i=122$ por $j=180$ celdas y resolución de 25 Km; el Dominio 2 (anidado dentro del D1), con malla de $i=121$ por $j=171$ celdas y resolución de 5 Km; un Dominio 3 (anidado en el D2), con malla de $i=91$ por $j=101$ celdas y resolución de 1 Km para representar la Zona Metropolitana del Valle de México. Cabe mencionar que, si bien se efectuó modelación meteorológica en los tres dominios, sólo se realizó modelación fotoquímica para el dominio 3.

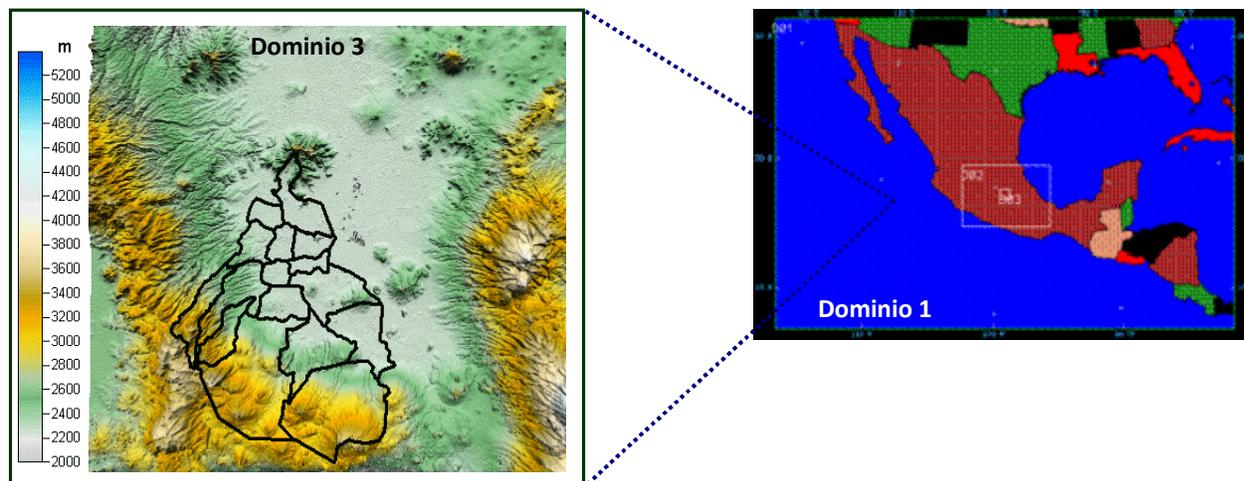


Figura 6.1 Dominios ó coberturas geográficas de modelación. El dominio 3 (izquierda) representa la región de la ZMMV donde se ubican las principales fuentes de emisiones antropogénicas.

Capa ó nivel vertical	Presión (mb)	Altura (m)
1	117	13954
2	151	12361
3	184	11036
4	218	9894
5	252	8888
6	286	7985
7	319	7165
8	353	6412
9	387	5716
10	421	5067
11	454	4459
12	488	3887
13	522	3346
14	556	2832
15	589	2343
16	623	1876
17	657	1430
18	687	1043
19	714	711
20	738	429
21	758	197
22	771	46
Superficie 23	775	4

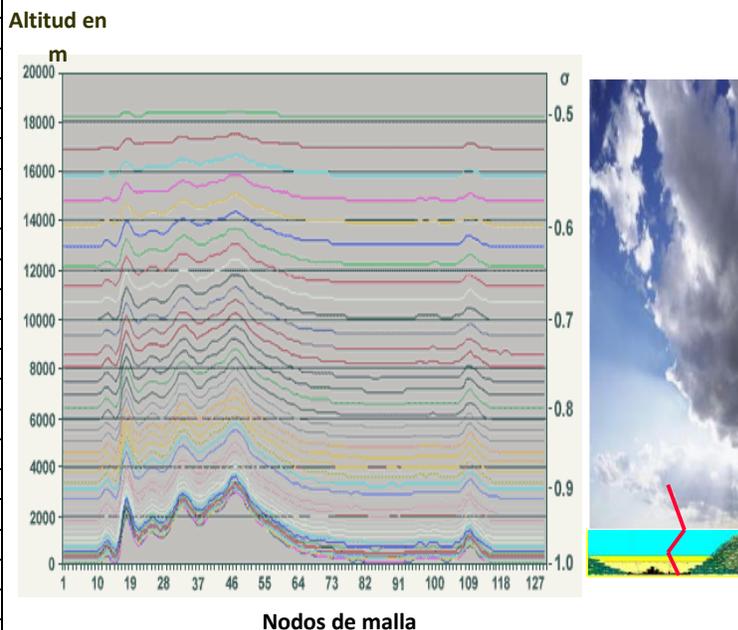


Figura 6.2. Capas verticales empleadas en el dominio 3. Esquematización de la resolución vertical (dimensión 3 ó Z) de los dominios de modelación.

Resolución vertical de los dominios de modelación

La resolución vertical empleada en los escenarios fue de 24 capas atmosféricas completas (full-sigma layers) y 23 capas medias (half-sigma layers) ó niveles verticales. Las estimaciones de cada variable efectuadas en las capas sigma completas por el modelo numérico, se interpolaron a cada capa sigma media, y los valores estimados se reportan a la altura y presión de cada capa sigma media ó capa vertical.

En el caso de la ZMVM (incluida en el Dominio 3), ésta presenta una presión atmosférica de 775 mb a una altitud aproximada de 2242 msnm en la Ciudad de México. Por lo que la capa (ó nivel sigma medio) más cercana a la superficie (capa superficial) incluida en la modelación de MM5, tiene una altura de 4 m y está a una presión de 775 mb (Tabla 1). Al igual que el dominio 3, los otros 2 dominios también están conformados por 23 capas verticales, estimándose para cada capa las mismas variables meteorológicas; y en el caso del dominio 3, también las variables químicas correspondientes. En todos los casos las estimaciones son realizadas cada hora para todo el periodo de modelación.

Como se puede apreciar en la Figura 6.2, el espesor de las capas disminuye conforme disminuye la altitud, lo cual da por resultado una gran resolución en la capa superficial. También puede observarse en la Figura 6.2 que la región considerada para modelación alcanza casi 14 000 m de altitud y además la cobertura geográfica incluye buena parte del país y las regiones marítimas que lo rodean (Figura 7.1), con lo que se pretende incluir y representar los principales procesos que influyen en la dispersión de contaminantes, tales como la evolución de la capa de mezclado y la capa límite, la presencia de inversiones térmicas en superficie y altura, la ocurrencia de altas y bajas presiones, y en general, simular las características de la atmósfera que representen aceptablemente la dinámica atmosférica asociada con el transporte y transformaciones de los contaminantes atmosféricos.

La información de meteorología sinóptica para determinar las condiciones meteorológicas iniciales y de frontera (CMIF) requeridas cada 6 horas para el MM5/MCCM, se obtuvo de la página electrónica <ftp.cdc.noaa.gov>. A partir de la misma, se interpolaron horizontalmente las CMIF para las coberturas de los dominios 1, 2, y 3 mediante la aplicación del preprocesador REGRID. Posteriormente se realizó la interpolación vertical de las CMIF de cada dominio, para las capas citadas en la Tabla 1, utilizando el preprocesador INTERP. Cabe señalar que para el dominio 2, la preparación de las CMIF se realizó interpolando éstas a partir de la salida de MCCM del dominio 1; y sucesivamente, para obtener las CMIF del dominio 3, éstas se interpolaron a partir de la salida de MCCM del dominio previo. Las dos últimas interpolaciones se desarrollaron mediante la aplicación del preprocesador NESTDOWN.

Distribución Temporal y Geográfica de emisiones para el dominio 3

La información de emisiones utilizada se basó en el inventario de emisiones 2002, preparado por la Dirección de Programas de Calidad del Aire e Inventario de Emisiones, de la Secretaría del Medio Ambiente– GDF. Dicho inventario fue distribuido temporalmente y geográficamente de la forma que se describe a continuación.

Apoyándose en la información de aforos vehiculares y utilizando líneas geo-referenciadas para representar las avenidas, se realizó la distribución geográfica de emisiones de fuentes móviles en tramos de líneas representando con éstos las vialidades primarias y secundarias (Figura 6.3). Las emisiones de fuentes móviles estimadas por tramo se distribuyeron temporalmente con base en información de 31

estaciones maestras de aforos vehiculares. Esta distribución temporal y la distribución de emisiones en celdas del dominio 3, se realizó con el Sistema de Procesamiento de Emisiones a la Atmósfera (SPEA).

Las emisiones de fuentes de área ó servicios fueron calculadas por Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB) las cuales se representaron a través de polígonos irregulares geo-referenciados. La distribución temporal con SPEA se realizó utilizando patrones temporales determinados a partir de la información recabada en las Licencias Ambientales Únicas y Cédulas de Operación Anual 2002. Después las emisiones calculadas por AGEB fueron distribuidas geográficamente en celdas del dominio 3 aplicando SPEA (Figura 6.4).

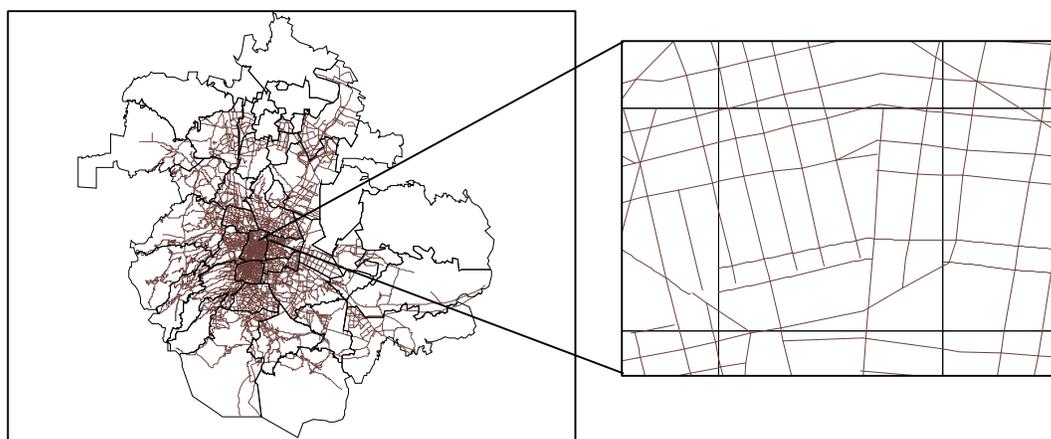


Figura 6.3. Tramos utilizados para la distribución de emisiones de fuentes móviles y distribución de los mismos en celdas del dominio 3 (derecha).

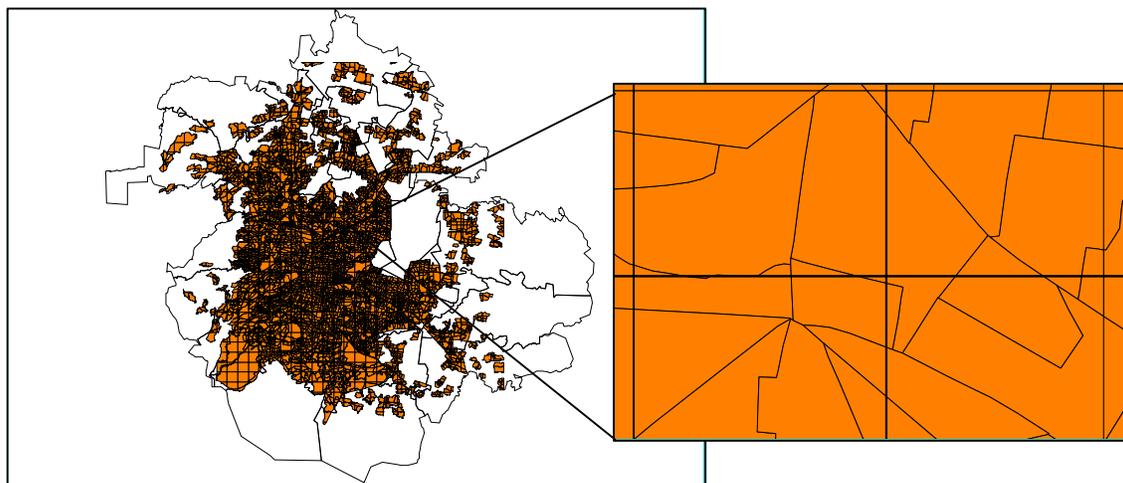


Figura 6.4. Representación de AGEB (polígonos irregulares color naranja) y distribución de éstos en celdas del dominio 3 (derecha).

Las emisiones de fuentes puntuales se estimaron por industria y se ubicaron geográficamente con coordenadas correspondientes a la localización de la chimenea principal de cada empresa (Figura 6.5). La

distribución temporal de las emisiones correspondientes se efectuó con información de las Licencias Ambientales Únicas y Cédulas de Operación Anual del 2002, y se aplicaron patrones temporales para cada contaminante (SO_2 , NO_x , PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, COT y CO). Posteriormente a la distribución temporal, también se desarrolló con SPEA la distribución de emisiones industriales en celdas.

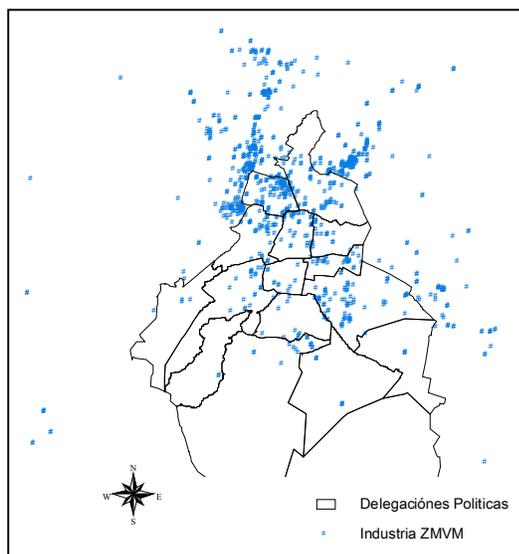


Figura 6.5. Ubicación geográfica de las principales industrias establecidas en la ZMVM.

Especiación (caracterización) de compuestos orgánicos totales (COT) y su Agregación en clases RADM2

En el caso de las emisiones de COT; además de las distribuciones temporal y geográfica; se utilizó una base de datos con 96 perfiles de emisión y 551 compuestos para realizar mediante el SPEA la caracterización de éstos en compuestos químicos. Utilizándose para ello los perfiles de emisión asociados a cada giro mostrado en el Cuadro 6.1. Posteriormente a la caracterización de COT, los compuestos químicos emitidos por cada fuente fueron agregados en clases del mecanismo químico RADM2, implantado en MCCM para resolver fotoquímica y reacciones térmicas de química orgánica e inorgánica.

Finalmente, los archivos salida de SPEA (con emisiones en Kg/h) fueron formateados mediante los sistemas RUNAREA para emisiones a nivel de piso (área y móviles) y RUNPOINT para fuentes elevadas (industrias con chimeneas). Con lo que la información de emisiones quedó en unidades de $\text{ppm}\cdot\text{m}/\text{min}$ para las clases del mecanismo de reacción Regional Acid Deposition Model 2 (RADM2), quedando lista para ser leída por MCCM.

Cabe mencionar que sólo se realizó modelación fotoquímica del dominio 3, debido a que únicamente para ésta última cobertura se tiene información de emisiones.

Cuadro 6.1. Giros utilizados para realizar la caracterización de COT.

Industria	Servicios	F. Móviles
Industria de la carne Elaboración de productos lácteos Elaboración de conservas alimenticias Beneficio y molienda de cereales y otros productos Elaboración de productos de panadería Molienda de Nixtamal y fabricación de tortillas Fabricación de aceites y grasas comestibles Fab. de cocoa, chocolate y artículos de confitería Elaboración de otros productos alimenticios para Elaboración de alimentos preparados para animales Industria de la bebida Industria del tabaco Industria textil de fibras duras y cordelería de todo tipo Hilado, tejido y acabado de fibras blandas. Confección con materiales textiles Fab. de tejidos de punto Confección de prendas de vestir Industria del cuero, pieles y sus productos Industria del calzado. Excluye de hule y/o plástico Fab. de productos de aserradero y carpintería Fab. de envases y otros productos de madera y corcho Fab. y reparación de muebles principalmente de madera Manufactura de celulosa, papel y sus productos Imprentas, Editoriales e industrias conexas Petroquímica básica Fab. de sustancias químicas básicas Industria de las fibras artificiales y/o sintéticas Industria farmacéutica Fab. de otras sustancias y productos químicos Industria del coque. Industria del hule Elaboración de productos de plástico Alfarería y cerámica (Excluye materiales de construcción) Fab. de materiales de arcilla para la construcción Fab. de vidrio y productos de vidrio Fab. de cemento, cal, yeso y otros productos. Industria básica del hierro y del acero Industrias básicas de metales no ferrosos. Fundición y moldeo de piezas metálicas, ferrosas y no Fab. de estructuras metálicas, tanques y calderas Fab. y reparación de muebles metálicos Fab. de otros productos metálicos. Fab. y reparación de maquinaria (Incluye maquinaria Fab. y reparación de maquinaria (Incluye armamento) Fab. y/o ensamble de maquinas de oficina y Fab. y/o ensamble de maquinaria, equipo y accesorios Fab. y/o ensamble de equipo electrónico de radio, TV y Fab. y/o ensamblados de aparatos y accesorios de uso Industria automotriz Fab., reparación y/o ensamble de equipo de transporte y Fab., reparación y/o ensamble de instrumentos y equipo Otras industrias manufactureras Generación y transmisión de energía eléctrica	Combustión industrial (GN) Combustión comercial-institucional (GLP) Combustión comercial-institucional (GN) Combustión habitacional (GLP) Combustión habitacional (GN) Operación de aeronaves Locomotoras (foráneas/ patio) Terminales de Autobuses de pasajeros Recubrimiento de superficies Industriales Pintura automotriz Recubrimiento de superficies arquitectónicas Recubrimiento de superficies arquitectónicas Pintura de tránsito Limpieza en superficie industrial Lavado en seco (Percloroetileno) Lavado en seco (Gas nafta) Artes gráficas Aplicación de asfalto Productos de cuidado personal Productos misceláneos Productos de consumo doméstico Uso doméstico y comercial de pesticidas Uso comercial y doméstico de pinturas en aerosol Productos para el cuidado automotriz Uso comercial y doméstico de adhesivos y Distribución y almacenamiento de gasolina Carga de combustibles en aeronaves Distribución y almacenamiento de GLP Fugas de GLP en instalaciones HCNQ en la combustión de GLP Panaderías Esterilización en hospitales Rellenos sanitarios Tratamiento de aguas residuales Incendios en estructuras Almacenamiento masivo de gasolina Incendios Forestales Amoniaco doméstico	Vehículos a diesel Vehículos gasolina Vehículos a GLP Vehículos a GN Partículas diesel

6.2 ESCENARIOS DE MODELACIÓN

Para realizar las estimaciones de ozono fue necesario desarrollar en total 5 escenarios, los cuales son descritos en seguida. El primer escenario ó línea base 2002 (Caso Base 2002) es fundamental, ya que a través del éste se estiman las concentraciones de ozono y se comparan con mediciones del mismo contaminante, con la finalidad de observar la representatividad de tales estimaciones. A continuación se reseñan las características principales de cada escenario.

Respecto a las emisiones, en este trabajo se tomó como base el inventario de emisiones del año 2002 (Cuadro 7.2), cuyas estimaciones se utilizaron como referencia para desarrollar los escenarios restantes.

- **Caso Base Febrero del 2002 (CB2002)**: Escenario en el cual se incluyó la meteorología del 13 al 17 de Febrero del 2002 e inventario de emisiones del mismo año, que incluyen las emisiones de fuentes puntuales, fuentes de área y fuentes móviles estimadas para un día laboral de acuerdo con lo establecido en el PROAIRE 2001-2010 para dicho año. Con lo anterior se pretendió obtener las estimaciones de ozono bajo las condiciones normales en que se generan las emisiones en la Ciudad de México y los 18 municipios conurbados a la misma.
- **PROAIRE Base 2008 (PB2008)**. La diferencia respecto al CBFEB 2002 es que la PB2008 incluye las emisiones 2008 de fuentes puntuales, de área y móviles, proyectadas a partir de 2002, incluyendo las medidas de control de emisiones realizadas en el PROAIRE 2002-2010.
- **Escenario 2008 (ESC2008)**. Similar al PB2008, pero en este escenario las emisiones para el año 2008, no consideran las medidas de control incluidas en el PROAIRE 2002-2010.
- **PROAIRE Base 2010 (PB2010)**. La diferencia respecto al CBFEB 2002 y la PB2008, es que la PB2010 incluye las emisiones 2010 de fuentes puntuales, de área y móviles, proyectadas al 2010, a partir de 2002, considerando las medidas de control de emisiones realizadas en el PROAIRE 2002-2010 para el año 2010.
- **Escenario 2010 (ESC2010)**. Similar al PB2010, pero en este escenario se omitieron las medidas de control para fuentes móviles consideradas en el PROAIRE 2002-2010 para calcular las emisiones de dichas fuentes.

En cuanto a los precursores de ozono, el Cuadro 7.2 muestra que las emisiones de COT provenientes de fuentes de área aumentan 147 137 ton/año en 2008 respecto al 2002; y se espera una disminución de 15 476 ton/año de las mismas en el año 2010 (en referencia al año 2008). Los NOx emitidos por fuentes de área disminuyen 706 ton/año de 2002 a 2008 y se espera que bajen 2 239 ton/año hacia 2010.

La industria por su parte, muestra un aumento sostenido de NOx desde 19 543 ton/año en 2002 a 20 804 ton/año en 2008 y a 21 147 ton/año en 2010. Mientras que los COT vertidos por estas fuentes aumentaron desde 75 933 ton/año en 2002 a 122 728 ton/año en 2008, y a partir de éste último año, se espera que lleguen a 124 222 ton/año. Cabe mencionar que las reducciones por PROAIRE fueron mínimas en este sector por lo que se utilizó el mismo valor para ESC (Sin PROAIRE) que para PB (Con PROAIRE).

Por su parte, a pesar del crecimiento de la flota vehicular, las fuentes móviles disminuyen sus emisiones de NOx desde 167 290 ton/año en 2002 a 150 147 ton/año en 2008 y a 147 271 ton/año en 2010. En los COT emitidos por este tipo de fuente también se observa la misma tendencia, disminuyendo de 224 462 ton/año en 2002 a 228 342 ton/año en 2008 y se espera que bajen hasta 168 848 ton/año en 2010.

Cuadro 6.2. Resumen de emisiones estimadas para los escenarios (ton/año).

Año	Fuente	Escenario	NOx	CO	SOx	COT	PM ₁₀	PM _{2.5}
2002	Área	CB2002	11 805	7 181	36	412 221	174	172
	Puntuales	CB2002	19 543	6,880	3 579	75 933	3 508	511
	Móviles	CB2002	167 290	2 147 034	4 748	224 462	5 492	2 610
2008	Área	PB2008 y ESC2008	11 099	7 868	10	559 358	375	370
	Puntuales	PB2008 y ESC2008	20 804	6 977	2 245	122 728	4 844	921
	Móviles	PB2008 Con PROAIRE	150 147	1 478 594	3 179	177 629	14 538	3 847
	Móviles	ESC2008 Sin PROAIRE	189 532	1 925 700	3 634	228 342	14 988	3 901
2010	Área	PB2010 y ESC2010	8 860	6 580	10	543 882	252	248
	Puntuales	PB2010 y ESC2010	21 147	7 110	2,289	124 222	4 867	930
	Móviles	PB2010 Con PROAIRE	147 271	1 362 998	3 179	168 848	14 887	4 162
	Móviles	ESC2010 Con PROAIRE	178 471	1 787 469	3 562	225 008	15 146	4 077

6.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caso Base Febrero de 2002 (CBFEB 2002)

Para comparar las estimaciones obtenidas en el CBFEB 2002 respecto a las mediciones realizadas por la Red Automática de Monitoreo Atmosférico ó RAMA (Figura 6.6), se utilizaron solamente los resultados del MCCM en la capa superficial, misma que tiene una altura de 4 m.

La comparación de las concentraciones de ozono estimadas por MCCM respecto a las medidas por la RAMA, permitió observar que las concentraciones de ozono estimadas tuvieron una aproximación aceptable respecto a las mediciones. Este resultado se verificó a través de los coeficientes de correlación (CC) entre ambas poblaciones de datos para el periodo modelado completo, y específicamente para el día 15 de Febrero, día en que se midió la concentración de ozono máxima del periodo modelado.

El Cuadro 6.3 muestra que en general se obtuvieron correlaciones superiores a 0.72 al comparar las estimaciones de ozono con MCCM respecto a las mediciones del mismo. En este sentido, para todo el periodo de modelación (del 14 al 17 de Febrero de 2002) las mejores correlaciones se determinaron en las estaciones Taxqueña, Benito Juárez y UAM Iztapalapa. Mientras que para el día en que se monitoreó la máxima concentración de ozono (15 de Febrero) las correlaciones más altas se calcularon para los sitios Benito Juárez (0.837), Merced (0.805), Taxqueña (0.855), Xalostoc (0.836), Tacuba (0.816), Pedregal (0.840) y Plateros (0.877). Lo anterior implica que se logra una aceptable simulación de la tendencia en las concentraciones de ozono para el período de modelación.

Escenarios CB2002, PB2008 y PB2010

El análisis de resultados se centró en el 15 de Febrero, día en el cual se midió la concentración máxima de ozono (15-16 horas) durante el periodo modelado. En este sentido, el CB2002 presentó una concentración máxima de 0.1722 ppm, en la PB2008 se estimaron 0.1739 ppm y en la PB2010 se obtuvieron 0.1738 ppm del mismo contaminante, todo a las 15:00 horas del viernes 15 de Febrero. Es decir que en la hora en que comúnmente se monitorean concentraciones más agudas (> 0.11 ppm) de ozono, las emisiones de la PB2008 generaron la mayor concentración de O₃ (Figura 6.7). Lo cual es congruente con las emisiones que se utilizaron en cada escenario, con 182 050 Kg/día de NOx y 859 715 Kg/día de COT. Mientras que en el CB2002 fueron 198 638 Kg/día de NOx y 712 616 Kg/día de COT, lo que implica que la mayor concentración de COT generó una mayor cantidad de ozono aunque la concentración de NOx fuera menor. En la PB2010 se incorporaron 177 278 Kg/día de NOx y 836 952 Kg/día de COT. Esto también sugiere que los COT tuvieron mayor contribución a la formación de ozono a las 15 horas, pues a pesar de tener más emisiones de NOx el CB2002 que la PB2010, en esta última se estimó una mayor concentración máxima horaria de ozono (0.1738 ppm).

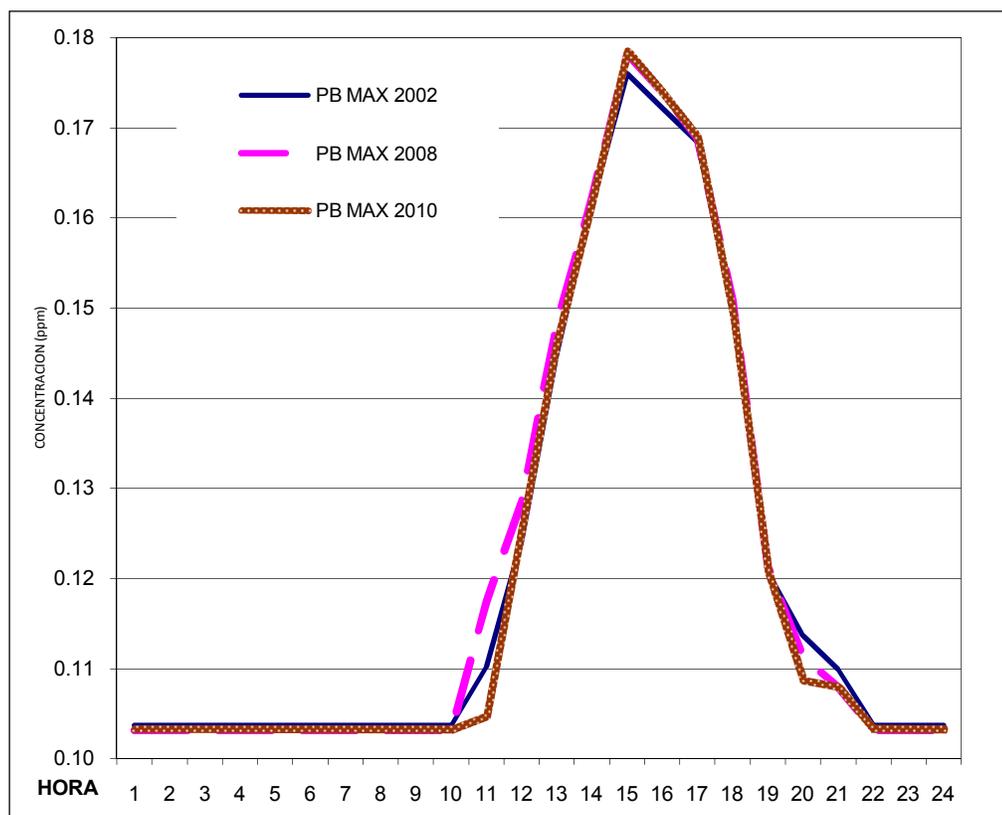


Figura 6.7. Concentraciones horarias máximas de ozono del día 15/Febrero, en los escenarios base.

ESC2008 vs PB2008

Como se ilustró en el Cuadro 6.2, la diferencia en estos dos escenarios es el incremento de emisiones por fuentes móviles en el ESC2008 respecto al PB2008, y como se muestra en la Figura 6.8, esta variación fue principalmente en emisiones de vehículos a gasolina. En este sentido, respecto a la PB2008, en el

ESC2008, las emisiones provenientes de automotores a gasolina aumentan 163 050 Kg/día (37%) en los COT, 1 305 241 Kg/día (34%) en el CO, y 126 789 Kg/día (46%) en los NOx.

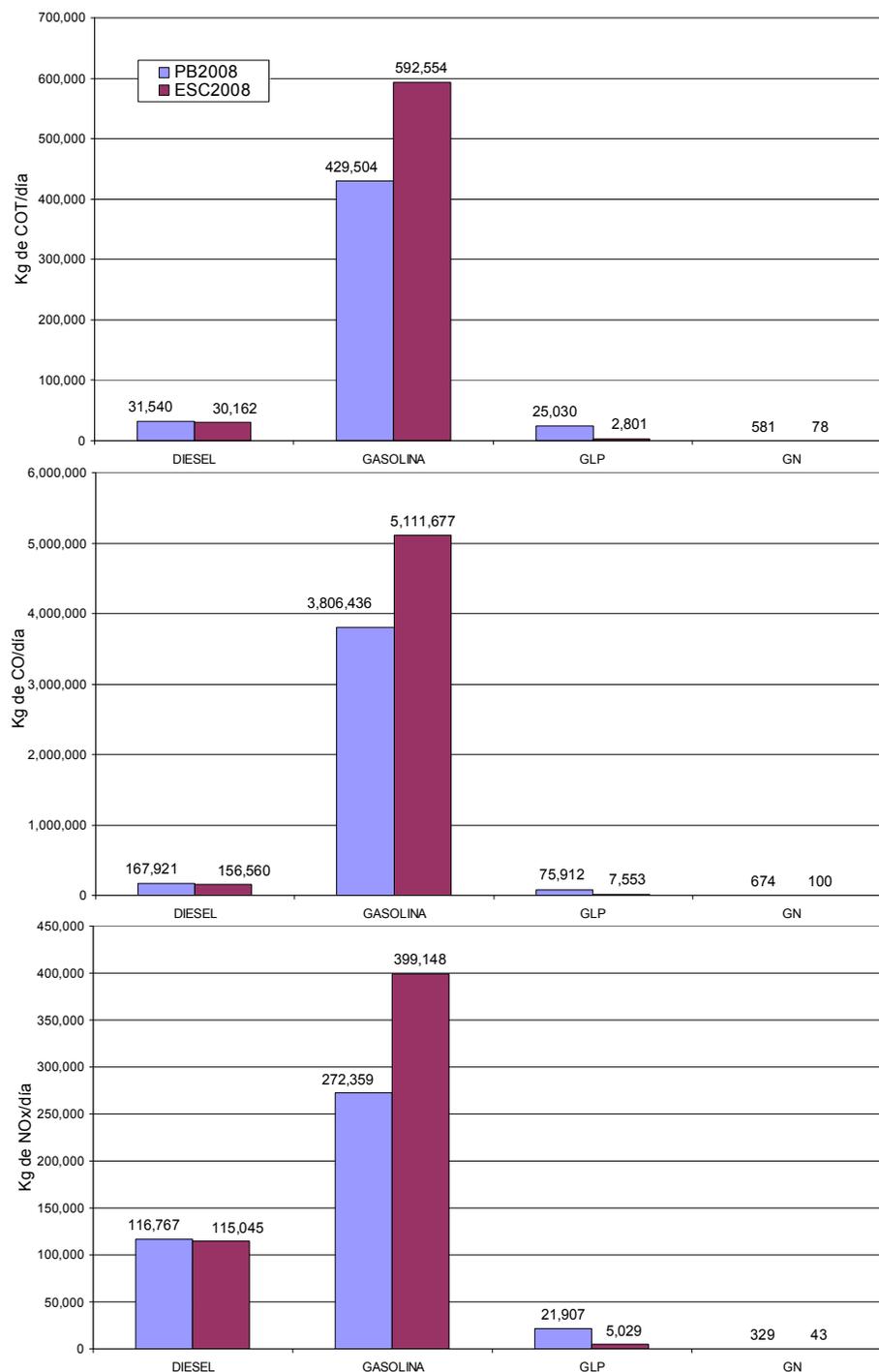
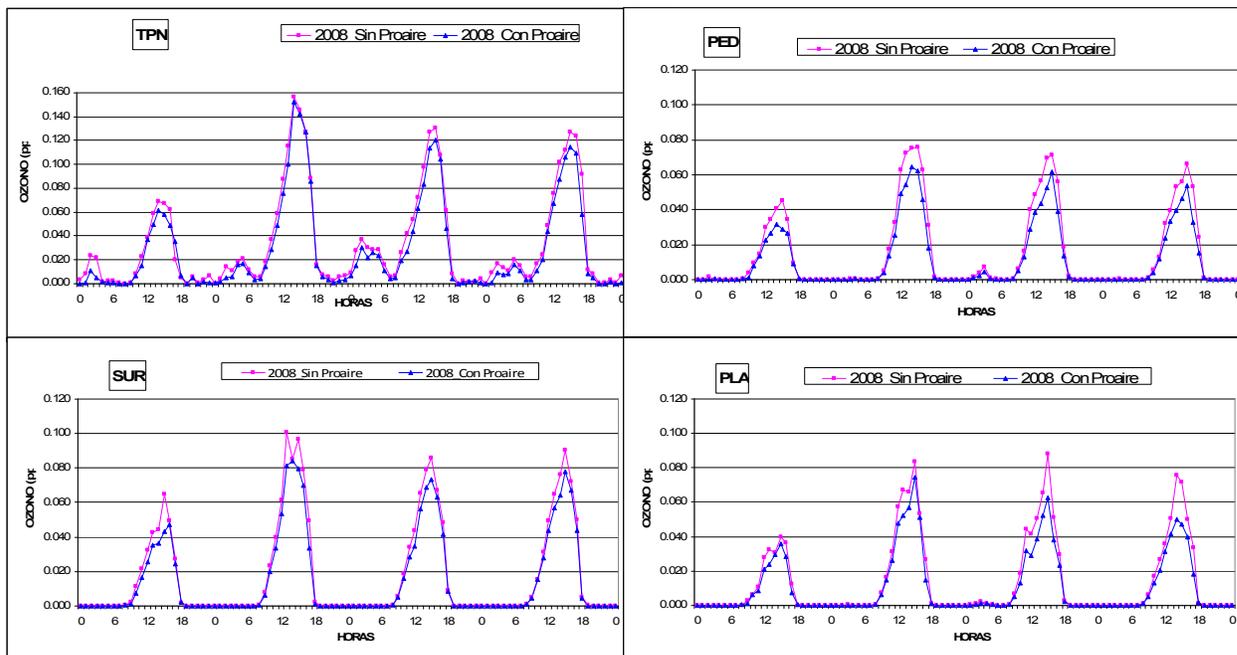


Figura 6.8. Diferencias en las emisiones de COT, CO y NOx del ESC2008 vs. PB2008 (Con PROAIRE 2008).

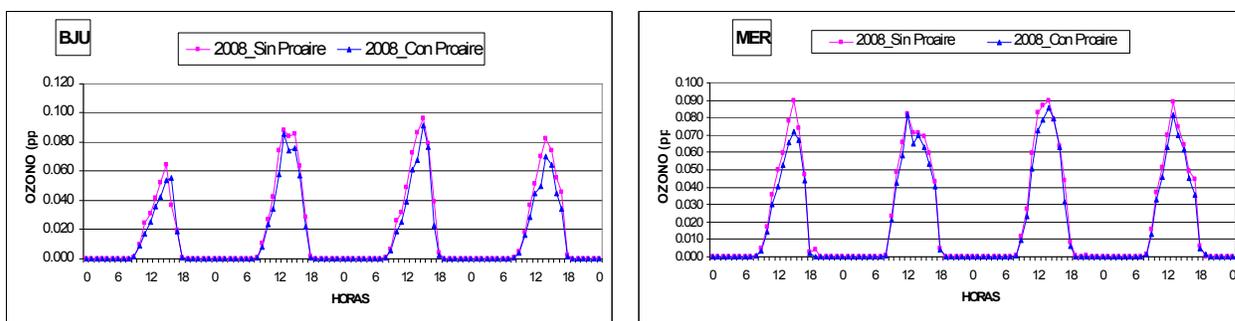
La Figura 6.9 muestra la diferencia entre las concentraciones de ozono a lo largo de cuatro días de modelación (14, 15, 16 y 17 de febrero) en 2008 para algunas estaciones de monitoreo en la zona suroeste (la cual generalmente presenta las mayores concentraciones de ozono), en la zona centro y en

la zona sureste. En todos los casos se observa un decremento de las concentraciones de ozono, principalmente en los picos de los escenarios con PROAIRE.

Suroeste



Centro



Sureste

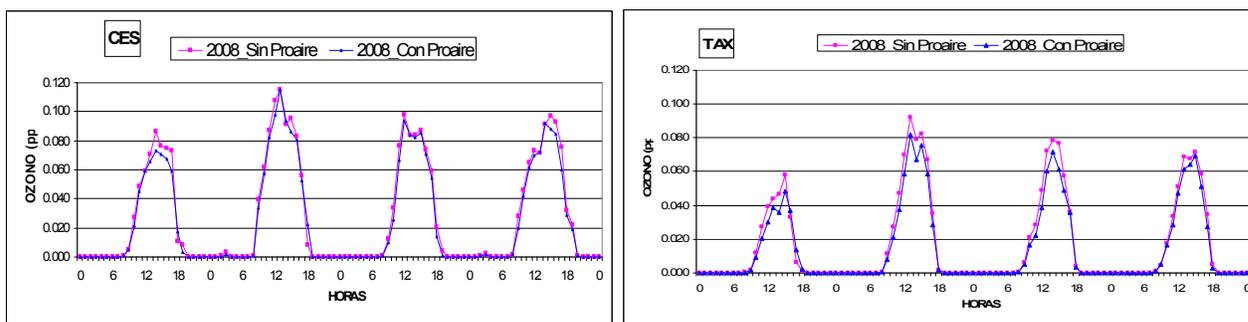
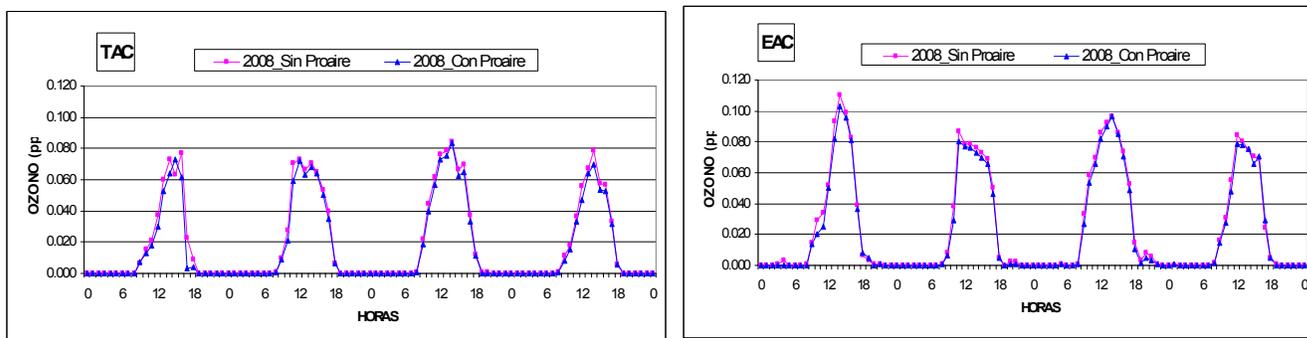


Figura 6.9. Comparación de las concentraciones horarias de los días 14, 15, 16 y 17 de febrero 2008 Con y Sin PROAIRE en las zonas suroeste, centro y sureste.

En la Figura 6.10 se muestra la comparación de la modelación de escenarios SIN PROAIRE y CON PROAIRE para el 2008 en algunos ejemplos de las zonas noreste y noroeste. Contrario a las gráficas presentadas para las zonas del sur y del centro, las diferencias en los escenarios no se aprecian y los valores son muy parecidos, sugiriendo que hay un mayor impacto traducido en reducción de concentraciones debido a las medidas del PROAIRE en las zonas sur y centro, lo cual es deseable ya que son las zonas que usualmente presentan las más altas concentraciones de ozono en la ZMCM.

Noroeste



Noreste

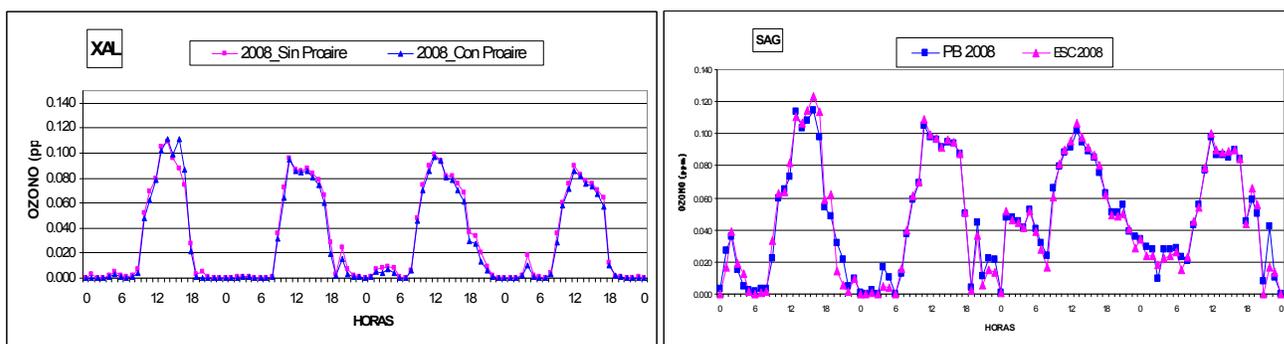


Figura 6.10 Comparación de las concentraciones horarias de los días 14, 15, 16 y 17 de febrero 2008 Con y Sin PROAIRE en las zonas noroeste y noreste.

Al realizar un análisis más preciso se observa que durante el periodo en el que comúnmente se monitorean las concentraciones más agudas de ozono (14 a 16 horas), la concentración máxima de este contaminante en el ESC2008 es mayor en 0.0031 ppm a las 14 horas y en 0.0035 ppm a las 16 horas, respecto a la PB2008 (Figura 6.11). La mayor generación de ozono en el ESC2008, se observa también en las horas subsiguientes a las 15 horas, pues a las 17 y 19 horas se tuvieron concentraciones máximas superiores al PB2008 en 0.00308 ppm y 0.0017 ppm respectivamente. Además de que el ozono residual (de las 20 a las 7 horas) del ESC2008, siempre es mayor en éste que en la PB2008.

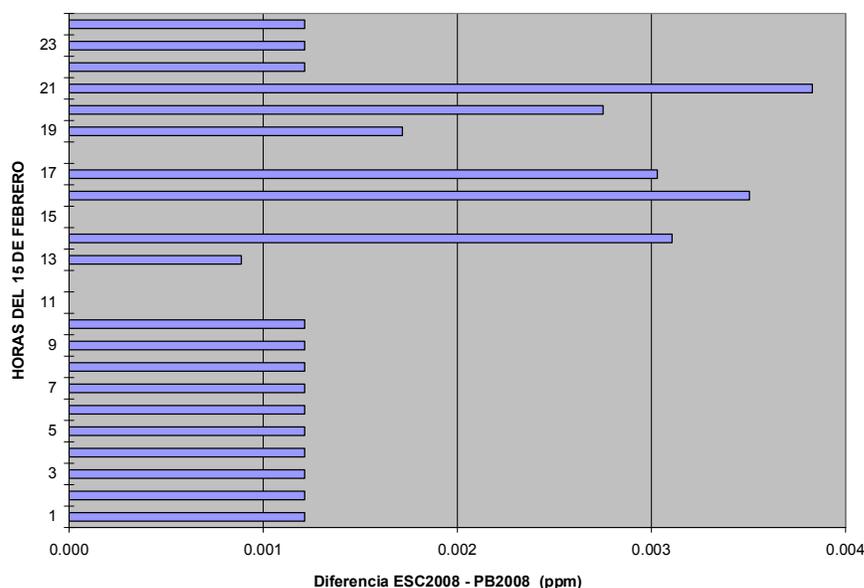


Figura 6.11. Diferencias entre las concentraciones horarias máximas del ESC2008 frente a la PB2008.

ESC2010 vs PB2010

Al igual que en el caso de los escenarios 2008, la diferencia al modelar estos dos escenarios fue un incremento de emisiones debido a las fuentes móviles, principalmente en las emisiones de vehículos a gasolina (Figura 6.12). En este sentido, respecto a la PB2010, en el ESC2010 las emisiones de vehículos a gasolina aumentaron en los COT 159 436 Kg/día (40%), en el CO 1 275,600 Kg/día (36%), y en los NOx 114 502 Kg/día (45%). Si se consideran todos los vehículos, el ESC2010 aumentó 153 866 Kg/día de COT (33%), 1 162 933 Kg/día de CO (31%) y 85 478 Kg/día de NOx (21%), respecto a la PB2010.

Nuevamente se observa en los ejemplos de modelación presentados, que en la zona suroeste, sureste y centro las diferencias son más grandes que en las zonas noroeste y noreste, lo cual implica que las medidas realizadas para reducir las concentraciones de ozono impactan más en las zonas que frecuentemente presentan mayores concentraciones de ozono en la ZMVM (Figura 6.13).

La comparación de las concentraciones de ozono en el ESC2010 frente a la PB2010 a las 15 horas, no mostró una diferencia substancial. No obstante, las diferencias diurnas más relevantes se observaron a las 12, 13, 16 y 17 horas, en las cuales las concentraciones máximas de ozono fueron superiores para el ESC2010 en 0.0013, 0.0022, 0.0017 y 0.0014 ppm respectivamente, en referencia a la PB2010.

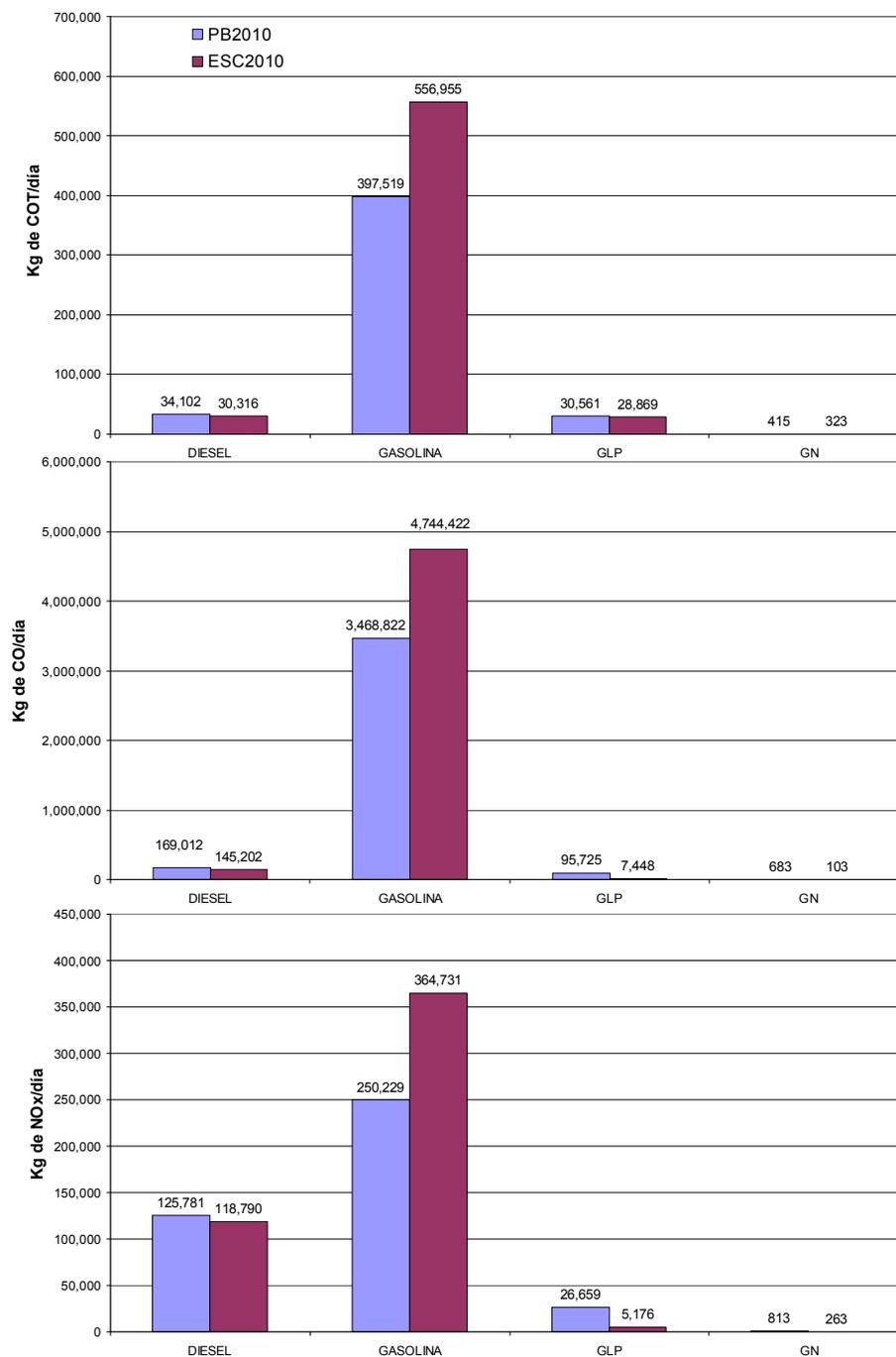


Figura 6.12. Diferencias en las emisiones de COT, CO y NOx del Escenario 2010 vs. PROAIRE 2010.

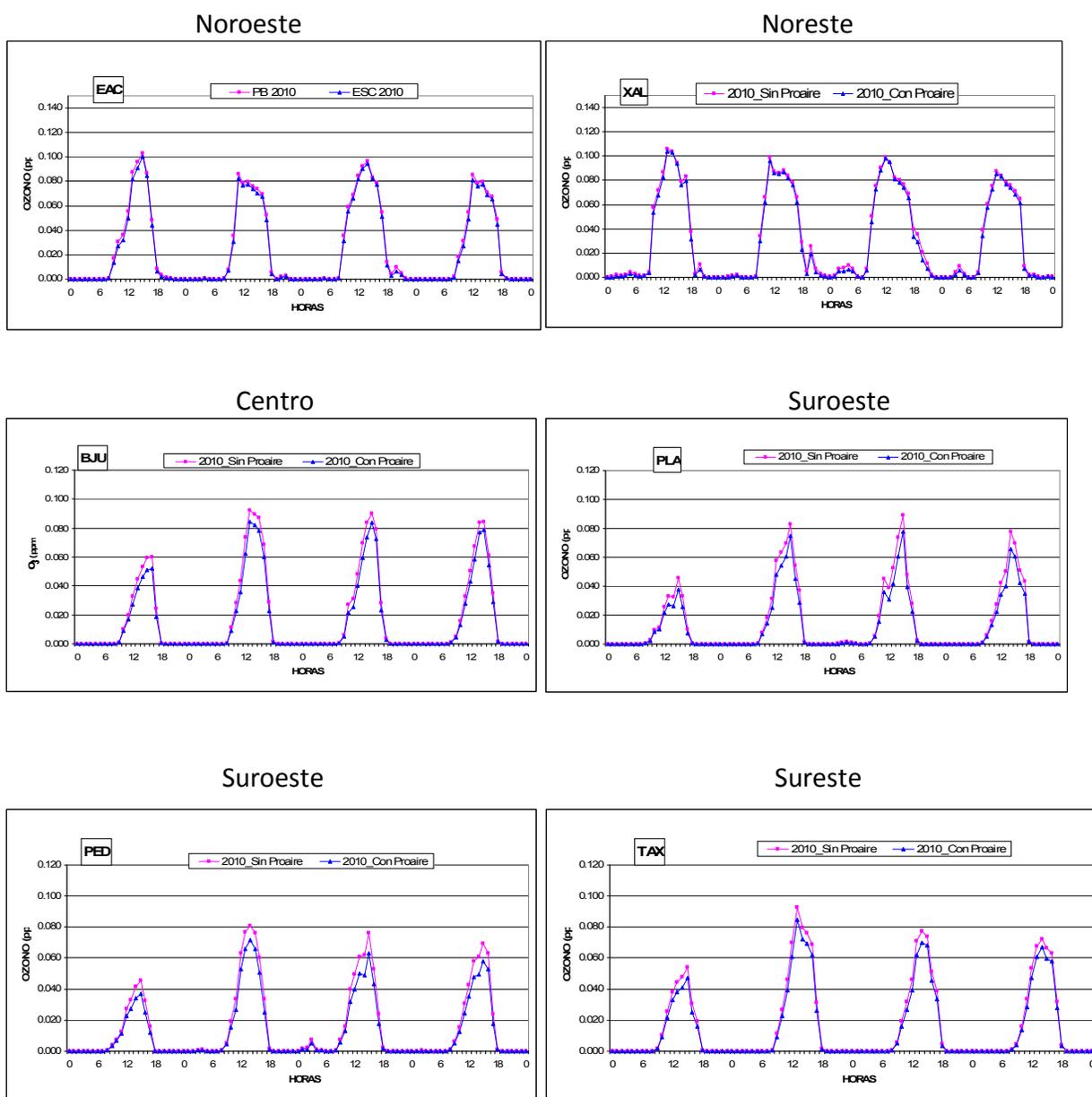


Figura 6.13 Comparación de las concentraciones horarias de los días 14, 15, 16 y 17 de febrero 2010 Con y Sin PROAIRE en la ZMVM.

Al igual que en el caso 2008, el ESC2010 en general presenta una mayor cantidad de ozono residual, diferencia que se aprecia más de las 20 a las 7 horas, en que consistentemente hay al menos 0.0011 ppm más de ozono que en la PB2010. En este sentido, dicha diferencia es mayor a las 20 horas, cuando alcanza las 0.0031 ppm (Figura 6.14).

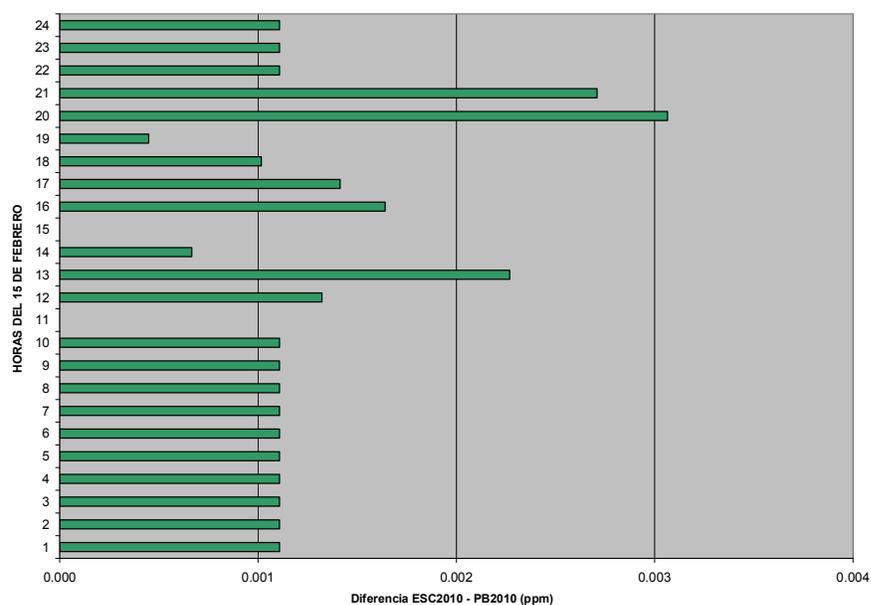


Figura 6.14. Diferencias entre las concentraciones horarias máximas del ESC2010 frente a la PB2010.

La Figura 6.15 muestra el mapa de concentraciones de ozono para la modelación del 15 de febrero de 2002 y las Figuras 6.16 y 6.17 muestran las modelaciones para 2008 Con PROAIRE y Sin PROAIRE. Aunque la resolución no permite apreciar mucho las diferencias, el mapa de ozono con las medidas Con PROAIRE muestra un área menor de concentraciones elevadas de ozono (zona roja y naranja). Las diferencias no se ven muy significativas debido probablemente a que aunque la reducción de NOx total es del 17.8%, la de COT es de apenas 5.6% del total de emisiones, por lo que la reducción de ozono, que también es pequeña no se alcanza a observar claramente.

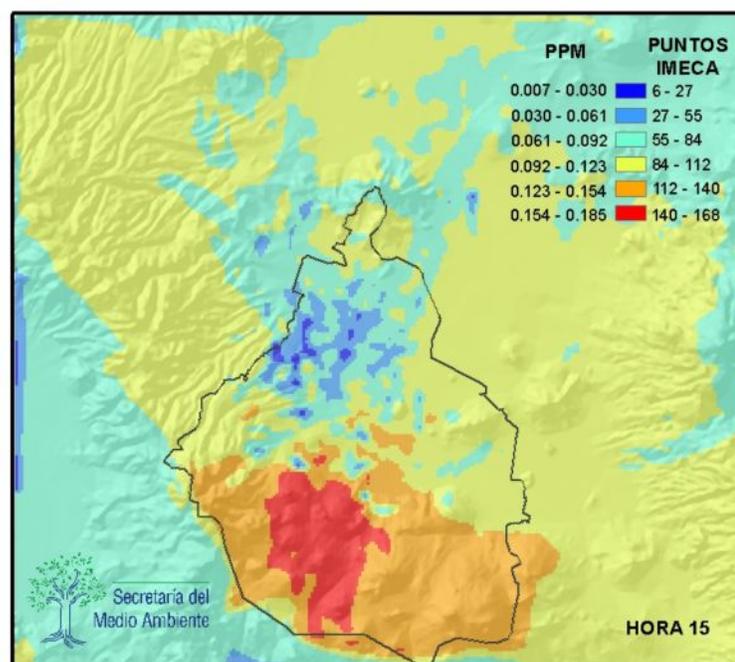


Figura 6.15 Modelación de concentraciones de ozono. Caso Base 2002.

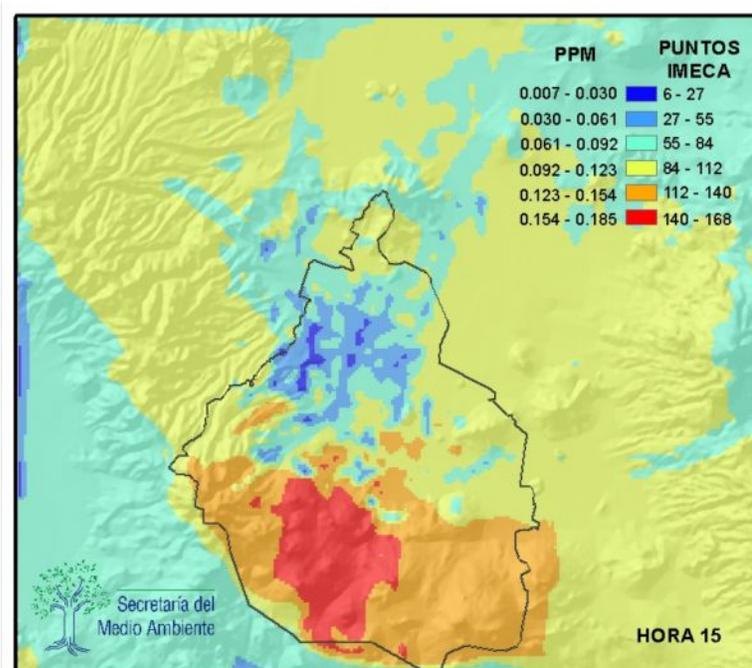


Figura 6.16. Modelación de concentraciones de ozono. 2008 Sin PROAIRE

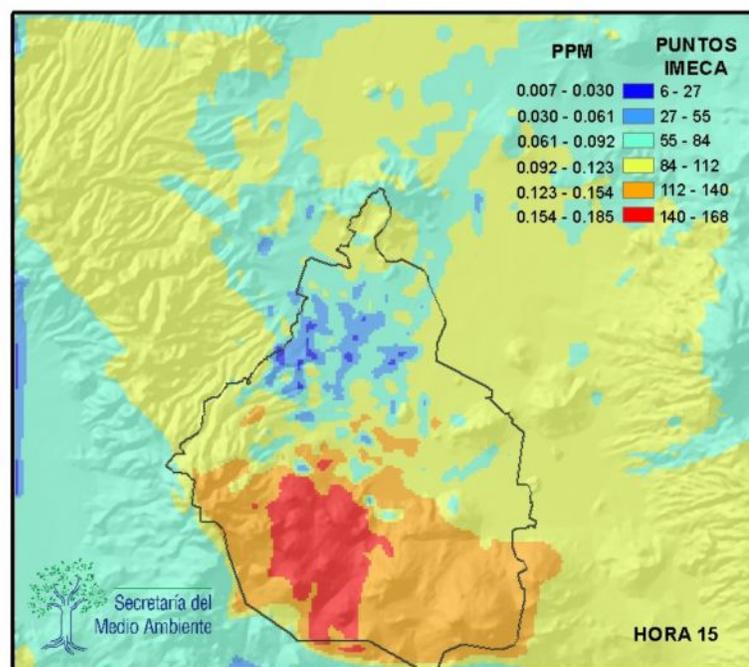


Figura 6.17. Modelación de concentraciones de ozono. 2008 CON PROAIRE

Las Figuras 6.18 y 6.19, muestran los mapas de concentración de ozono para la modelación de los escenarios en 2010, Sin PROAIRE y Con PROAIRE. De la misma forma que para el 2008, las diferencias no se aprecian claramente debido a que en este caso la disminución de NOx fue del 15% en total, pero las de COT solamente alcanzaron un 1.3% lo cual indica una muy poca disminución en los niveles de ozono.

Sin embargo, si se observa con atención, nuevamente las áreas con altas concentraciones de ozono han disminuido en el escenario Con PROAIRE.

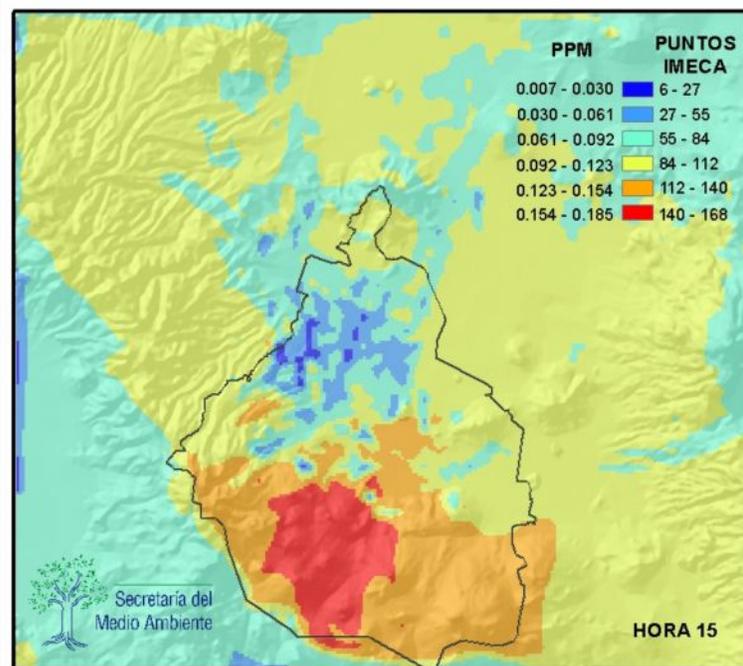


Figura 6.18. Modelación de concentraciones de ozono. 2010 Sin PROAIRE

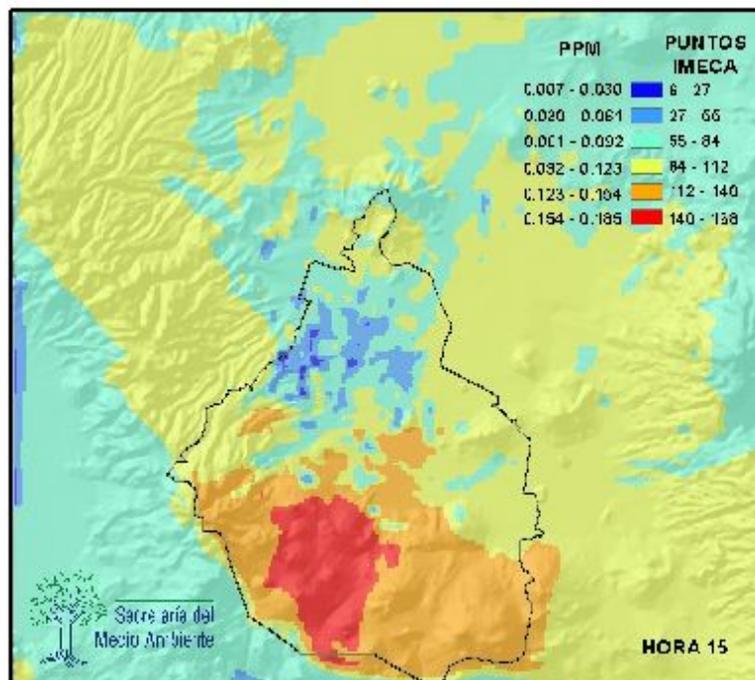


Figura 6.19. Modelación de concentraciones de ozono. 2010 Con PROAIRE

Cambios en la concentración de ozono

Con el fin de constatar los resultados de la modelación de escenarios de calidad del aire derivados del uso del MCCM, se analizaron los mapas obtenidos de manera diferencial y a partir de este análisis se generaron las superficies de interpolación mediante el método geoestadístico de interpolación de Kriging, es decir, se realizó la resta de las concentraciones en cada zona del mapa para el caso Con PROAIRE y el caso SIN PROAIRE y se obtuvo el mapa que muestra la diferencia en concentraciones de ozono (reducciones) cuando se aplica o no el PROAIRE 2002-2010.

De esta manera, en la Figura 6-20 se pueden observar las reducciones en las concentraciones contaminantes en la zona de estudio, las cuales presentan diferencias dependiendo del día modelado debido a los cambios en la meteorología. Los mapas A, B y C muestran las reducciones obtenidas en las concentraciones de ozono aplicando las medidas del PROAIRE para el año **2008** (colores azul y amarillo), las zonas con mayor reducción se observan en el color azul intenso. Ninguna zona presentó incrementos.

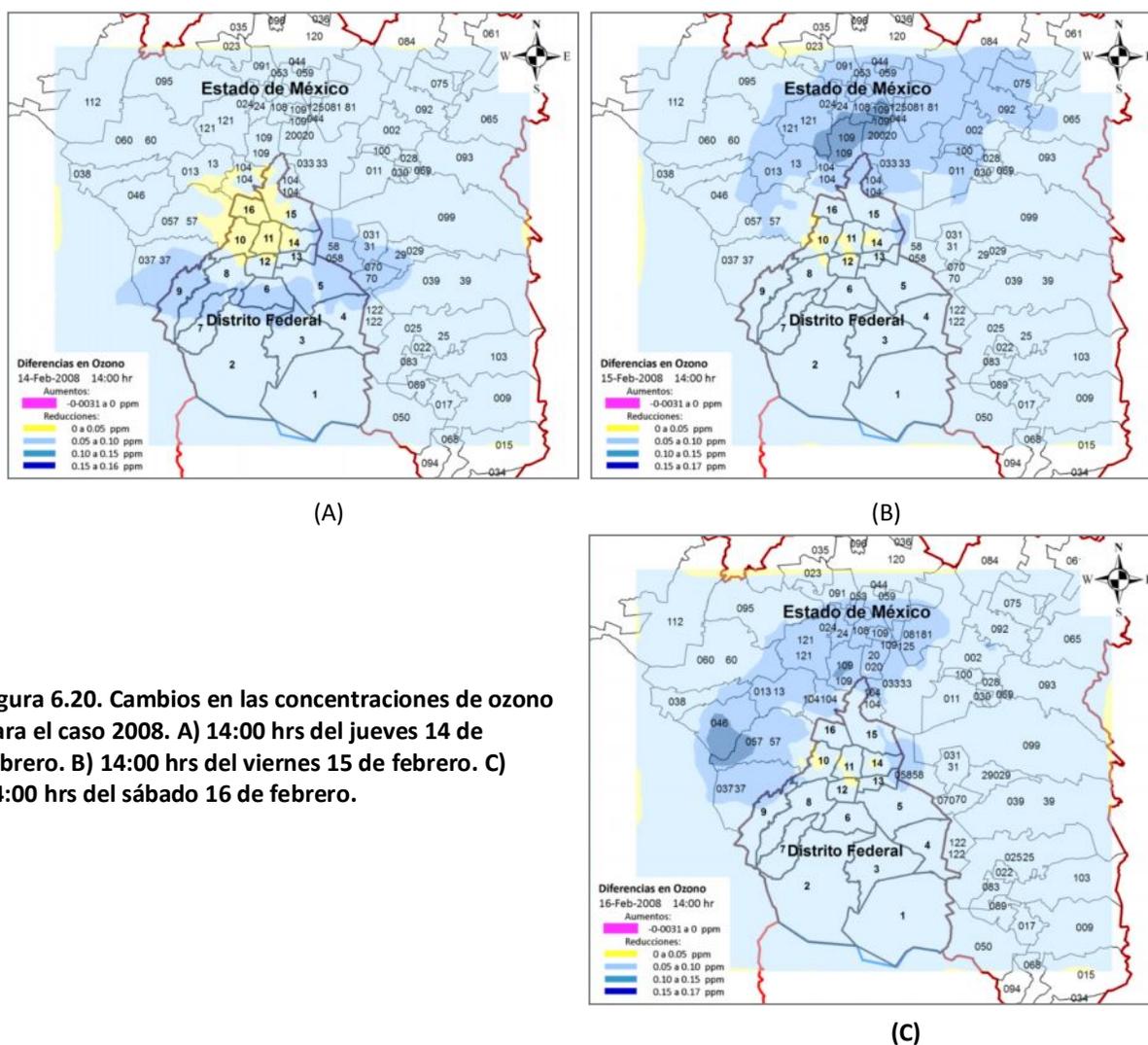


Figura 6.20. Cambios en las concentraciones de ozono para el caso 2008. A) 14:00 hrs del jueves 14 de febrero. B) 14:00 hrs del viernes 15 de febrero. C) 14:00 hrs del sábado 16 de febrero.

Al comparar las imágenes de la Figura 6-20 con los mapas de concentración de ozono en el escenario 2002 modelados para los mismos días (Figura 6.21), se puede observar que las mayores reducciones se generaron en las zonas en las que se tenían las concentraciones más altas.

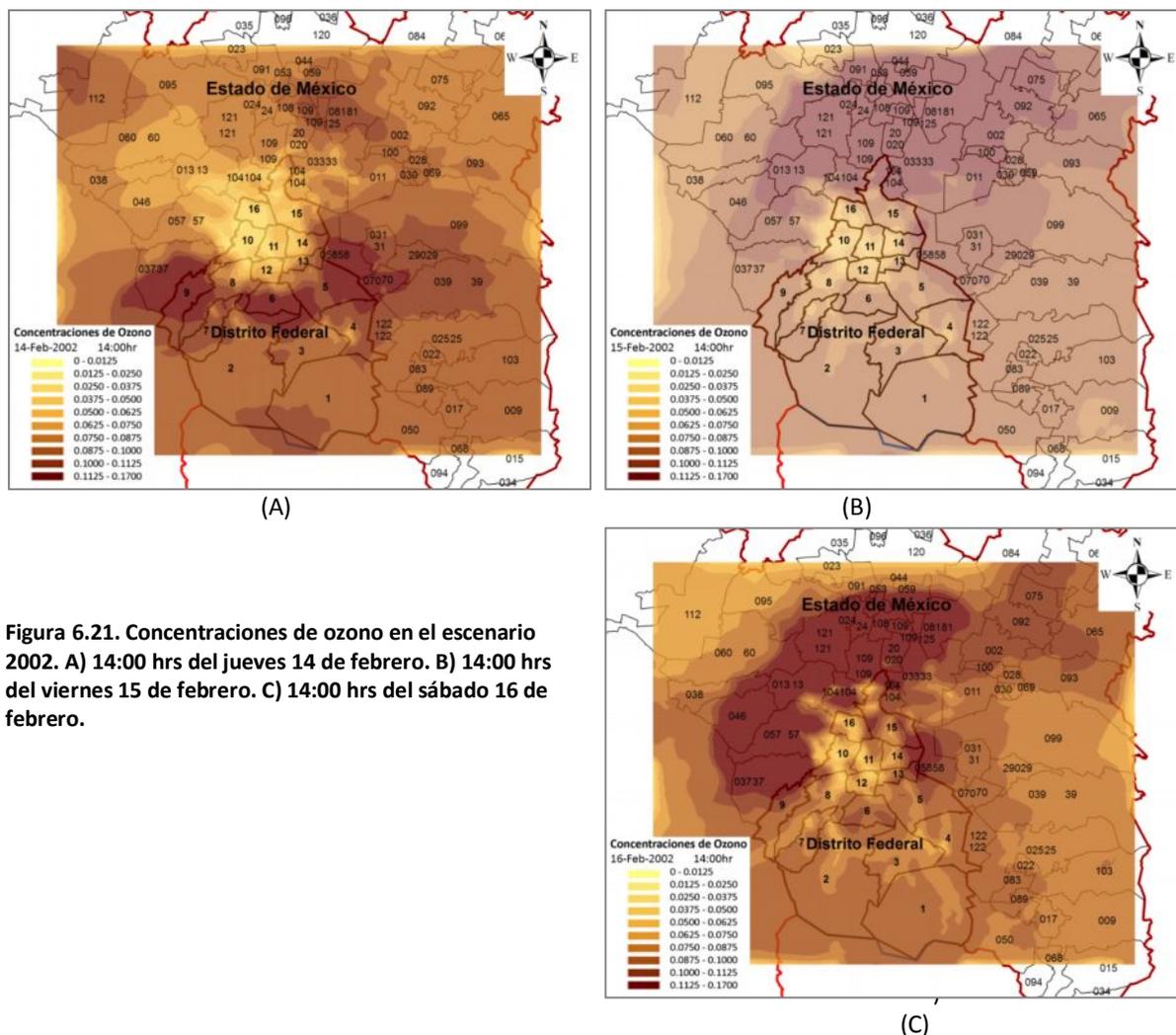


Figura 6.21. Concentraciones de ozono en el escenario 2002. A) 14:00 hrs del jueves 14 de febrero. B) 14:00 hrs del viernes 15 de febrero. C) 14:00 hrs del sábado 16 de febrero.

Para el caso del año 2010, aunque los cambios son similares al 2008 (Figura 6.22), se observan regiones con un azul más intenso que implica mayores reducciones. Nuevamente se aprecia que dependiendo del día modelado la intensidad de las reducciones en la ZMVM cambia de sitio debido al cambio en las condiciones meteorológicas.

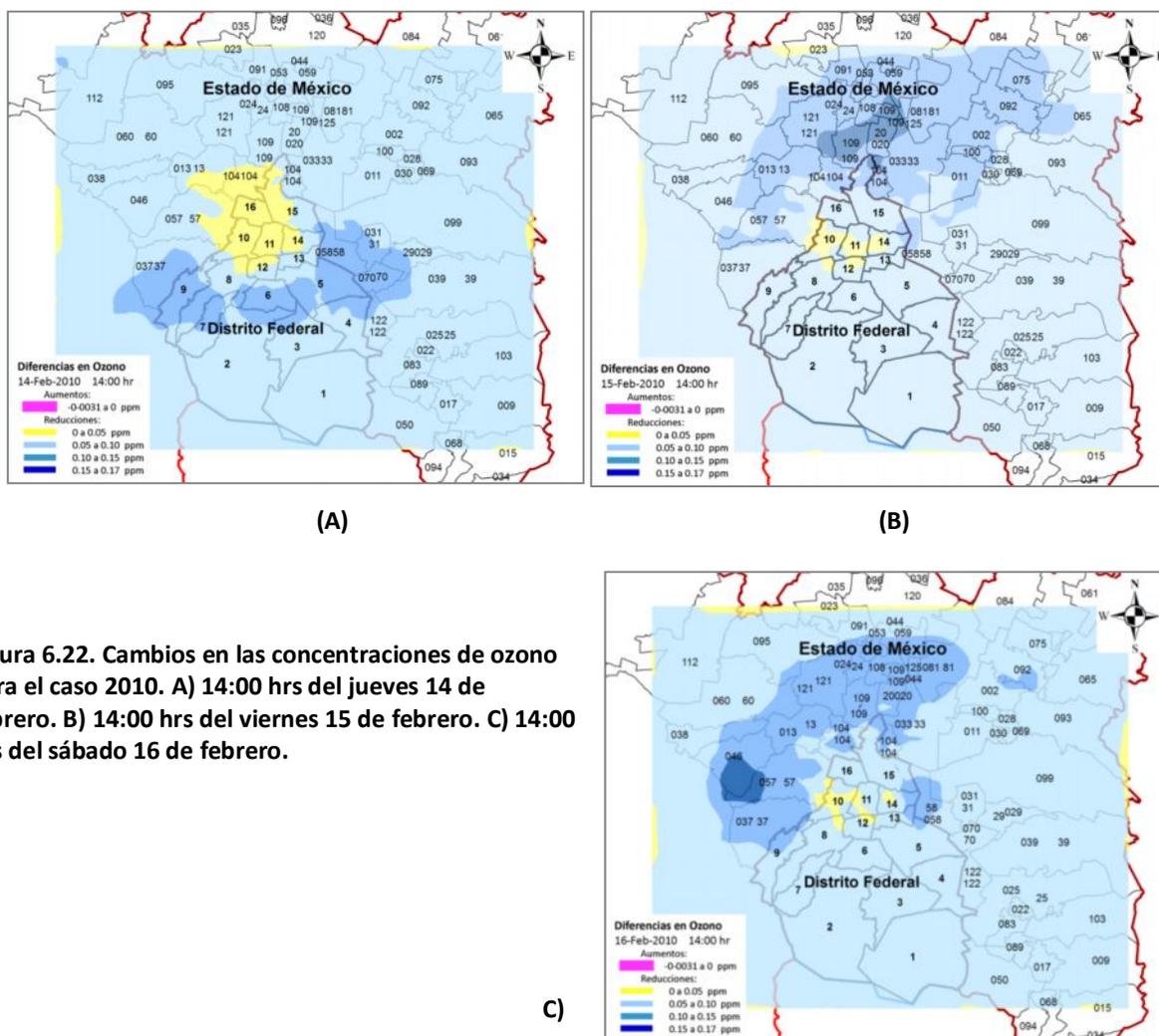


Figura 6.22. Cambios en las concentraciones de ozono para el caso 2010. A) 14:00 hrs del jueves 14 de febrero. B) 14:00 hrs del viernes 15 de febrero. C) 14:00 hrs del sábado 16 de febrero.

Cambios en la concentración de PM_{10}

El mismo procedimiento se empleó para identificar las reducciones en las concentraciones de PM_{10} . La Figura 6.23 muestra los cambios en las concentraciones de este contaminante para el escenario 2008 y el escenario modelado de 2010, a las 14:00 hrs del día 14 de febrero. Se observa que para el año 2008 hay zonas con aumento de concentraciones para el día modelado (superficie gris), sin embargo para el 2010 toda la ZMVM presenta menores concentraciones de este contaminante. Un efecto similar se observa en el día 15 de febrero (Figura 6.24).

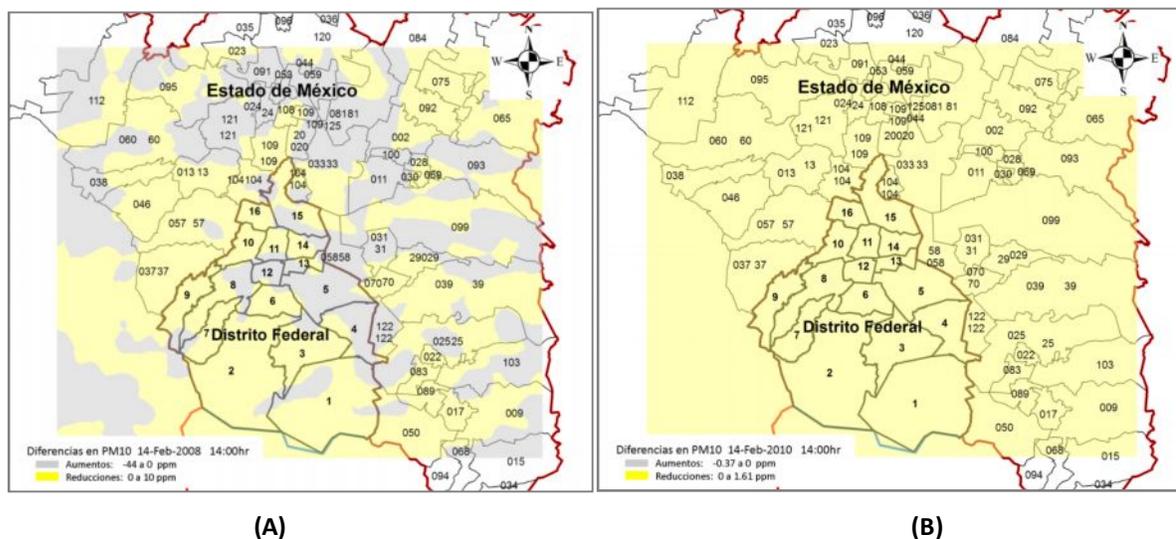


Figura 6.23. Cambios en las concentraciones de PM_{10} a las 14:00 hrs del 14 de Febrero. A) Caso año 2008. B) Caso año 2010.

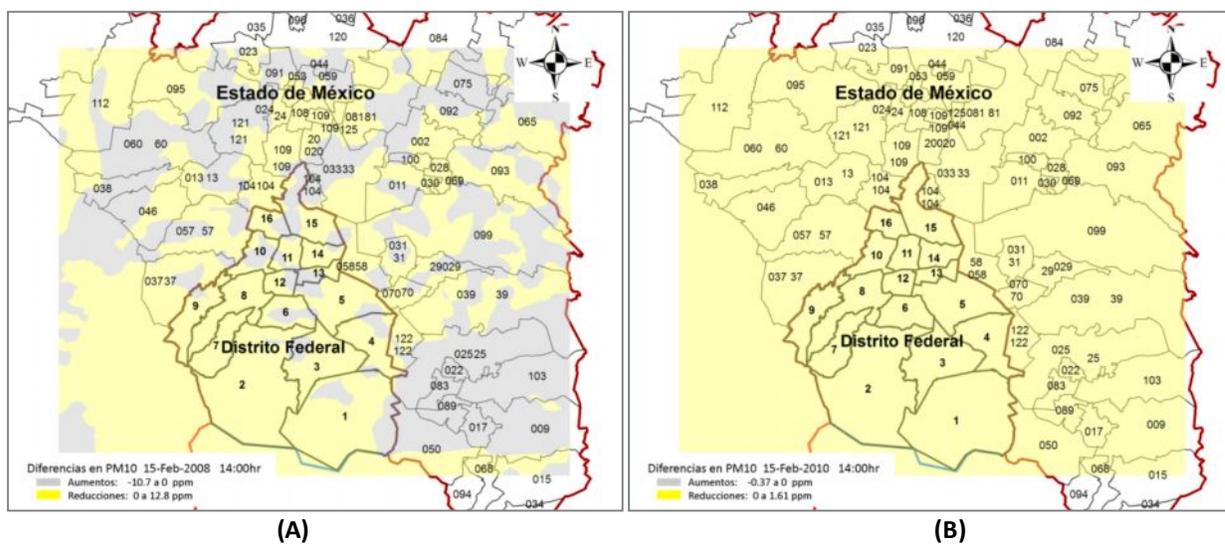


Figura 6.24. Cambios en las concentraciones de PM_{10} a las 14:00 hrs del 15 de Febrero. A) Caso año 2008. B) Caso año 2010.

Conclusiones y Recomendaciones.

La modelación de escenarios Sin PROAIRE, ESC2008 y ESC2010 estimó concentraciones de ozono, superiores a los escenarios Con PROAIRE PB2008 y PB2010. Cuando se realizó el análisis puntual en las diferentes estaciones se observó que para los días modelados las concentraciones disminuyeron más en la zona suroeste, sureste y centro donde se apreciaron para ambos escenarios las diferencias de hasta 0.02 ppm de ozono, principalmente en los máximos, por el contrario, las zonas noroeste y noreste no mostraron cambios importantes ni en los máximos, ni en las concentraciones horarias.

Cabe mencionar que a pesar de las evidentes diferencias entre las emisiones que se determinaron para 2008 y 2010 aplicando las medidas del PROAIRE 2002-2010, frente a las que se hubieran tenido sin las

medidas del PROAIRE 2002-2010, el modelo MCCM en su plataforma visual es poco sensible para mostrar las reducciones alcanzadas en las concentraciones de ozono, debido a que las diferencias entre las concentraciones de los dos escenarios son pequeñas, por lo que se sugiere que se comience a utilizar otro modelo con mayor sensibilidad. Sin embargo, cuando se muestran solamente las diferencias entre las áreas para los escenarios Con y Sin PROAIRE, las reducciones fueron evidentes para 2008 y 2010 en el caso del ozono, principalmente en las zonas que en 2002 presentaban altas concentraciones del contaminante. Para las PM_{10} se aprecia que aunque para el 2008 ya hay importantes superficies que muestran reducciones, la disminución de partículas en toda la ZMVM se alcanza hasta el año 2010.

6.4 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

- CAM. Comisión Ambiental Metropolitana. 2002. Programa para mejorar la calidad del aire de la Zona Metropolitana del Valle de México (PROAIRE 2002-2010). México.
- CAM. Comisión Ambiental Metropolitana. (2004). Programa para mejorar la calidad del aire de la Zona Metropolitana del Valle de México (PROAIRE) 2002-2010-Informe Ejecutivo de Avances 2002-2003. México.
- Forkel, R., & García, A. 2003. Manual del Multiscale Climatic Chemistry Model (MCCM). México.
- Márquez J., Sánchez J, Andressen R. 2001. Comparación de varios métodos para la representación cartográfica de información climática. Bioagro 13-1: 39-46.

7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Resulta indiscutible que las estrategias, medidas y acciones llevadas a cabo durante el período del PROAIRE 2002 han conducido a una mayor protección de la salud de los habitantes de la ZMVM. Los niveles de concentración de la mayoría de los contaminantes criterio se redujeron considerablemente, lo que significa una mejor calidad del aire en la ZMVM.

Los estudios de salud han mostrado que durante los primeros años de implementación del PROAIRE 2002-2010 disminuyó la mortalidad y morbilidad de la población en la ZMVM. Así mismo, muestran que si en el futuro se cumplieran las normas de salud de ozono y PM₁₀ el beneficio en salud sería más del doble al alcanzado.

7.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES RELACIONADAS CON EL ALCANCE DE LOS OBJETIVOS Y LAS METAS DE CALIDAD DEL AIRE Y SALUD DEL PROAIRE 2002-2010.

Los objetivos y metas del PROAIRE 2002-2010 se enfocaron a la reducción de los niveles de concentración de los contaminantes criterio, así como a la protección de los grupos vulnerables, con el propósito de proteger la salud de los habitantes de la ZMVM de los efectos nocivos de la contaminación del aire.

En este sentido, las tres metas establecidas para el PROAIRE 2002-2010 relacionadas con el ozono, se cumplieron al eliminarse las concentraciones mayores a 200 IMECA, reducirse el número de días con concentraciones entre 101-200 IMECA en un 36% e incrementarse el número de días dentro de norma casi en un 40%. Asimismo el número de horas en que se rebasó la norma se redujo en 64% pasando de 1 297 a 466 horas.

Las metas contempladas para partículas también se cumplieron, puesto que se aumentó el número de días en que las concentraciones de PM₁₀ estuvieron dentro de la norma, a pesar de que en el período se redujo el valor de la norma de 150 a 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y se redujo también el promedio anual de las concentraciones de PM₁₀. Por otra parte, se estableció la norma para PM_{2.5} cuyo promedio anual ha ido disminuyendo gradualmente.

Respecto a los demás contaminantes, casi todas las metas planteadas se alcanzaron. No se rebasó ningún día la norma del precursor de ozono NO₂, además de eliminarse los eventos extraordinarios de este contaminantes en los últimos años. Las concentraciones de monóxido de carbono no han excedido la norma desde el 2002 y sus niveles se han reducido en el período un 40%, sin embargo no se ha logrado establecer la norma de 9 ppm (8 horas).

Ningún día, desde el año 2003 se ha excedido la norma para SO₂ y se redujo la concentración promedio anual, aunque no han logrado eliminarse por completo los eventos extraordinarios.

Se recomiendan las siguientes metas y objetivos para el siguiente PROAIRE:

- Seguir priorizando las reducciones de ozono PM₁₀ y PM_{2.5}.
- Para el ozono, la meta a diez años deberá ser el cumplimiento de las normas todos los días del año, con énfasis en el cumplimiento del límite permisible de 0.08 ppm para el quinto máximo (concentración promedio móvil de 8 horas). Considerar la reducción de la norma horaria de 0.11 ppm.
- En este mismo sentido deberá haber una fuerte estrategia de reducción de COVs, hidrocarburos y NO₂ (aunque ya no se rebase la norma) con el fin de alcanzar los objetivos de reducción para el ozono, por lo que, dentro de estas estrategias debe considerarse la disminución del nivel normado de NOx y NO₂.
- En cuanto a las PM₁₀ y PM_{2.5}, las metas a 10 años deberán ser el cumplimiento al 100% de las normas tanto de promedio diario como de promedio anual en todas las estaciones de la ZMVM, eliminar la presencia de picos horarios, establecer los IMECA para PM_{2.5} y los métodos de referencia y equivalentes para ambos tamaños de partícula.
- Eliminar los eventos extraordinarios de SO₂ en todas las estaciones de la ZMVM y considerar la reducción del valor de la norma.
- Establecer la norma de CO en 9 ppm.
- Para proteger la salud de la población, se deberá incrementar la cobertura del SIMAT a los 59 municipios conurbados, principalmente en zonas industriales, zonas con alto grado de erosión y zonas con incidencia en incendios forestales. Así mismo, se deberán realizar estudios de exposición anuales para toda la población de la ZMVM.
- Es necesario considerar la inclusión del monitoreo de algunas sustancias tóxicas tanto en forma gaseosa como contenidas en partículas suspendidas, principalmente aquellas con potencial cancerígeno. Esto con base en los resultados aportados por el inventario de sustancias tóxicas, así como de los aportados por los múltiples estudios de investigación realizados durante el período de evaluación. Así mismo es importante realizar el seguimiento de la presencia espacial y temporal de algunos tóxicos, a través de proyectos de investigación promovidos con la academia.
- Es necesario equipar al SIMAT con equipos de nefelometría para la determinación cuantitativa de la visibilidad en la ZMVM.
- Es necesario realizar un mayor número de estudios epidemiológicos y de riesgo a la salud relacionados con la contaminación ambiental, para determinar con mayor precisión los beneficios en la reducción de los índices de mortalidad y morbilidad, así como de su costo en servicios de salud.
- Para cumplir con la recomendación anterior, será necesario establecer un sistema de información (de preferencia certificado, o al menos con un proceso de validación de datos) en los hospitales y centros de salud, de manera que se cuente con registros exactos sobre la incidencia de enfermedades en la ZMVM.
- Promover la participación creciente de la academia en el desarrollo de estudios relacionados con la calidad del aire y su control.
- Realizar estudios costo-beneficio, que consideren además del gasto los beneficios económicos de contar con una población saludable.
- Realizar estudios costo-beneficio que además de determinar el gasto asociado a servicios de salud, estimen la pérdida económica por inasistencias y pérdida de productividad.

- La mayoría de las metas propuestas requerirán una asignación de recursos importante, tanto para el equipamiento en la red de monitoreo, como para la realización de estudios que sustenten el conocimiento científico y fundamenten la toma de decisiones.

7.2 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES SOBRE EL CUMPLIMIENTO Y LAS REDUCCIONES DE LAS MEDIDAS DEL PROAIRE 2002-2010

Recomendaciones y conclusiones relacionadas con Vehículos y Transporte

Las mayores reducciones alcanzadas en emisiones del sector de vehículos y transportes se relacionan con el grupo de medidas asociadas al grupo de “Control Vehicular”. El control de las emisiones de los autos de mayor edad con el programa de verificación, el programa HNC, la sustitución de convertidores y el retiro de vehículos ostensiblemente contaminantes, son ejemplo de los avances alcanzados, sin embargo, es necesario seguir impulsando la sustitución de los autos de mayor edad por autos nuevos, comenzando por el sector gobierno que ha sustituido pocas unidades. Es importante reforzar la normatividad y vigilancia relacionada con vehículos usados de origen extranjero para que realicen la verificación vehicular obligatoria (medida 10).

Considerando las reducciones significativas alcanzadas por la medida relacionada con la sustitución de taxis, es fundamental no perder de vista a estas unidades y seguir promoviendo la sustitución y chatarrización de unidades viejas e insistir en las bases de taxis para evitar que circulen sin pasaje.

Para lograr una mayor reducción en las emisiones de vehículos y transportes, es impostergable la introducción de los combustibles de ultrabajo azufre que permitan la introducción de las últimas tecnologías anticontaminantes en los vehículos, por lo que se deberá insistir con PEMEX en cuanto al cumplimiento de esta medida.

Dentro de los grupos de “Transporte y Vialidad”, es necesario seguir impulsando acciones relacionadas con la infraestructura vial y corredores de transporte, accesibles tanto a vehículos privados como al transporte público, así como el incremento de transporte público de alta capacidad, eficiente, seguro y poco contaminante como el metro, las unidades RTP, el metrobús, el mexibús y el transporte eléctrico. Para ello y para lograr un mayor ordenamiento de la vialidad de la ZMVM, debe seguir promoviéndose una mayor sustitución de los microbuses por transporte de alta capacidad que la prevista en la medida 9 y que solamente alcanzó un avance del 16%. Para esto, serán de gran utilidad los estudios finalizados sobre movilidad y transporte realizados durante el período de evaluación (medida 29) al igual que el registro estatal de transporte público del Estado de México (medida 31), mismo que debe integrarse con el Distrito Federal y actualizarse frecuentemente.

El cumplimiento de la medida 17, relacionada con un corredor para pruebas piloto, permite que se continúen realizando pruebas sobre nuevas tecnologías vehiculares menos contaminantes principalmente en vehículos de transporte público. Aunque ya se cuenta con la normatividad para la prueba y certificación de aditivos, habrá que continuar con una normatividad para prueba y certificación de dispositivos anticontaminantes (medida 11).

El reto más importante sigue siendo que el transporte de alta capacidad, como el metro y el tren suburbano, sea accesible a la mayor parte de la población. Que cuente con una infraestructura y paraderos seguros y con transferencias de fácil acceso, que incentiven a los propietarios de autos

privados y/o usuarios de microbuses a modificar su forma de transporte. Quedaron pendientes las acciones relacionadas con la regulación ambiental de autos extranjeros usados y con la regulación del transporte de carga.

La promoción del uso de la bicicleta, y el desarrollo de actividades que impulsen a la población a su uso, son acciones importantes ya que no solamente se promueve un medio de transporte no contaminante, sino que además genera una conciencia de participación ciudadana para lograr un mejor ambiente.

La concertación política entre las entidades será fundamental para alcanzar acuerdos que permitan la homologación en el servicio y costo del transporte público de baja, mediana y alta capacidad para que la ZMCM cuente con un sistema de transporte público unificado.

Se recomienda la realización de estudios costo-beneficio y de percepción en la población sobre los posibles cambios en el uso de transporte (privado a público, de baja capacidad a alta capacidad, etc.). Estudios que consideren los costos en tarifas y combustibles y, principalmente, que consideren el traslado entre ambas entidades. Se requiere que la información relacionada con el uso de la infraestructura vial de las nuevas vialidades y libramientos, así como con el uso del tren suburbano esté disponible, ya que no es posible realizar estimaciones sin conocer aforos vehiculares, número de viajes y usuarios, etc. En general persiste una falta de información "oficial", principalmente en el Estado de México.

Finalmente, los futuros programas de calidad del aire deberán profundizar y considerar no solamente las emisiones de contaminantes criterio, sino también de los contaminantes tóxicos y de gases de efecto invernadero (considerando que ya se cuenta con inventarios de compuestos tóxicos, compuestos orgánicos volátiles y de gases de efecto invernadero, además del de contaminantes criterio). Estos programas deberán también diseñar las estrategias y medidas de reducción comunes para lograr disminuir todas las emisiones. Para ello, es necesario que la información se actualice lo más frecuentemente posible y tener la posibilidad de obtener estimaciones y evaluaciones más precisas.

Recomendaciones y conclusiones relacionadas con Industria

La crisis económica presente en el país dificultará en los próximos años el avance de las medidas relacionadas con el mejoramiento ambiental de las industrias. El incentivo actual de la exención no es suficiente, ni tampoco lo son los estímulos fiscales para que la empresa mediana y grande se incorpore a la autorregulación y realice modificaciones para ser una industria más limpia. Será necesario incorporar nuevos esquemas y estímulos, así como impartir seminarios y cursos costo-beneficio para que puedan sumarse la industria pequeña y la microempresa a la aplicación de medidas de control y ahorro de energía.

En el diseño del próximo Programa de Calidad del Aire, se deberá incorporar el impacto de estrategias y medidas en la reducción, no solamente de contaminantes criterio, sino también de contaminantes tóxicos, considerando que ya se cuenta con un inventario de dichas emisiones. Así mismo, deberán considerarse los impactos que habría en la emisión de gases de efecto invernadero, lo cual apuntaría al aprovechamiento de otras fuentes de energía en procesos industriales sustentables y no contaminantes.

Es muy importante contar con información periódica, actualizada e integrada de las distintas entidades para lograr una mayor certidumbre en la estimación de las emisiones debidas a las fuentes fijas. En el caso de las termoeléctricas es imperativo tener estudios fidedignos sobre sus sistemas de control de contaminantes, sus emisiones a la atmósfera y la forma en que están impactando a toda la ZMVM.

Recomendaciones y conclusiones relacionadas con Servicios

De la misma forma en que se hizo la recomendación para la industria, es importante que la CAM fomente y promueva medidas para que sea rentable la mejora en el desempeño ambiental en el Sector de Servicios. La capacitación, el fomento y los estímulos para la autorregulación deben ser medidas importantes en el futuro para que este sector disminuya sus emisiones a la atmósfera. Las fuentes de área de este sector están experimentando un crecimiento importante y será necesario emitir normas que obliguen al control de emisiones principalmente de COVs.

La medida más exitosa de este sector fue la relacionada con la recuperación de vapores de las estaciones de servicio con reducciones de COVs superiores a 13 000 ton/año, lo cual muestra la importancia en la regulación de las fuentes de área.

Es necesario que se lleve a cabo una homologación de las normas establecidas en el Distrito Federal con el Estado de México, principalmente en el caso de la medida relacionada con las estaciones de servicio que ya probó su eficiencia durante este PROAIRE, y en el de la medida relacionada con la disminución de fugas de Gas LP.

Tanto para el Distrito Federal como el Estado de México, la promoción del uso de la energía solar en sustitución de combustibles fósiles, deberá ser una prioridad en el futuro, puesto que además representará importantes reducciones de gases de efecto invernadero.

Las medidas 6 y 7, relacionadas con pedreras y ladrilleras, pueden representar una disminución muy importante de emisión de partículas a la atmósfera, por lo que deben ser retomadas, además de que es necesaria la realización de estudios relacionados con la emisión de contaminantes tóxicos en las tabiquerías.

Lo anterior, pone nuevamente de manifiesto la necesidad de que en el próximo Programa de Calidad de Aire se consideren los beneficios que diferentes estrategias y medidas representan en la reducción no solo de las emisiones de contaminantes criterio, sino también de contaminantes tóxicos y de gases de efecto invernadero.

Conclusiones y Recomendaciones relacionadas con la Conservación de Recursos Naturales

Es prioritario el cumplimiento estricto de la normatividad en cuanto al ordenamiento ecológico, uso de suelo y contención de la mancha urbana.

Ha habido una recuperación importante de áreas verdes en la ZMVM, tanto de zonas urbanas como de rurales y de áreas naturales protegidas. Este aumento de la cobertura vegetal, además de la producción de oxígeno y absorción de carbono, retiene e infiltra agua, reduce la erosión del suelo y contribuye a la remoción de contaminantes, sin embargo es necesaria la recuperación de una mayor superficie.

Es necesario incrementar los esfuerzos y las acciones para el manejo y conservación de las ANP, por lo que se requiere estrechar los vínculos entre las entidades de la ZMVM para fortalecer la protección y restauración de dichas áreas principalmente en la prevención y combate de incendios forestales.

En ambas entidades se requiere continuar con planes de reforestación en las zonas más erosionadas y establecer programas para la conservación y reproducción de fauna nativa. Es necesario continuar con los apoyos y mecanismos compensatorios a campesinos y propietarios rurales que presten servicios ambientales, ya que el cuidado y protección de los suelos rurales y de conservación coadyuva en la recarga de acuíferos y en la reducción de contaminantes atmosféricos.

Es imprescindible que en el futuro programa de Calidad de Aire, se realice la estimación conjunta de la absorción de gases de efecto invernadero y de la absorción y retención de contaminantes criterio que se lleva a cabo en zonas forestales, suelos de conservación, áreas naturales protegidas y en general por cualquier cobertura vegetal, con el fin de que la conservación de los recursos naturales sea considerada también como una inversión rentable que pueda ser cuantificada en un análisis costo-beneficio.

Se necesitan realizar estudios para establecer (con una metodología que ofrezca mayor certidumbre) la contribución de los suelos erosionados en la ZMVM a la presencia de partículas atmosféricas. Así mismo, se necesita desarrollar una metodología para estimar las emisiones de contaminantes criterio como consecuencia de los incendios forestales, de forma similar a la que se realiza para la emisión de gases de efecto invernadero.

Para poder realizar las estimaciones cuantitativas de los beneficios ambientales alcanzados por las acciones realizadas, será necesario contar con informes anuales de ambas entidades sobre los resultados precisos alcanzados en la recuperación de suelos de conservación, agrícola y áreas naturales protegidas, así como de la reducción de suelos erosionados,.

Conclusiones y Recomendaciones relacionadas con salud

La revisión de los niveles normados de los contaminantes criterio deberá ser sistemática y constante. Se puede proponer en el corto plazo la actualización de las normas de CO, NO₂ y SO₂ a los estándares internacionales de la OMS o la EPA-California.

Es importante realizar más estudios y difundir los resultados de aquellos ya terminados que vinculan el costo de las enfermedades producidas o agravadas por la contaminación ambiental con la pérdida de productividad y capital humano, para que tanto el sector privado como el público tomen conciencia y puedan estimar cuantitativamente el beneficio de realizar acciones e invertir en medidas de control para reducir las emisiones contaminantes.

Por otra parte, es urgente contar con estudios y datos de niveles de los contaminantes tóxicos, factores de emisión de sus fuentes (vehiculares, o fijas) y posibles daños a la salud, para establecer instrumentos, recomendaciones o normas para disminuir el riesgo a la salud de la población.

Los futuros programas de gestión de calidad del aire deben incluir programas de monitoreo de los contaminantes tóxicos presentes en la ZMVM.

Conclusiones y Recomendaciones relacionadas con Educación Ambiental

La educación ambiental debe ser incluida formalmente en todos los niveles de educación escolar. Para ello, puede convocarse a las instituciones de educación para que retomen la Agenda de Educación Ambiental en la ZMVM.

Es necesario continuar e incrementar los cursos de capacitación y promoción ambiental en todos los sectores de la sociedad, para lo cual los instructores deberán profesionalizar sus conocimientos en materia ambiental.

La educación ambiental informal dirigida a la ciudadanía deberá desarrollarse de manera permanente, a través de campañas masivas pues es la base para lograr la participación total de la sociedad y lograr alcanzar el desarrollo sustentable de la ZMVM.

Se deben realizar convenios con radio y televisión para la difusión de conocimientos actualizados sobre contaminación atmosférica, así como de campañas enfocadas a la modificación de actitudes que

proporcionen una mayor conciencia y convoquen a la población al cambio de hábitos y comportamientos que contribuyan a un medio ambiente saludable.

La promoción de campañas de uso de la bicicleta y la caminata, tanto en el Distrito Federal como en el Estado de México, es importante, no solamente como una alternativa al transporte contaminante, sino porque promueve una actitud de protección al ambiente asociada a una vida saludable. El desarrollo de competencias y paseos dominicales contribuye a este objetivo por lo que se recomienda se lleven a cabo tanto en el Distrito Federal como en el Estado de México.

Conclusiones y Recomendaciones relacionadas con el Fortalecimiento Institucional

Durante el PROAIRE 2002-2010 se llevaron a cabo acciones para la obtención de información y de equipos que fortalecieron a las Secretarías del Medio Ambiente de ambas entidades y mejoraron sus capacidades de monitoreo, prevención y educación, además de los múltiples proyectos que incrementaron el conocimiento sobre la Contaminación en la ZMVM.

La modernización del Sistema de Monitoreo Atmosférico ha sido determinante para el desarrollo y seguimiento de las estrategias para reducir las emisiones. Sin embargo, en el corto plazo habrá de ampliarse, de manera que la extensión de la ZMVM que se decretó en el 2006, aumentando a 59 los municipios conurbados quede cubierta por la red de monitoreo. La medición de la visibilidad es un asunto pendiente e importante de concretar a corto plazo, ya que será un parámetro importante de seguimiento de la contaminación por partículas finas.

Indudablemente la publicación por primera vez de los Inventarios de Sustancias Tóxicas, de Compuestos Orgánicos Volátiles y de Gases de Efecto Invernadero para la ZMVM es un logro que será importantísimo para el diseño del próximo Programa de Calidad del Aire. Sin embargo es necesario actualizarlos permanentemente y en el caso del inventario de sustancias tóxicas, debe ampliarse el número de compuestos químicos, de modo que queden incluidas todas las sustancias del RETC. Estos inventarios han puesto de manifiesto la necesidad de incluir y regular a un mayor número de fuentes de área, cuyas emisiones han ido en aumento y son las que más contribuyen a la presencia de COVs, algunos de los cuales son tóxicos además de ser importantes precursores del ozono.

En cuanto a la publicación bianual de los Inventarios de Emisión de Contaminantes Criterio, que constituye la pieza fundamental de la Gestión de la Calidad del Aire, se requiere que se continúen los esfuerzos, que se actualicen algunas metodologías y que se incorporen otras, como es el caso de la contribución de suelos erosionados, incendios forestales y suelos agrícolas a la emisión de partículas.

Es importante que se inicie una cultura de contabilización precisa del gasto que las medidas ambientales representa y se compare también en forma muy precisa con los beneficios económicos que se logran en salud, mantenimiento de materiales, etc. Ello coadyuvará a una mejor conciencia de la conveniencia de invertir en la promoción de un ambiente limpio.

Una limitación importante en la evaluación de este PROAIRE 2002-2010, fue la escasez de información que no permitió determinar tiempos de instrumentación, desarrollo de actividades en el tiempo, costos y beneficios. Por ello, se recomienda que los grupos realicen anualmente evaluaciones de los programas, de manera que se establezca una cultura de información precisa y homogénea entre las entidades, que permita al evaluador determinar los puntos débiles del programa, las razones de los retrasos, los costos y por supuesto la eficacia en el desarrollo de las medidas en el abatimiento de la contaminación atmosférica.

Finalmente, queda pendiente el reto importantísimo de lograr que la Secretaría de Hacienda y Crédito Público acceda a la reactivación del FIDAM, cuando aun se cobra el sobreprecio en las gasolinas para el

“apoyo a proyectos ambientales”. Este fondo representó para el PICCA, PROAIRE I y PROAIRE 2002-2010 uno de los instrumentos fundamentales para la obtención de resultados, ya que se apoyó una gran cantidad de proyectos desde investigación y educación ambiental, hasta la recuperación de zonas verdes. Y aunque tanto el Distrito Federal como el Estado de México han presupuestado importantes fondos de fomento ambiental, será estratégico el contar con la reactivación del FIDAM.

7.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES RELACIONADAS CON LAS FORTALEZAS Y DEBILIDADES EN LA INSTRUMENTACION DEL PROAIRE 2002-2010

Fortalezas

Una de las fortalezas más importantes de este PROAIRE fue el reforzamiento de los marcos normativos en casi todos los sectores, lo cual fue la base del cumplimiento de un buen número de medidas, además de asegurar reducciones en los próximos años.

La priorización de estrategias y medidas relacionadas con la disminución de emisiones contaminantes de las fuentes móviles fue muy acertada puesto que aseguró la reducción de importantes emisiones a la atmósfera. Por esto en el siguiente programa deberá continuarse tanto con las acciones dirigidas a mantener una flota vehicular verificada y moderna, así como con las que privilegien el incremento y ordenamiento del transporte público de alta capacidad con bajas o nulas emisiones contaminantes.

La actualización permanente del PCCA y de las normas de calidad ambiental ha sido una de las fortalezas de este PROAIRE ya que muestra la priorización del bienestar de la población a través de la búsqueda de la disminución de riesgos ambientales. Para conseguirlo han sido determinantes la actualización del SIMAT y de los inventarios de contaminantes criterio, así como la publicación de los inventarios de contaminantes tóxicos y de gases de efecto invernadero, mismos que han proporcionado herramientas muy valiosas para el seguimiento del PROAIRE. Por ello deben asignarse recursos para el mejor desempeño de las entidades que los manejan, la determinación de factores de emisión locales será una consideración importante en futuros programas. Así mismo, la extensión de la red a los municipios conurbados incluidos en los siguientes PROAIRES será fundamental, al igual que la inclusión en los inventarios de las emisiones contaminantes y de los sumideros de estas zonas.

En cuanto a los co-beneficios relacionados con la reducción de otras emisiones a la atmósfera, diversas publicaciones científicas reportan la disminución de algunos contaminantes tóxicos, especialmente de COVs. Así mismo, aunque no se contemplaron medidas específicas para el control de los gases de efecto invernadero, algunas de las acciones del PROAIRE 2002-2010 coadyuvaron también a la reducción de estos gases. Por ello, es necesaria la integración de medidas que consideren en forma simultánea la reducción de emisiones de contaminantes criterio, de contaminantes tóxicos y de gases de efecto invernadero, para el diseño del próximo programa de calidad del aire.

Si bien una fortaleza de este programa fue la concertación entre diferentes sectores para realizar acciones conjuntas, en la práctica se observó poca coordinación entre los mismos. El avance en las medidas se debió más a labores locales o de dependencias gubernamentales específicas, cuyo trabajo

contemplaba la realización de las actividades. Por ello, deberá diseñarse una estrategia que promueva la reunión de los representantes de diferentes grupos, sectores y dependencias gubernamentales en forma periódica.

Una fortaleza incuestionable de este programa fue la contribución y colaboración de la comunidad científica en la realización de proyectos relacionados con la calidad del aire: las campañas MCMA-2003 y MCMA-2006 (MILAGRO) han proporcionado una gran cantidad de información sobre niveles de contaminación, caracterización de contaminantes y estudios específicos que deberán ser considerados dentro de las medidas del próximo programa.

Entre las contribuciones científicas se encuentra el estudio de salud realizado por el Instituto de Salud Pública con recursos del Instituto de Ciencia y Tecnología del Distrito Federal, que relaciona el impacto de la contaminación ambiental con la morbilidad y mortalidad de la población de la ZMVM, este estudio es una importante fortaleza de este programa que impactará en forma determinante el diseño del siguiente programa de calidad del aire.

Debilidades

El no contar con los costos asociados a los servicios de salud, ha sido una fuerte limitante en la creación de políticas y asignación de recursos orientados a disminuir la contaminación atmosférica. Es de vital importancia acelerar dichos estudios y hacerlos del conocimiento de la comunidad científica para concretar la realización de propuestas.

Dentro de las principales debilidades de este programa, está la falta de concordancia entre el tipo de información y documentación de las diferentes instancias gubernamentales. No se utilizan los mismos programas, no hay similitudes en los portales electrónicos, y en varios casos hay ausencia total de información pública sobre la implementación de acciones. Las mismas direcciones generales no cuentan en ocasiones con la información de sus propias secciones. Así mismo, la asignación de recursos para llevar a cabo acciones similares, no se cumple de igual manera en los gobiernos locales.

A pesar de que se realizó una serie de talleres en el 2004 para que los responsables e integrantes de los Grupos de Trabajo se enfocaran en lograr los objetivos pre-establecidos, llevar un orden en la ejecución de las medidas y un seguimiento sistemático de los resultados que se producían, así como para detectar a tiempo, corregir y/o mitigar las desviaciones de los programas establecidos en las rutas críticas de cada medida, no se realizó un seguimiento periódico y sistematizado del desarrollo de las medidas por los grupos responsables. Tampoco existen informes o bitácoras de instrumentación, lo cual no solamente hizo difícil la evaluación de este programa, sino que al no llevar a cabo acciones de seguimiento, se dificultó la detección del incumplimiento o de la lentitud de algunas medidas, de manera que fue imposible que pudiesen establecer acciones de corrección o aceleramiento de las mismas durante la instrumentación de los programas.

La estrategia de integrar la política de desarrollo urbano con transporte y calidad del aire, tuvo resultados muy pequeños ya que durante el desarrollo del programa, no se realizó la integración de las Secretarías de Desarrollo Urbano con los demás actores, por ello, se recomienda establecer desde la planeación, la política de vinculación con las dependencias de desarrollo Urbano.

La falta de información y las inconsistencias observadas durante el proceso de evaluación de este programa, reflejan que la política ambiental en la ZMVM sigue enfrentando importantes problemas de coordinación. Esta falta de coordinación es más aguda en lo que se relaciona a la homogeneidad en el tipo, cantidad y calidad de la información de las dos entidades de la ZMVM, aunque también se presenta al interior de las administraciones locales.

Probablemente la nueva estructura y los nuevos lineamientos de la CAM, posibilitarán una mejor coordinación entre los diferentes actores involucrados en el desarrollo de los programas de la calidad del aire, sin embargo, es necesario asegurar que durante el desarrollo del próximo PROAIRE se proporcionen los recursos necesarios para que exista una oficina avocada a vigilar que el Programa se opere apegado a una metodología de trabajo participativa y a la recopilación periódica de la información, de manera que anualmente se produzcan informes muy bien documentados del seguimiento de cada uno de los grupos que conforme el próximo programa. Así mismo esta oficina deberá realizar reuniones periódicas con integrantes de Grupos de Trabajo para discutir el desarrollo del PROAIRE y retroalimentar la instrumentación. Se recomienda también que una institución académica independiente de la gestión pública realice al menos una evaluación bianual del Programa. Sin embargo, lo anterior solamente podrá lograrse si las más altas autoridades consideran prioritaria la agenda del PROAIRE.

Aunque se han alcanzado avances substanciales en la calidad del aire de la ZMVM, sigue habiendo un buen número de días con mala calidad del aire, lo cual es violatorio al derecho humano de un medio ambiente saludable. Por ello, es imperativo que las políticas públicas que se establezcan tengan un impacto significativo en la reducción de los niveles de contaminación ambiental, de manera que se alcancen por lo menos los estándares actuales, pero siempre con la mira a alcanzar el cumplimiento de los niveles internacionales más estrictos.