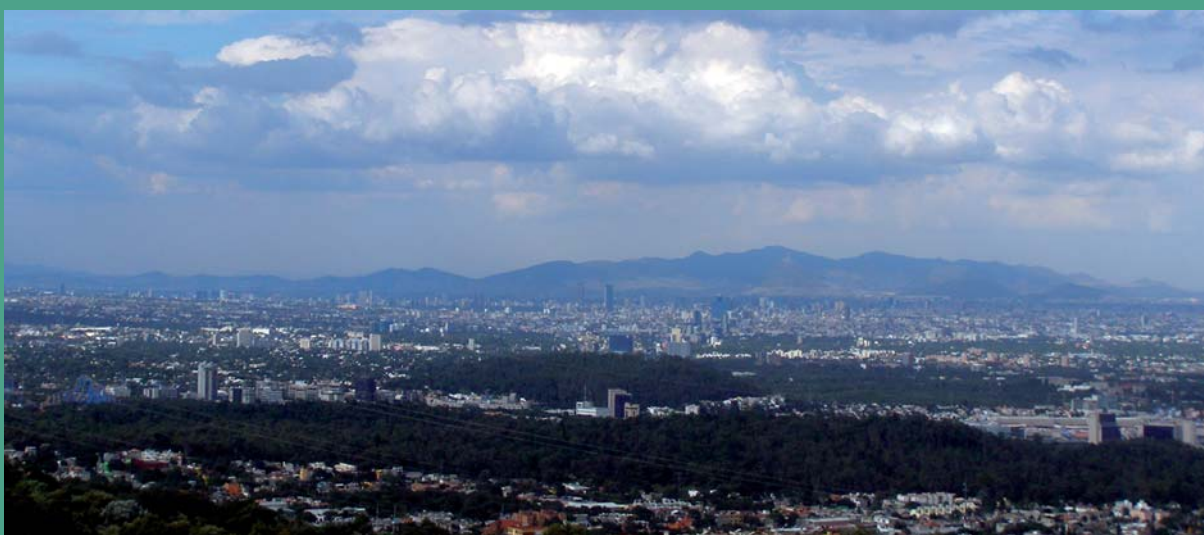


# Programa para mejorar la calidad del aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2011-2020



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO



**Dr. Eruviel Ávila Villegas**

Gobernador Constitucional del Estado de México

**Lic. Carlos Alberto Cadena Ortiz de Montellano**

Secretario del Medio Ambiente

**Lic. Andrés Fernández Martínez**

Subsecretario del Medio Ambiente

**Dr. Ismael Sáenz Villa**

Coordinador Ambiental Metropolitano

**Mtro. Juan Rafael Elvira Quesada**

Secretario de Medio Ambiente y Recursos Naturales

**Lic. Mauricio Limón Aguirre**

Subsecretario de Gestión para la Protección Ambiental

**M. en C. Ana María Contreras Vigil**

Directora General de Gestión de la Calidad del Aire y RETC

**Lic. Marcelo Ebrard Casaubon**

Jefe de Gobierno del Distrito Federal

**Lic. Martha Teresa Delgado Peralta**

Secretaria del Medio Ambiente

**Dr. Víctor Hugo Páramo Figueroa**

Director General de Gestión de la Calidad del Aire

**Dr. Adolfo Mejía Ponce de León**

Director General de Planeación y Coordinación de Políticas

**Dr. José Ángel Córdova Villalobos**

Secretario de Salud

**Lic. Mikel Andoni Arriola Peñalosa**

Comisionado Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios

**M. en C. Rocío del Carmen Alatorre Edén-Wynter**

Comisionada de Evidencia y Manejo de Riesgos

**Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México**

Conjunto SEDAGRO  
Lado Sur S/N, Colonia  
Ex Rancho San Lorenzo,  
C.P. 52140, Metepec,  
Estado de México

**Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal**

Plaza de la Constitución 1,  
piso 3, Centro Histórico  
C.P. 06000, Delegación  
Cuauhtémoc, México D.F.

**Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales**

Periférico Sur 4209, piso 6,  
Col. Jardines en la  
Montaña, C.P. 14210  
Delegación Tlalpan,  
México D.F.

**Secretaría de Salud**

Lieja piso 1, Col. Juárez  
C.P. 06696, Delegación  
Cuauhtémoc, México D.F.

## INTEGRACIÓN TÉCNICA DEL DOCUMENTO

### **Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal (SMAGDF)**

Alfonso Soler Alfredo  
Camacho Rodríguez Patricia  
Flores Román Miguel Ángel  
Hernández Ortega Francisco  
Hernández Villaseñor Sergio  
Retama Hernández Armando  
Rodríguez Rivera Saúl  
Ruíz Ramírez María Cristina  
Sarmiento Rentería Jorge

### **Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México (SMAGEM)**

Calva Cruz Gloria Julissa  
Medina Zamora Anabell  
Reyna de la Madrid Cesar  
Valdés Avendaño Bibiana  
Zavaleta Mondragón Gabriel

### **Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)**

Barrios Castrejón Ramiro  
Gómez Hernández Alan Xavier

### **Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS)**

De la Luz González Guadalupe  
Ortiz Anaya Diana  
Ramírez Aguilar Matiana  
Román Rodríguez Alberto

### **Centro de Estudios sobre Equidad y Desarrollo A. C. AEQUUM**

Leonardo Martínez Flores

Se agradece en especial a los técnicos e investigadores de las diversas instancias del sector social, privado, académico y gubernamental que participaron en los grupos de trabajo, aportando su conocimiento y experiencia para la formulación de este programa.

# PROAIRE 2011-2020

## Contenido

---

<b>Introducción</b>	<b>7</b>
<b>Primera parte Impactos en la salud y diagnóstico de la situación de la ZMVM en materia de contaminación atmosférica</b>	<b>11</b>
<b>Capítulo 1. Impactos de la contaminación atmosférica sobre la salud de la población de la ZMVM</b>	<b>13</b>
1.1 <i>Sintomatología y efectos generados por la contaminación del aire</i>	14
1.2 <i>Efectos de las partículas sobre la salud</i>	17
1.3 <i>Efectos del ozono sobre la salud</i>	24
1.4 <i>Efectos del monóxido de carbono sobre la salud</i>	27
1.5 <i>Efectos del dióxido de nitrógeno sobre la salud</i>	28
1.6 <i>Efectos del dióxido de azufre sobre la salud</i>	28
1.7 <i>Efectos de los compuestos orgánicos volátiles sobre la salud</i>	28
1.8 <i>Efectos de los hidrocarburos aromáticos policíclicos sobre la salud</i>	28
1.9 <i>Efectos de la temperatura en las concentraciones de ozono y las consecuencias en la salud humana</i>	29
1.10 <i>Comentarios finales</i>	30
<b>Capítulo 2. Inventarios de emisiones de la ZMVM</b>	<b>33</b>
2.1 <i>Emisiones de contaminantes criterio</i>	33
2.1.1 <i>Distribución temporal</i>	34
2.1.2 <i>Emisiones anuales de contaminantes criterio de la ZMVM</i>	35
2.1.3 <i>Fuentes puntuales de emisión de contaminantes criterio</i>	38
2.1.4 <i>Emisión de contaminantes criterio por fuentes de área</i>	41
2.1.5 <i>Emisión de contaminantes criterio por fuentes móviles</i>	43



2.2	<i>Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)</i>	49
2.3	<i>Emisiones de contaminantes tóxicos</i>	53
2.4	<i>Fuentes de emisión multicontaminantes y de efecto invernadero</i>	59
<b>Capítulo 3. Diagnóstico de la situación actual de la calidad del aire en la ZMVM</b>		<b>61</b>
3.1	<i>Evaluación de conformidad de las NOM de salud ambiental en años recientes</i>	61
3.2	<i>Tendencias y distribución de los contaminantes</i>	64
3.3	<i>Exposición de la población a la contaminación del aire en la ZMVM</i>	78
3.4	<i>Comportamiento de los contaminantes por día de la semana en la ZMVM</i>	82
3.5	<i>Depósito atmosférico</i>	84
3.6	<i>Efectos de la contaminación atmosférica sobre la vegetación y cultivos en la ZMVM</i>	85
3.7	<i>Estudios y análisis recientes sobre calidad del aire de la ZMVM</i>	86
<b>Segunda parte Experiencia nacional y referencias internacionales de gestión de la calidad del aire</b>		<b>111</b>
<b>Capítulo 4. Avances logrados en los últimos 20 años en materia de política de calidad del aire en la ZMVM</b>		<b>113</b>
4.1	<i>Introducción</i>	113
4.2	<i>El Programa Integral contra la Contaminación Atmosférica (PICCA)</i>	114
4.3	<i>El Programa para Mejorar la Calidad del Aire, PROAIRE 1995-2000</i>	116
4.4	<i>El Programa para Mejorar la Calidad del Aire, PROAIRE 2002-2010</i>	121
4.5	<i>Evaluación del PROAIRE 2002-2010</i>	129
4.6	<i>Tendencias en la calidad del aire durante la instrumentación de los Programas de Calidad del Aire PICCA, PROAIRE 1995-2000 y PROAIRE 2002-2010</i>	135

<b>Capítulo 5. Experiencias internacionales en gestión de la calidad del aire</b>	<b>137</b>
5.1 <i>La calidad del aire de la ZMVM en el contexto internacional</i>	137
5.2 <i>La gestión de la calidad del aire en ciudades seleccionadas</i>	139
5.3 <i>Observaciones finales</i>	152
<b>Tercera parte      Concepción ecosistémica y simulación de emisiones contaminantes en la ZMVM</b>	<b>155</b>
<b>Capítulo 6. Concepción ecosistémica, dinámica estructural y simulación de emisiones en la ZMVM</b>	<b>157</b>
6.1 <i>Concepción ecosistémica de la generación de contaminantes atmosféricos</i>	157
6.2 <i>Dinámica estructural de la ZMVM</i>	164
6.3 <i>Modelo ecosistémico de simulación de emisiones</i>	175
6.4 <i>Modelo económico-espacial de la demanda de empleos en la ZMVM</i>	176
6.5 <i>Simulación de las emisiones generadas en el período 2010-2020</i>	181
6.6 <i>Reducción estimada de emisiones y mejora de la calidad del aire con medidas convencionales</i>	187
6.7 <i>Conclusiones</i>	192
<b>Cuarta parte      Medidas propuestas para el período 2011-2020</b>	<b>193</b>
<b>Capítulo 7. Eje rector y lineamientos estratégicos</b>	<b>195</b>

<b>Capítulo 8. Medidas y acciones del Proaire 2011-2020</b>	<b>201</b>
<i>Estrategia 1: Ampliación y refuerzo de la protección a la salud</i>	208
<i>Estrategia 2: Disminución estructural del consumo energético de la ZMVM</i>	235
<i>Estrategia 3: Calidad y eficiencia energéticas en todas las fuentes</i>	248
<i>Estrategia 4: Movilidad y regulación del consumo energético del parque vehicular</i>	276
<i>Estrategia 5: Cambio tecnológico y control de emisiones</i>	303
<i>Estrategia 6: Educación ambiental, cultura de la sustentabilidad y participación ciudadana</i>	327
<i>Estrategia 7: Manejo de áreas verdes, reforestación y naturación urbanas</i>	337
<i>Estrategia 8: Fortalecimiento institucional e investigación científica</i>	351
8.1 <i>Estimación de los costos de implementación de las acciones que se proponen en el Programa para Mejorar la Calidad del Aire en la ZMVM (2011-2020)</i>	361
8.2 <i>Seguimiento y Evaluación del Programa</i>	361
<b>Bibliografía</b>	<b>363</b>

**Anexos                    Disponibles en versión digital**

# Introducción

---

Los gobiernos que integran la Comisión Ambiental Metropolitana han elaborado un nuevo instrumento de gestión ambiental que orientará durante la presente década las políticas públicas en materia de calidad del aire en el Valle de México. El nuevo Programa para Mejorar la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de México 2011-2020 (PROAIRE 2011-2020), es un documento de planeación participativa que relaciona e integra estructuralmente variables y procesos urbanos, de transporte, económicos y sociales, con los procesos de generación de contaminantes criterio, tóxicos y de efecto invernadero.

Este nuevo PROAIRE 2011-2020 retoma las experiencias de los programas anteriores e introduce un cambio paradigmático en la concepción y en el tratamiento de los procesos generadores de la contaminación atmosférica. El nuevo enfoque incorpora los conocimientos científicos recientes para plantear y desarrollar un eje rector que consiste en promover un manejo ecosistémico de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) que fortalezca la gestión de la calidad del aire, que permita mejorarla de manera sostenible y que contribuya en la obtención de cobeneficios urbanos, económicos y sociales perdurables.

Como resultado de la investigación aplicada que fue desarrollada para este PROAIRE, se cuenta con nuevas bases de datos y de información que permiten entender un poco mejor el complejo funcionamiento de la ZMVM y su relación con la emisión de contaminantes atmosféricos.

El documento inicia con el capítulo que resume los principales resultados de los más recientes estudios sobre impactos de la contaminación atmosférica en la salud de la población de la ZMVM. Este PROAIRE coloca el tema de la protección a la salud como punto estratégico del enfoque desarrollado, por lo que el contenido que se presenta en el primer capítulo constituye una plataforma de sólidos argumentos científicos que ubican a los efectos negativos de la contaminación atmosférica como un tema apremiante de la agenda metropolitana de salud pública. La solidez y los alcances de los estudios referidos en el capítulo, justifican las medidas y acciones que este programa propone para mejorar la calidad del aire de la ZMVM.

El Capítulo 2 reconoce que la medición y el registro espacial y temporal de los contaminantes atmosféricos más importantes desde el punto de vista de la salud de la población, así como la estimación de las emisiones a la atmósfera, son aspectos torales y requisitos imprescindibles para desarrollar y mantener una gestión eficaz de la calidad del aire. En este capítulo se da cuenta de los inventarios de emisiones de la ZMVM para el año 2008, mismos que incluyen a los contaminantes criterio, a los contaminantes tóxicos y a los compuestos y gases de efecto invernadero. También se identifican las fuentes de generación simultánea, o multicontaminantes, más importantes de la ZMVM.

El Capítulo 3 hace un diagnóstico del estado actual de la calidad del aire y de las tendencias de los contaminantes con relación al grado de cumplimiento de los niveles observados respecto de los límites establecidos por las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) de salud ambiental. Presenta un análisis de la distribución espacial de los

contaminantes, lo cual ofrece una medida indirecta del riesgo de exposición que enfrenta la población, comenta la situación del depósito atmosférico y concluye con el resumen de importantes y esclarecedores resultados obtenidos a partir de estudios científicos realizados en la ZMVM.

El Capítulo 4 sintetiza los logros alcanzados en materia de gestión de la calidad del aire en la ZMVM, como consecuencia de la aplicación de los programas y las acciones aplicadas de 1990 a la fecha. El Capítulo 5 resume algunos de los ejemplos y experiencias internacionales exitosas de gestión de la calidad del aire con el propósito de retomar algunas ideas que pueden ser de utilidad para la ZMVM. La exploración de las medidas aplicadas advierte de una amplia variedad de casos en la configuración de políticas y acciones locales, pues éstas responden a combinaciones particulares de las características fisiográficas y meteorológicas de las ciudades; a la variedad de tecnologías disponibles; a las diferencias culturales y de diseño institucional en materia de administración pública; al grado de desarrollo económico y a las variaciones en el tipo e intensidad de las diferentes actividades productivas y sociales. Esta revisión constata la importancia de continuar reforzando acciones convencionales como las planteadas en los PROAIRES anteriores y valida la necesidad de innovar con medidas que incidan sobre las relaciones estructurales existentes entre la organización de las actividades productivas, culturales y sociales de las ciudades y la generación de todo tipo de contaminantes atmosféricos, medidas que si bien son todavía muy escasas a nivel internacional, sí se plantean en este PROAIRE.

El Capítulo 6 sintetiza el análisis ecosistémico desarrollado y presenta nuevas alternativas para el manejo de la calidad del aire en la ZMVM. Analiza la relación endógena entre la estructura urbana y el sistema de generación de contaminantes, introduce los índices de entropía urbana y de mezcla de usos del suelo, estima elasticidades espaciales que ayudan a entender el rol del desarrollo urbano en la emisión de contaminantes, presenta un nuevo modelo de simulación de emisiones contaminantes de los viajes en automóvil, simula la generación de emisiones al 2020 y modela la calidad del aire para el mismo año, como parte de un escenario que supone la aplicación de algunas de las medidas propuestas en este PROAIRE.

El Capítulo 7 plantea el eje rector del PROAIRE y explica el propósito de cada una de las 8 estrategias propuestas:

*Estrategia 1: Ampliación y refuerzo de la protección a la salud*

*Estrategia 2: Disminución estructural del consumo energético de la ZMVM*

*Estrategia 3: Calidad y eficiencia energéticas en todas las fuentes*

*Estrategia 4: Movilidad y regulación del consumo energético del parque vehicular*

*Estrategia 5: Cambio tecnológico y control de emisiones*

*Estrategia 6: Educación ambiental, cultura de la sustentabilidad y participación ciudadana*

*Estrategia 7: Manejo de áreas verdes, reforestación y naturación urbanas*

*Estrategia 8: Fortalecimiento institucional e investigación científica.*

En el Capítulo 8 se describe el conjunto de estrategias que contienen un total de 81 medidas y 116 acciones. Cada estrategia incluye diferentes medidas y éstas pueden contener una o más acciones específicas. Para cada una de las acciones se ha definido un objetivo específico, se identifican los actores responsables, se presenta un

diagrama que facilita su ubicación e integración en el mapa ecosistémico, se realiza una justificación, se presenta una descripción sucinta de la misma, se establece un calendario de ejecución, se cuantifican algunos de los beneficios esperados y se estiman los costos de su implementación. Para todas las acciones se incluye una tabla que identifica aquellos contaminantes involucrados o cuyas emisiones se verían disminuidas como consecuencia de los efectos directos e indirectos de su aplicación.

Con relación al diagrama de integración ecosistémica incluido en cada una de las acciones, éste pretende mostrar de manera muy general las relaciones causales entre los principales aspectos a considerar, o las actividades a realizar, para la ejecución de la acción correspondiente. El sentido de la causalidad inicia en los círculos sólidos y termina mencionando al menos uno de los efectos esperados.

Finalmente es conveniente informar que ante la magnitud del material incorporado en los anexos, éstos no se han incluido en el documento impreso pero podrán ser consultados y descargados como archivos electrónicos en las siguientes páginas de Internet:

[www.sma.df.gob.mx](http://www.sma.df.gob.mx)

[www.edomex.gob.mx](http://www.edomex.gob.mx)

[www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx)

[www.cofepris.gob.mx](http://www.cofepris.gob.mx)



# Primera parte

---

## Impactos en la salud y diagnóstico de la situación de la ZMVM en materia de contaminación atmosférica

---

Capítulo 1. Impactos de la contaminación  
atmosférica sobre la salud de la  
población de la ZMVM

Capítulo 2. Inventarios de emisiones de la ZMVM

Capítulo 3. Diagnóstico de la situación actual de la  
calidad del aire en la ZMVM

---





# Capítulo 1

## Impactos de la contaminación atmosférica sobre la salud de la población de la ZMVM

---

Este capítulo resume los principales resultados de los más recientes estudios sobre impactos de la contaminación atmosférica en la salud de la población de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) y recoge algunas evidencias internacionales sobre el tema. El material presentado constituye una plataforma de sólidos argumentos científicos que ubican a los efectos negativos de dicha contaminación como un tema apremiante de la agenda metropolitana de salud pública. La solidez, el rigor científico y los alcances de los estudios referidos en el capítulo, justifican las medidas y acciones que este programa propone para mejorar la calidad del aire de la ZMVM.

Aparentemente la percepción colectiva del estado de la calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM)<sup>1</sup>, no corresponde a la gravedad de los efectos negativos que la contaminación atmosférica ha ido provocando sobre la salud de la población. Las personas que viven en la ZMVM generalmente no identifican a la contaminación como algo cercano sino como un fenómeno ajeno, que afecta a los otros pero no necesariamente a sí mismas o a otras personas de su entorno. Esto probablemente se debe a que las tendencias de los contaminantes denominados “*criterio*” se han mantenido a la baja en los últimos lustros y a que se tiene una historia de pocos episodios de contingencias ambientales, lo cual ha contribuido a generar un estado de cierta tranquilidad entre la población que no ayuda a posicionar, en su verdadera dimensión, el tema de los efectos de la contaminación del aire como un problema serio de salud pública.

Sin embargo, como se muestra en este primer capítulo los efectos de la contaminación del aire en la salud de la población de la ZMVM deben ser considerados seriamente, y al igual que en otras zonas urbanas del país, su atención merece un lugar prioritario en el diseño de las políticas públicas dirigidas a mejorar la calidad de vida en el largo plazo. Dichos efectos han sido suficientemente estudiados para algunos contaminantes, pero hay una larga lista de otros para cuyos efectos tenemos al día de hoy poca o nula evidencia científica, a pesar de que éstos sean considerados como un factor que eleva sensiblemente las tasas de mortalidad y de morbilidad en las áreas urbanas.

---

<sup>1</sup> La definición de ZMVM adoptada en este documento corresponde a la publicada en las Gacetas Oficiales de los gobiernos del Estado de México y del Distrito Federal el 23 de enero de 2006, misma que incluye a las 16 delegaciones del Distrito Federal y 59 municipios conurbados del Estado de México.

En efecto y como parte del contexto que permite ubicar adecuadamente el problema de la contaminación atmosférica, es conveniente mencionar algunos datos que entidades como la Organización Mundial de la Salud (OMS, WHO por sus siglas en inglés) obtienen y publican regularmente. Considérese, por ejemplo, el hecho de que esta organización estima que la contaminación del aire es responsable del 1.4 % de todas las muertes prematuras a nivel mundial y del 0.8% de los años de vida perdidos con gozo de plena salud (WHO, 2002). Con respecto a la carga regional de enfermedades debidas a la contaminación del aire la misma OMS establece que más de 2 millones de muertes prematuras al año son atribuidas a la contaminación del aire exterior urbano y a la contaminación del aire intramuros por la combustión de biomasa, y más de la mitad de esta carga corresponde a poblaciones de países en vías de desarrollo (WHO, 2002).

Como se ha mencionado, en el caso de la ZMVM es importante reconocer que las tendencias de la mayoría de los contaminantes que han sido monitoreados desde hace varios años muestran una tendencia a la baja, lo cual representa beneficios importantes a la población. Sin embargo mantenemos aún altos costos en salud, que constituyen un pasivo social importante como consecuencia de la exposición de la población a un amplio conjunto de contaminantes atmosféricos.

La estimación de los costos totales de los efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud es una tarea difícil, tanto por la amplitud de su tipología como por los extensos requerimientos de información y datos necesarios para los cálculos correspondientes. Su importancia ha sido reconocida y si bien su cálculo y sistematización son aspectos que forman parte de una de las medidas de este programa, vale la pena recordar que la tipología de dichos costos incluye los siguientes: los costos privados que deben pagar las personas afectadas por diversas sintomatologías en consultas médicas y medicinas, así como por las consecuencias de la disminución de su productividad laboral o escolar; los costos sociales derivados de la muerte prematura de personas afectadas gravemente, mismos que se materializan, primero, como la pérdida de las contribuciones que esas personas hacían en vida a la sociedad, y segundo, como los costos psicológicos y emocionales infligidos a familiares y amigos; los costos económicos de la pérdida de competitividad de todo tipo de organizaciones públicas y privadas, como consecuencia de la disminución de la productividad asociada a la morbilidad y que se materializa también en ausentismo y disminución de horas dedicadas a actividades productivas; y finalmente, los costos denominados *de oportunidad* de los recursos públicos, tanto humanos como materiales, que son los utilizados para atender a las personas afectadas por la contaminación atmosférica y que por lo tanto no pueden ser utilizados para atender otras necesidades importantes y apremiantes del sector salud.

### **1.1 Sintomatología y efectos generados por la contaminación del aire**

Los contaminantes del aire tienen distinto potencial para producir daños sobre la salud humana, dependiendo del tipo de contaminante, de las propiedades físicas y químicas de sus componentes, la frecuencia, duración de exposición y su concentración, entre otros factores. De manera genérica se establece que la capacidad de un contaminante para producir un efecto en la salud depende fundamentalmente de dos factores: 1) la magnitud de la exposición y 2) la vulnerabilidad de las personas expuestas. La magnitud de la exposición está en función de la concentración del contaminante en la atmósfera, de la duración de la exposición y de su frecuencia. La vulnerabilidad de las personas expuestas es significativamente diferente, algunos grupos de población son más sensibles o vulnerables que otros a la contaminación del aire, que

obedece a factores intrínsecos, como la genética, etnia, género y edad; y a factores adquiridos como las condiciones médicas, acceso a los servicios de salud y nutrición. Los efectos en la salud pueden clasificarse en efectos agudos y, efectos crónicos sin la inclusión de cáncer y efectos cancerígenos (Kampa y Castanas, 2008).

La exposición aguda se presenta a concentraciones elevadas de contaminantes en corto tiempo, que logran ocasionar daños sistémicos al cuerpo humano. Los efectos atribuibles a la exposición aguda varían ampliamente. Algunos estudios señalan un incremento en la mortalidad debido a complicaciones respiratorias relacionadas con la exposición a partículas de diámetro pequeño, ozono y sulfatos; otros estudios informan acerca de enfermedades cardiovasculares, lo cual se considera como un efecto indirecto de la contaminación. La exposición aguda también se relaciona con enfermedades de vías respiratorias superiores e inferiores: bronquitis, neumonía y tos, entre otras (Riojas et al., 2009).

Por otra parte la exposición crónica implica concentraciones bajas de contaminantes en largos periodos. Esta exposición a pesar de que sea a niveles bajos, puede afectar a las personas con una predisposición genética o con algún problema de salud preexistente. Los efectos a la salud son similares a los mencionados por una exposición aguda. Existen informes del incremento de la mortalidad en relación con exposición crónica, aunque en la mayoría de los casos se trata de adultos con problemas respiratorios y cardiovasculares degenerativos (Cesar et al., 2001).

Los resultados obtenidos en estudios recientes demuestran que la exposición aguda y crónica a la contaminación del aire se asocia con el incremento de la mortalidad y morbilidad debido a diferentes causas: por problemas cardiovasculares y respiratorios (Samet y Krewski, 2007; Romieu et al., 2008), por su relación con algunos tipos de cáncer, con efectos reproductivos y con efectos neurológicos (Curtis et al., 2006). Las exposiciones a la contaminación del aire durante el embarazo y durante los períodos tempranos de la vida se han asociado con nacimiento prematuro, retraso en el crecimiento intrauterino, bajo peso al nacer, síndrome de muerte temprana y mortalidad infantil (Maisonet et al., 2004; Lacasana et al., 2005; Curtis et al., 2006; Wigle et al., 2007; Kampa y Castanas, 2008), así como efectos en la salud de grupos vulnerables como niños asmáticos en la ZMVM (Barraza et al., 2008; Romieu et al., 2008; Hernández et al., 2009; Rojas et al., 2007; Escamilla et al., 2008).

Los síntomas por exposición a la contaminación del aire se manifiestan principalmente en la disminución de la capacidad respiratoria, incremento en la frecuencia de enfermedades respiratorias crónicas y agudas, aumento de ataques de asma e incremento de casos de enfermedades cardíacas. Esto se debe a que los pulmones son el órgano de choque para todos los contaminantes del aire. Cuando las células de las vías aéreas del pulmón se inflaman, se reduce la habilidad del sistema respiratorio para combatir infecciones y eliminar partículas extrañas, lo que aumenta el riesgo en la salud de las personas que padecen, por ejemplo, asma, enfisema pulmonar o bronquitis crónica.

En este sentido, la bibliografía indica que los mecanismos mediante los cuales algunos contaminantes atmosféricos como el monóxido de carbono (CO) y el ozono (O<sub>3</sub>) provocan efectos cardiovasculares, como la insuficiencia cardíaca, siguen siendo estudiados y a la fecha no están del todo claros.

Antes de pasar a la descripción específica de los efectos sobre la salud por contaminante en la ZMVM, se presenta la Tabla 1.1.1 que retoma información publicada

por el Institute for Environmental Studies con relación a datos de funciones de exposición-respuesta.

**Tabla 1.1.1. Funciones exposición-respuesta para la población general por exposición a ozono y PM<sub>10</sub>**

Indicadores	Porcentaje de cambio por cada 10 ppb de ozono, concentración horaria.	Porcentaje de cambio por cada 10 µg/m <sup>3</sup> de PM <sub>10</sub> , promedio diario.
<b>Admisión en hospitales</b>		
Respiratoria	3.76	1.39
Cardio-cerebrovascular	0.98	0.60
Falla congestiva del corazón	-	1.22
<b>Visitas a la sala de emergencia</b>		
Respiratoria	3.17	3.11
<b>Días de actividad restringida</b>		
Total (adultos)	-	7.74
Días laborales perdidos (adultos)	-	7.74
Total (niños)	-	7.74
Días laborales perdidos de mujeres	-	7.74
<b>Días de actividad restringida menor</b>		
Total (adultos)	2.20	4.92
<b>Efectos en Asmáticos</b>		
Ataques de asma	2.45	7.74
Tos sin flema (niños)	-	4.54
Tos con flema (niños)	-	3.32
Tos con flema y uso de bronquodilatador	-	10.22
Algunos síntomas respiratorios (niños)	0.66	-
Síntomas respiratorios menores	0.23	-
<b>Síntomas respiratorios</b>		
Síntomas en vías respiratorias superiores	1.50	4.39
Síntomas en vías respiratorias inferiores	2.20	6.85
Sibilancias	1.32	-
Bronquitis aguda	-	11.0
<b>Morbilidad crónica</b>		
Bronquitis crónica, casos adicionales	-	3.60
Tos crónica, prevalencia (niños)	-	0.30
<b>Mortalidad por medición longitudinal</b>		
Total	-	3.84
<b>Mortalidad por medición transversal</b>		
Total	0.59	1.01
Infantil	-	3.52

Fuente: Cesar et al., 2000.

En la tabla aparecen los incrementos porcentuales observados en diversos indicadores, como admisiones hospitalarias, días de actividad restringida o sintomatología diversa, ante aumentos en las concentraciones de ozono y PM<sub>10</sub>.

Resalta el hecho de que en la mayoría de los indicadores, los efectos negativos de los incrementos en la concentración de PM<sub>10</sub> son mayores que los correspondientes al ozono. En especial resulta preocupante, como se demostrará en las páginas siguientes, los impactos de las partículas sobre la tasa de mortalidad de la población.

## 1.2 Efectos de las partículas sobre la salud

En cuanto a la toxicidad de las partículas, ésta depende por un lado de su composición química y en consecuencia de la fuente de emisión, y por otro del tamaño, ya que éste determina qué tanto penetrarán al árbol bronquial (Quénel et al., 2003). Las partículas de un diámetro superior a 10 micrómetros son filtradas por la nariz y son deglutidas, las partículas de 3 a 10 micrómetros de diámetro se depositan principalmente en la tráquea y los bronquios y alteran la respuesta inflamatoria alveolar regulada por los macrófagos ante el virus sincitial respiratorio, una causa frecuente de pulmonía viral en los niños (Romieu y Korc, 2002). Las partículas menores a 3 micrómetros llegan en gran cantidad a los alvéolos (Quénel et al., 2003). Las partículas que penetran al epitelio alveolar inician un proceso de inflamación pulmonar, se presentan igualmente cambios inflamatorios sistémicos afectando la coagulación de la sangre, lo cual puede obstruir los vasos sanguíneos, provocando angina o hasta infarto al miocardio (Kampa y Castanas, 2008).

### **Partículas PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>**

Las partículas se han asociado asimismo con el aumento de síntomas de enfermedades respiratorias, la reducción de la función pulmonar, el agravamiento del asma y con muertes prematuras por afecciones respiratorias y cardiovasculares (WHO, 2001), la mortalidad infantil (APHEIS, 2002) y el ausentismo escolar en niños (CAM, 2002).

En este sentido, la bibliografía indica que los mecanismos propuestos mediante los cuales algunos contaminantes, entre ellos las partículas respirables, provocan efectos cardiovasculares, como la insuficiencia, son los siguientes (Riojas et al., 2006):

- Alteraciones en los canales de calcio de los miocardiocitos.
- Isquemia miocárdica, ya que el incremento en los aerosoles ácidos irrita las vías respiratorias y provoca broncoespasmo agudo, edema pulmonar, hipoxemia e incremento en la demanda de oxígeno.
- Inflamación y disfunción endotelial.
- Alteraciones en el sistema nervioso autónomo.

En uno de los estudios más recientes, realizado por el Instituto Nacional de Salud Pública (Riojas et al., 2009), se hizo una estimación de la población expuesta a PM<sub>10</sub> en los alrededores de las estaciones de monitoreo del Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT). Para ello, la distribución espacial de los contaminantes se obtuvo mediante mapas de contorno, creados a partir del cálculo del promedio del periodo de referencia, de 2005<sup>2</sup>. En este ejercicio, el indicador representa una estimación de la exposición promedio de la población de cada AGE<sup>3</sup>, esto es, de la concentración media ponderada por población, tomando en cuenta las edades de la población y relaciones concentración-respuesta (FCR).

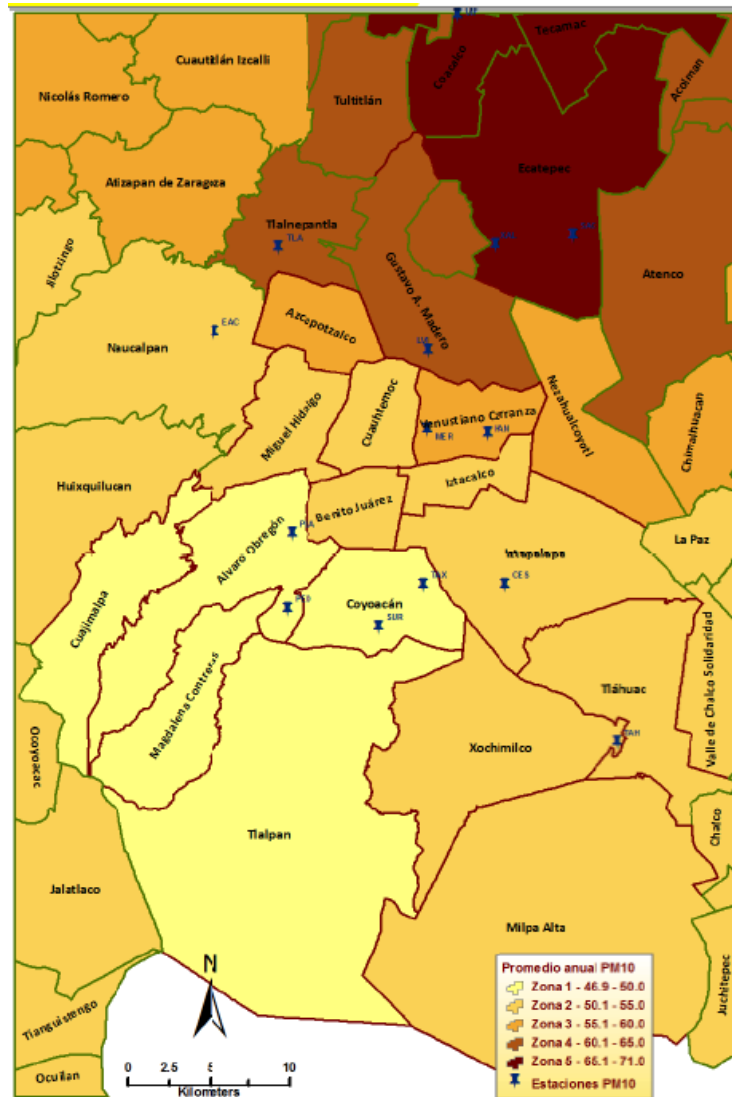
---

<sup>2</sup> El indicador utilizado es el *promedio ponderado por población*, con base en las metodologías utilizadas por el INE en México y por los departamentos de Salud y de Medio Ambiente y Vivienda de Cataluña, España.

<sup>3</sup> Área Geoestadística Básica, definida por el INEGI. La población considerada para estas estimaciones está basada en los datos del Censo de Población y Vivienda del año 2000.

En el Mapa 1.2.1 se muestra la distribución de las concentraciones de  $PM_{10}$  para las cinco zonas establecidas en el estudio, destacándose la zona noreste por una concentración elevada, misma que va disminuyendo en dirección suroeste.

**Mapa 1.2.1. Distribución de la concentración de  $PM_{10}$  en las cinco zonas identificadas, con base en valores promedio anuales para 2005**



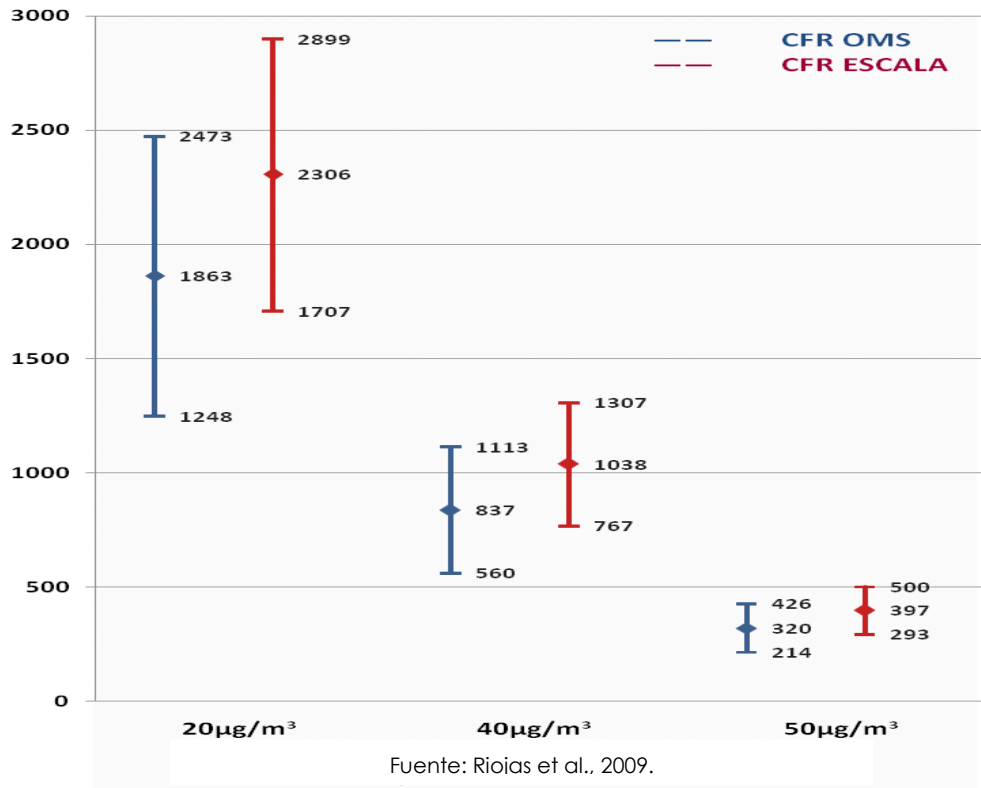
Fuente: Riojas et al., 2009.

Cabe hacer notar que el uso progresivo de sistemas de información geográfica para estimar los efectos espaciales y demográficos de la concentración de contaminantes, será una herramienta cada vez más útil para precisar los efectos de la contaminación atmosférica sobre grupos específicos de población y para avanzar en el diseño de políticas públicas que permitan mejorar la calidad del aire de manera más eficiente y eficaz.

Tomando uno de los indicadores convencionales de estimación de los beneficios obtenidos de la reducción de contaminantes, que es el número de muertes evitables

para diferentes niveles de reducción, se cuenta con resultados contundentes. La Gráfica 1.2.1 muestra el número de muertes evitables por año considerando la mortalidad total de corto plazo, bajo diferentes escenarios de reducción en las concentraciones de PM<sub>10</sub> en la ZMVM y usando funciones de concentración-respuesta estimadas de dos fuentes, las de la OMS y las del proyecto ESCALA<sup>4</sup>.

**Gráfica 1.2.1. Muertes evitables por año (mortalidad total-corto plazo) bajo diferentes escenarios de concentración de PM<sub>10</sub>**



Como se puede observar, la gráfica anterior indica que si el promedio anual de PM<sub>10</sub> cumpliera cabalmente la norma actual mexicana de 50 µg/m<sup>3</sup>, se evitarían 400 muertes de corto plazo en la ZMVM. Si se cumpliera con la norma europea de 40 µg/m<sup>3</sup> se evitarían cerca de 1,000 muertes en la ZMVM. Y, si la reducción de los contaminantes llegase hasta los niveles establecidos por la OMS y la EPA, esto es, a los 20 µg/m<sup>3</sup>, se podrían evitar 2,300 muertes (Tabla 1.2.1).

<sup>4</sup> Estudio de Salud y Contaminación del Aire en Latinoamérica (ESCALA). Proyecto multicéntrico que incluye a la ZMVM y cuyo objetivo es examinar la asociación entre la exposición a la contaminación del aire exterior y algunas causas de mortalidad en las siguientes ciudades de América Latina: Zona Metropolitana del Valle de México, Monterrey y Toluca para el caso de México, Sao Paulo, Río de Janeiro y Porto Alegre en el caso de Brasil, y Santiago, Temuco y Concepción en el caso de Chile para el periodo 1997-2005.



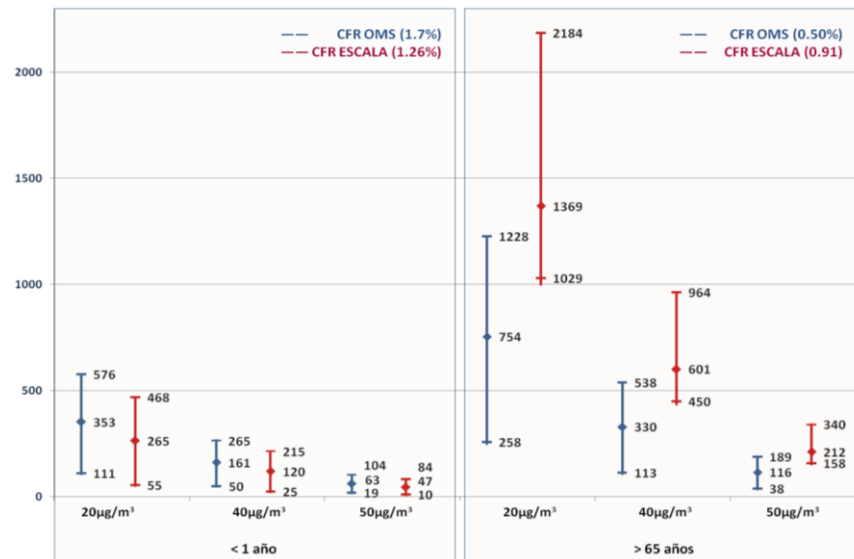
**Tabla 1.2.1. Muertes totales evitables por año, en el corto plazo, para todas las edades en la zona de estudio**

Total zona de estudio	CFR WHO (0.6 %)			CFR ESCALA (0.745 %)			
	Escenarios	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Tasa mortalidad: 4.75 por mil Concentración: 56.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Población: 18'419,138	Promedio	1,863	837	320	2,306	1,038	397
	IC bajo	1,248	560	214	1,707	767	293
	IC alto	2,473	1,113	426	2,899	1,307	500

Fuente: Riojas et al., 2009.

Al realizar la estimación por grupos de edad se observa que el mayor número de muertes evitables se encuentra en el grupo de más de 65 años en el cual se podrían evitar cerca de 600 muertes en la ZMVM bajo un escenario de reducción del promedio anual de  $\text{PM}_{10}$  a 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  utilizando los estimadores de ESCALA. En el caso de los menores de 1 año de edad, se estima que las muertes evitadas son de aproximadamente 150 por año, como se puede observar en la Gráfica 1.2.2.

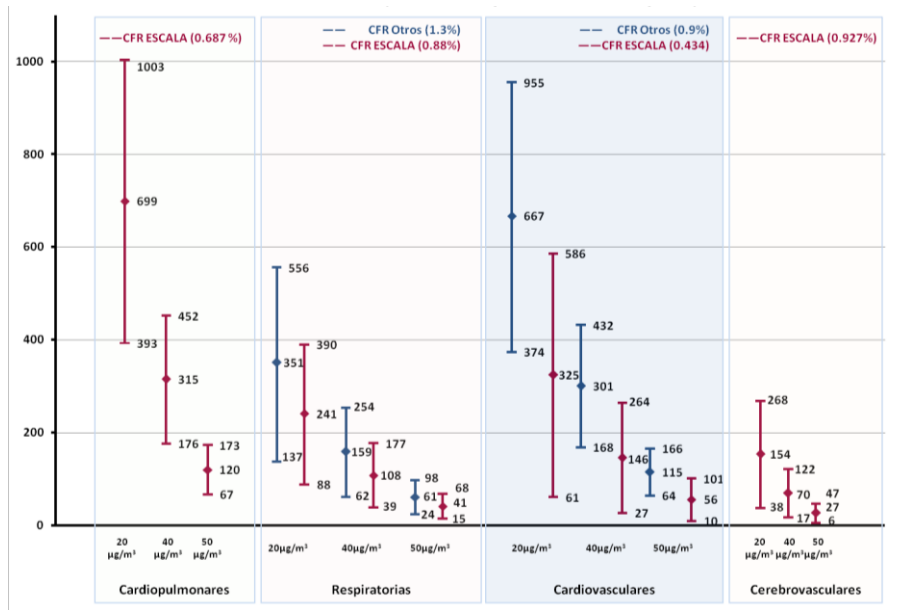
**Gráfica 1.2.2. Muertes evitables por año en la ZMVM, mortalidad por grupos específicos de edad en el corto plazo, bajo diferentes escenarios de concentración de  $\text{PM}_{10}$**



Fuente: Riojas et al., 2009.

Si se considera la clasificación que agrupa a los efectos por mecanismos específicos, se observa en la Gráfica 1.2.3 que los mayores beneficios en términos de muertes evitables corresponden al grupo de padecimientos cardiopulmonares.

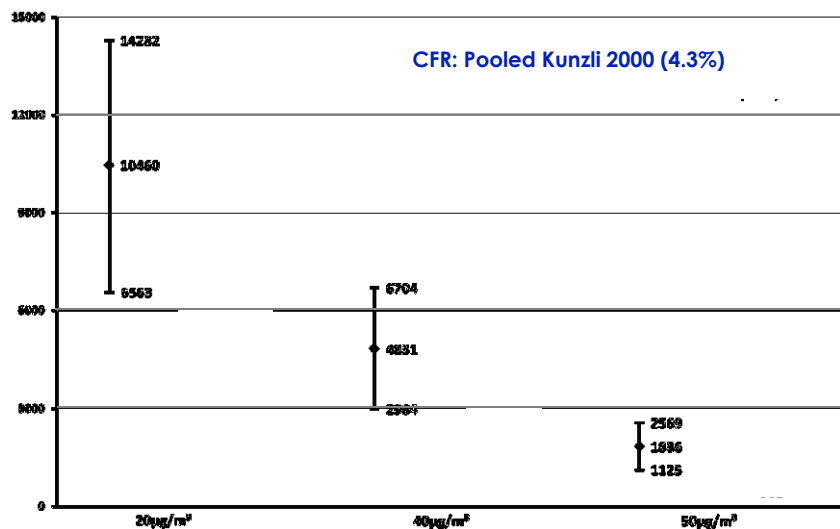
**Gráfica 1.2.3. Muertes evitables por año en la ZMVM, mortalidad por causas específicas en el corto plazo, bajo diferentes escenarios de concentración de PM<sub>10</sub>**



Fuente: Riojas et al., 2009.

En cuanto a la estimación de las muertes evitables en el largo plazo para mayores de 30 años de edad, la Gráfica 1.2.4 indica que aproximadamente el 40% de los 4,831 (para el grupo que aparece en el rango de los 40 µg/m<sup>3</sup>) se materializa en el primer año, el resto incluye las muertes por patologías crónicas que se evitarán después del primer año.

**Gráfica 1.2.4. Muertes evitables por año en la ZMVM, mortalidad mayores de 30 años en el largo plazo, bajo diferentes escenarios de concentración de PM<sub>10</sub> en la ZMVM**



Fuente: Riojas et al., 2009.

Dado que es improbable que la contaminación atmosférica disminuya de forma inmediata, se espera que las variaciones de mortalidad, morbilidad y hospitalizaciones también se produzcan de manera gradual (Kunzli y Perez, 2007). Observar y monitorear estos beneficios graduales es mucho más difícil que evaluar los cambios debidos a una reducción inmediata y drástica de la contaminación atmosférica. Además, pueden aparecer nuevos factores de riesgo o variaciones en los perfiles de riesgos existentes que, más adelante, interfieran en los beneficios esperados de largo plazo. Todo ello hace que las incertidumbres relativas a los impactos y beneficios a largo plazo sean mayores que las que afectan a aquéllos de corto plazo (Kunzli y Perez, 2007). Estas consideraciones permiten estimar que alrededor de un 40% del total de muertes atribuibles ocurren en el primer año (Kunzli y Perez, 2007). Bajo este modelo, de las 10,460 muertes evitables a largo plazo en la población de más de 30 años en la ZMVM (Tabla 1.2.2), 4,200 muertes se evitarían en el primer año y el resto se evitarían durante los siguientes 4 años.

**Tabla 1.2.2. Muertes evitables a largo plazo en personas mayores de 30 años como resultado de la reducción de PM<sub>10</sub> (Por zonas de la ZMVM presentadas en el Mapa 1.2.1)**

ZONA	CFR Pooled Kunzli 2000 (4.3%)			
	Escenarios	20 µg/m <sup>3</sup>	40 µg/m <sup>3</sup>	50 µg/m <sup>3</sup>
<b>Total zona de estudio</b>				
<b>Tasa mortalidad:</b> 9.27 por mil	Promedio	10,460	4,831	1,836
<b>Concentración:</b> 55.93 µg/m <sup>3</sup>	IC bajo	6,563	2,984	1,125
<b>Población:</b> 8'105,538	IC alto	14,282	6,704	2,569
<b>Zona 1</b>				
<b>Tasa mortalidad:</b> 9.30 por mil	Promedio	1,451	670	255
<b>Concentración:</b> 48.30 µg/m <sup>3</sup>	IC bajo	910	414	156
<b>Población:</b> 1'121,079	IC alto	1,981	930	356
<b>Zona 2</b>				
<b>Tasa mortalidad:</b> 9.61 por mil	Promedio	4,022	1,858	706
<b>Concentración:</b> 52.96 µg/m <sup>3</sup>	IC bajo	2,523	1,147	433
<b>Población:</b> 3'008,479	IC alto	5,491	2,578	988
<b>Zona 3</b>				
<b>Tasa mortalidad:</b> 9.18 por mil	Promedio	2,350	1,086	413
<b>Concentración:</b> 56.82 µg/m <sup>3</sup>	IC bajo	1,475	671	253
<b>Población:</b> 1'839,053	IC alto	3,209	1,507	577
<b>Zona 4</b>				
<b>Tasa mortalidad:</b> 9.95 por mil	Promedio	1,640	757	288
<b>Concentración:</b> 61.02 µg/m <sup>3</sup>	IC bajo	1,029	468	176
<b>Población:</b> 1'185,301	IC alto	2,239	1,051	403
<b>Zona 5</b>				
<b>Tasa mortalidad:</b> 7.54 por mil	Promedio	1,000	462	175
<b>Concentración:</b> 66.28 µg/m <sup>3</sup>	IC bajo	627	285	108
<b>Población:</b> 951,626	IC alto	1,365	641	246

Fuente: Riojas et al., 2009.

Utilizando las FCR de ESCALA relativas a mortalidad total, los datos de poblaciones de 2005 y los datos de concentraciones de PM<sub>10</sub> ponderados por población de acuerdo con los registros reportados por la red de monitoreo atmosférico se estimó que se evitaron 1,928 muertes en la ZMVM en el periodo 1997 a 2005 (Tabla 1.2.3).

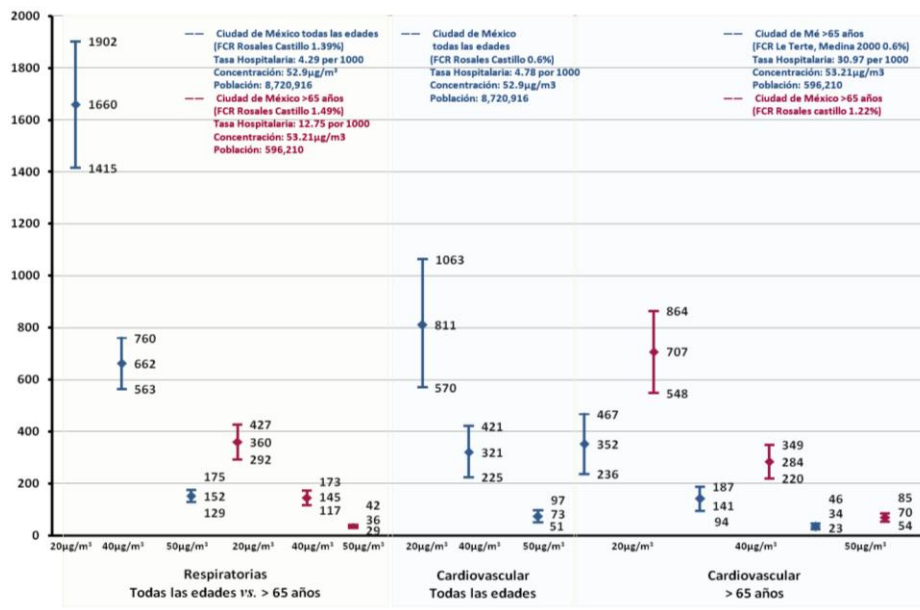
**Tabla 1.2.3. Estimación del número de muertes evitadas por reducción de PM<sub>10</sub>, 1997-2005**

Periodo	Muertes evitadas
1998-1999	1410 (IC 95%: 1043-1776)
1999-2000	65 (IC 95%: 48-82)
2000-2001	65 (IC 95%: 48-82)
2001-2002	65 (IC 95%: 48-82)
2003-2004	323 (IC 95%: 238-407)
1997-2005	1928 (suma de muertes evitadas en el periodo)

Nota: En los años no incluidos en la tabla, no hubo muertes evitadas, puesto que las concentraciones no disminuyeron o aumentaron.

Las hospitalizaciones causadas por exposición a PM<sub>10</sub> también disminuirían para grupos susceptibles de la población, como el de los ancianos (Riojas et al., 2009).

**Gráfica 1.2.5. Hospitalizaciones evitables por causas respiratorias para PM<sub>10</sub> en la ZMVM**



Fuente: Riojas et al., 2009.

Con relación a la contaminación por metales pesados unidos a las partículas se ha observado una serie de efectos, tales como: taquicardia, incremento de la presión sanguínea y anemia debido al efecto inhibitorio de la hematopoyesis, además de un incremento en los niveles de triglicéridos, neurotoxicidad, daños al riñón tales como una disfunción inicial tubular evidenciada por un incremento en la excreción de proteínas de bajo peso molecular, el cual progresa en un decremento del ritmo de filtración glomerular (Krewski y Rainham, 2007).

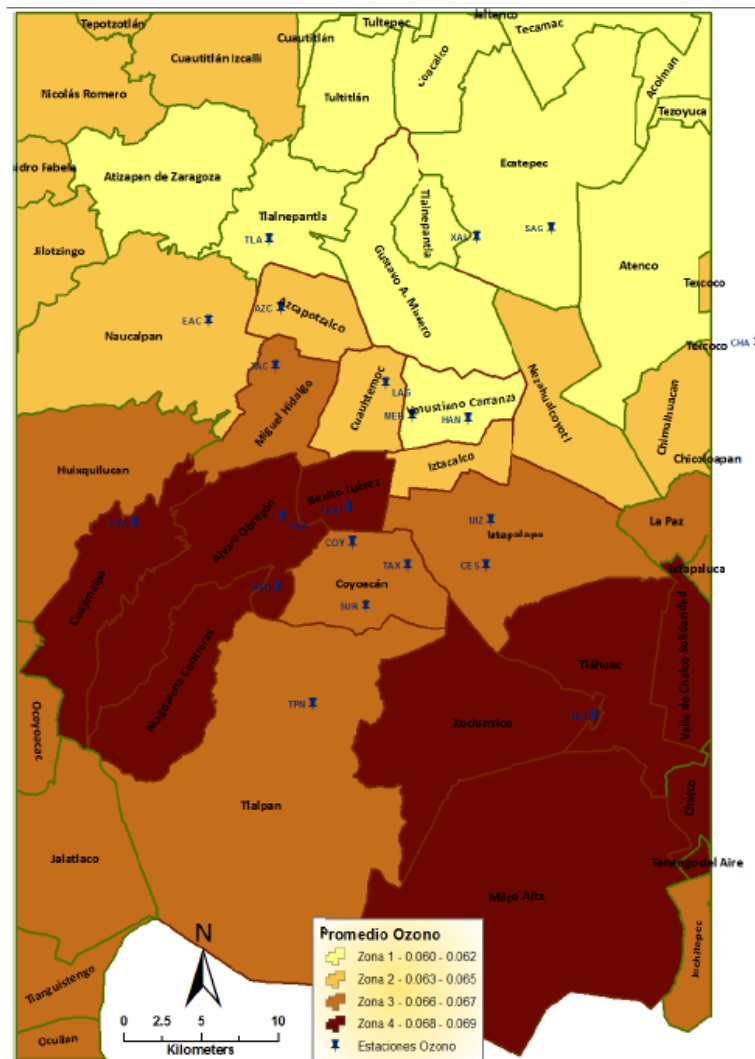
Por otro lado, los compuestos tanto orgánicos como inorgánicos que componen las partículas pueden provocar efectos genotóxicos, aunque no está claro todavía en qué grado (Kampa y Castanas, 2008).

### 1.3 Efectos del ozono sobre la salud

El ozono afecta particularmente a los pulmones, penetrando al epitelio alveolar e iniciando un proceso de inflamación pulmonar (Kampa y Castanas, 2008). Una exposición crónica al ozono reduce la función pulmonar y provoca síntomas respiratorios como tos, flemas y sibilancias, los cuales pueden agravar el asma, el enfisema e incluso el cáncer de pulmón.

Los estudios epidemiológicos realizados en la ZMVM (Mapa 1.3.1) han encontrado evidencia que asocia al  $O_3$  con un incremento en las tasas de mortalidad (CAM, 2002), en las visitas a salas de emergencia por asma (CAM, 2002) y por infecciones respiratorias (Evans et al., 2002) así como en los síntomas de padecimientos de las vías respiratorias altas (Borja et al., 2000). Además, el ozono también es responsable de ciertas complicaciones respiratorias en niños asmáticos y de la aparición de patrones de variabilidad en la frecuencia cardiaca en adultos mayores.

**Mapa 1.3.1. Distribución espacial de la concentración de ozono en la ZMVM, 2005**



Nota: Media aritmética de los máximos promedios móviles de 8 horas de cada día del año 2005.

Fuente: Riojas et al., 2009.

El total de muertes evitables por año relativas a la disminución de la concentración promedio de ozono para la ZMVM varía de acuerdo al estimador utilizado. En el caso del estimador de ESCALA una reducción en la concentración de ozono a 50 ppb evitaría cerca de 400 muertes en la ZMVM (Tabla 1.3.1).

**Tabla 1.3.1. Muertes evitables por año bajo diferentes escenarios de reducción en las concentraciones de O<sub>3</sub> para toda la zona de estudio**

Zona	CFR Ito y De León (0.53%)				CFR ESCALA (0.326)		
	Escenarios	50 ppb	60 ppb	Disminución 5%	50 ppb	60 ppb	Disminución 5%
<b>ZMVM</b>							
Tasa mortalidad: 4.75 por mil Concentración: 63.76 ppb Población: 18'419,138	Promedio	631	173	147	389	107	90
	IC bajo	441	121	102	219	60	51
	IC alto	796	218	185	559	153	130
<b>Zona 1</b>							
Tasa mortalidad: 4.50 por mil Concentración: 60.93 ppb Población: 6'404,612	Promedio	165	14	46	102	9	28
	IC bajo	116	10	32	57	5	16
	IC alto	209	18	58	146	12	41
<b>Zona 2</b>							
Tasa mortalidad: 5.03 por mil Concentración: 63.79577 ppb Población: 6'426,114	Promedio	233	64	54	144	40	33
	IC bajo	163	45	38	81	22	19
	IC alto	295	81	68	207	57	48
<b>Zona 3</b>							
Tasa mortalidad: 4.80 por mil Concentración: 66.21163 ppb Población: 4'271,592	Promedio	123	47	25	76	29	16
	IC bajo	86	33	18	43	16	9
	IC alto	155	60	32	109	42	22
<b>Zona 4</b>							
Tasa mortalidad: 4.33 por mil Concentración: 67.840 ppb Población: 2'572,692	Promedio	104	46	20	64	28	12
	IC bajo	73	32	14	36	16	7
	IC alto	131	58	25	92	41	18

Fuente: Riojas et al., 2009.

Al igual que para PM<sub>10</sub> el mayor número de muertes evitables se encuentra en el grupo de mayores de 65 años, para el cual conforme al estimador de ESCALA se evitarían en la ZMVM cerca de 300 muertes al año bajo el escenario de reducción a 50 ppb,

evitando asimismo alrededor de 140 muertes por causas cardiopulmonares, 90 por cardiovasculares y 30 por cerebro vasculares (Tablas 1.3.2 y 1.3.3).

De acuerdo a la normatividad vigente, en el período 1997- 2005 se evitaron alrededor de 800 muertes, esto resulta importante dada la tendencia histórica en la concentración de ozono y sus precursores, lo que implica que intervenciones más eficientes en la reducción y control de emisiones de este contaminante implicarían reducciones aún más importantes en la mortalidad derivada de la exposición.

**Tabla 1.3.2. Muertes evitables por año bajo diferentes escenarios de reducción en las concentraciones de O<sub>3</sub> por tipo de causa**

PARA TODA LA ZONA DE ESTUDIO						
	CFR OMS			CFR ESCALA		
	50 ppb	60 ppb	Disminución 5%	50 ppb	60 ppb	Disminución 5%
<b>Total</b>	613 (441-796)	173 (121-218)	147 (102-185)	389 (219-559)	107 (60-153)	90 (51-130)
> 65 años	541 (201-887)	150 (56-246)	126 (47-207)	294 (195-393)	81 (54-108)	68 (45-91)
Por causas cardiopulmonares > 65 años	SD	SD	SD	141 (70-212)	39 (19-58)	33 (16-49)
Por causas respiratorias	SD	SD	SD	126 (6-246)	35 (2-68)	29 (1-57)
Por causas cardiovasculares en > 65 años	SD	SD	SD	89 (28-150)	25 (8-41)	21 (6-35)
Por causas cerebro vasculares > 65 años	SD	SD	SD	30 (1-58)	8 (0-16)	7 (0-13)

Cardiopulmonar: respiratoria + cardiovascular + 160-170, 174-182

Cerebro vascular: 160-169

Respiratoria: J00-J32, J37, J40-J46, J68, J80, J84-J90

Cardiovascular: I10-I33, I40-I50

SD: Sin datos.

**Tabla 1.3.3. Estimación del número de muertes evitadas por O<sub>3</sub> 1997-2005**

Periodo	Muertes evitadas
1997-1998	57 (IC 95%: 32-81)
1998-1999	142 (IC 95%: 80-203)
2000-2001	255 (IC 95%: 143-366)
2001-2002	57 (IC 95%: 32-81)
2002-2003	28 (IC 95%: 16-41)
2003-2004	255 (IC 95%:143-366)
1997-2005	794

Nota: En los años no incluidos en la tabla, no hubo muertes evitadas, puesto que las concentraciones no disminuyeron o aumentaron.

Si se redujera la concentración de los promedios máximos móviles al año de O<sub>3</sub> a 50 ppb, se podrían evitar cerca de 2,000 hospitalizaciones al año por causas respiratorias y 430 por causas cardiovasculares en la población de la ZMVM (Tabla 1.3.4).

**Tabla 1.3.4. Hospitalizaciones evitables por tipo de causa ante diversos escenarios de reducción de las concentraciones de O<sub>3</sub>**

<b>Hospitalizaciones evitables por causas respiratorias por año</b>				
<b>Zona</b>	<b>Escenarios</b>	<b>50 ppb</b>	<b>60 ppb</b>	<b>Dism.5%</b>
<b>Todas edades</b>				
CFR Rosales-Castillo (3.76%) Tasa hospít: 4.29 por mil Concentración: 64.93 µg/m <sup>3</sup> Población: 8'720,916	Promedio	2,000	672	440
	IC bajo	249	82	54
	IC alto	3,608	1,232	809
<b>Mayores de 65 años</b>				
CFR Rosales-Castillo (2.83%) Tasa mortalidad: 12.75 por mil Concentración: 64.7 µg/m <sup>3</sup> Población: 596,210	Promedio	302	98	67
	IC bajo	185	60	41
	IC alto	416	135	93
<b>Hospitalizaciones evitables por causas cardiovasculares por año</b>				
<b>Todas edades</b>				
CFR Rosales-Castillo (0.7%) Tasa mortalidad: 4.78 por mil Concentración: 52.96 µg/m <sup>3</sup> Población: 8'720,916	Promedio	430	142	93
	IC bajo	185	61	40
	IC alto	612	203	133

Fuente: Riojas et al., 2009.

Es importante mencionar que los beneficios presentados en estas tablas y gráficas se estimaron con base en dos efectos reversibles de la contaminación sobre la salud, a saber, las muertes evitables y las hospitalizaciones. No se han incorporado episodios tales como el incremento de enfermedades respiratorias agudas de las vías superiores, los cuales son en su mayoría casos ambulatorios que no llegan a convertirse en hospitalizaciones. Sin embargo y como se mencionó en la primera parte de este capítulo, estos costos incluyen costos de oportunidad, costos privados para familias y empresas, así como costos asociados tanto a la pérdida de productividad laboral y escolar como costos relativos a la pérdida de competitividad de todo tipo de organizaciones económicas y sociales.

#### **1.4 Efectos del monóxido de carbono sobre la salud**

Los efectos agudos del CO reducen la disponibilidad de oxígeno y pueden afectar el funcionamiento de diferentes órganos, especialmente al cerebro y al corazón por ser más sensibles al oxígeno, lo cual provoca dificultades para concentrarse, bajos reflejos y confusión (Kampa y Castanas, 2008). El CO puede afectar las funciones mentales y el estado de alerta aun en exposición a bajas concentraciones. Los síntomas clásicos de la intoxicación por CO son: dolores de cabeza y mareos, cuando los niveles de carboxi hemoglobina (COHb) se sitúan entre 10 y 30%; dolor de cabeza severo, cuando dichos niveles suben de 30%, y riesgo considerable de coma y muerte, cuando las concentraciones de COHb se ubican por arriba del 40% (Romieu y Korc, 2002).

En cuanto a la relación entre CO y PM<sub>2.5</sub> con la variabilidad de la frecuencia cardiaca, se ha encontrado que en pacientes con padecimientos isquémicos del corazón la exposición a estos contaminantes está significativamente asociada a alteraciones de la regulación autónoma cardiaca (Riojas et al., 2006).



### **1.5 Efectos del dióxido de nitrógeno sobre la salud**

El NO<sub>2</sub> es un gas poco soluble, irritante y oxidante que puede alcanzar los bronquiolos y los alvéolos (Quénel et al., 2003). Después de exposiciones a NO<sub>2</sub> se presentan síntomas como irritación de nariz y garganta, seguidos de bronco-constricción y disnea, especialmente en individuos asmáticos y se incrementa la susceptibilidad a infecciones respiratorias (Kampa y Castanas, 2008). La exposición crónica a este contaminante puede disminuir las defensas contra infecciones respiratorias.

### **1.6 Efectos del dióxido de azufre sobre la salud**

La respuesta del organismo a concentraciones elevadas de SO<sub>2</sub> se manifiesta por síntomas como tos, irritación de nariz y garganta, seguidos de bronco-constricción y disnea, especialmente en individuos asmáticos; estos síntomas se ven agravados si la exposición se da en combinación con ejercicio físico (Quénel et al., 2003; Kampa y Castanas, 2008).

### **1.7 Efectos de los compuestos orgánicos volátiles sobre la salud**

En años recientes se han incrementado los estudios sobre las mezclas complejas de contaminantes atmosféricos, como por ejemplo los compuestos orgánicos volátiles, que además de su función como precursores de la formación de ozono y otros oxidantes son motivo de especial preocupación debido a la alta toxicidad de algunos de ellos en los seres humanos. Entre ellos, hay un grupo que en particular es de gran importancia por sus efectos tanto cancerígenos como no cancerígenos, formado por el benceno, el tolueno, el etil-benceno y el xileno (BTEX). Los estudios toxicocinéticos de estos compuestos indican que hay una buena absorción por la vía inhalatoria y pueden ocasionar daño neurológico a través de cambios físicos y químicos en las membranas del sistema nervioso (Wallace, 1990). La exposición al benceno está asociada adicionalmente con efectos hematotóxicos no cancerígenos incluyendo anemia aplásica, así como efectos cancerígenos, leucemia mieloblástica aguda ocasionada vía la acción de metabolitos reactivos, así como los efectos neurológicos agudos críticos compartidos por los cuatro compuestos BTEX y el efecto crónico único del benceno (hematotóxico/inmunotóxico/carcinogénico). Por lo cual es importante desarrollar un programa continuo y de amplia cobertura de monitoreo atmosférico de compuestos orgánicos volátiles (COV), así como una normatividad para estos compuestos tóxicos que permita evaluar el riesgo sanitario al que se encuentran expuestos los habitantes de la ZMVM.

### **1.8 Efectos de los hidrocarburos aromáticos policíclicos sobre la salud**

Otro grupo importante de compuestos asociados a la materia orgánica presente en las partículas del aire ambiente, son los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP). Son compuestos semivolátiles que se forman por la fusión de dos o más anillos bencénicos, son insolubles en agua, se adsorben en las partículas atmosféricas y son posiblemente los principales responsables de la producción de cáncer (Freudenthal y Jones, 1976) y de mutaciones (De Marini et al., 1994; De Marini et al., 1996). Por ello, los HAP han sido considerados como marcadores de la calidad del aire en términos del riesgo que implica su presencia, debido a su mutagenicidad y carcinogenicidad (De Raat et al., 1987, De Raat et al., 1988; Muñoz et al., 2001), aunque la identificación de los compuestos responsables de efectos en la salud es una línea de investigación que se encuentra en pleno desarrollo.

La razón por la que se ha enfocado la atención en estos compuestos, es debido a que varios de ellos se consideran cancerígenos, principalmente los de cinco anillos (Dichut et al., 2000). Los HAP se producen por un proceso pirolítico durante la combustión incompleta de combustibles fósiles (Sanderson y Farant, 2000). Debido a que se reconoce su potencial riesgo a la salud, se han realizado diversos estudios sobre la presencia de estos compuestos en atmósferas urbanas (Caricchia et al., 1999; Harrison et al., 1996; Rocha et al., 1999; Castellano et al., 2003).

### **1.9 Efectos de la temperatura en las concentraciones de ozono y las consecuencias en la salud humana**

En el contexto de la preocupación sobre cambio climático en México se han empezado a realizar estudios sobre los cambios de temperatura en las grandes ciudades y las repercusiones asociadas a ciertos padecimientos, principalmente en grupos vulnerables.

En uno de los estudios más recientes realizados para la ZMVM, relativo al efecto de la temperatura y su interacción con el ozono sobre las admisiones hospitalarias en grupos poblacionales vulnerables<sup>5</sup>, los autores evaluaron los efectos de los cambios en el clima, en los niveles de contaminación por ozono y sus consecuencias en la salud de la población de la ZMVM con datos de las admisiones hospitalarias de 1998 al 2007. Se analizaron series de tiempo de datos de salud, contaminación y clima de la ZMVM para el periodo que va de enero de 2000 a diciembre de 2002.

Los datos provienen del sistema automatizado de ingresos hospitalarios (SAIH) que es una base de datos de todos los hospitales de la Secretaría de Salud tanto a nivel federal como a nivel estatal, en la cual se registran los motivos de atención de pacientes hospitalizados, clasificadas de acuerdo al Código Internacional de Enfermedades (CIE). Se estima que en el sistema se registran más del 90% de las hospitalizaciones de la Secretaría de Salud (SSA).

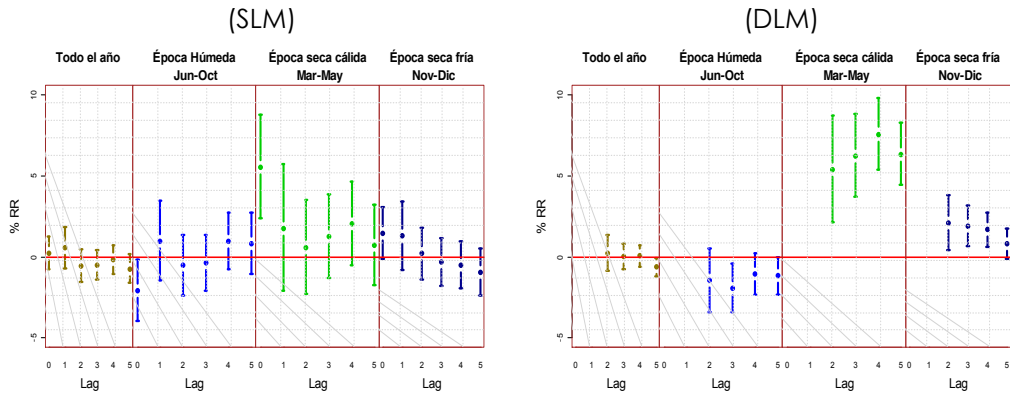
Para fines del estudio se analizó el comportamiento de los datos ambientales y de salud en tres estaciones del año: seca caliente que comprende los meses de marzo a mayo, húmeda que comprende los meses de junio a octubre y seca fría, de noviembre a febrero. La gráfica siguiente muestra el porcentaje de cambio de riesgo de admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias en el grupo de menores de 5 años, por el aumento de 1° C de la temperatura máxima diaria con dos modelos: el de riesgo simple (SLM) y el de riesgo acumulado (DLM).

Si bien se observa que con el uso de los dos modelos de riesgo, el simple (SLM) y el de riesgo acumulado (DLM), los riesgos de admisiones hospitalarias son mayores en la temporada seca-cálida, los autores comentan que los resultados del trabajo no son concluyentes en lo que se refiere a los impactos de la temperatura en los grupos y períodos de estudio, lo cual deja abierta la puerta para continuar con este tipo de investigaciones.

---

<sup>5</sup> H. Riojas Rodríguez, M. Hurtado Díaz, A. Brito Hernández y J.L. Texcalac Sangrador. Efecto de la temperatura y su interacción con el ozono sobre las admisiones hospitalarias en la Ciudad de México de 1998 al 2007: grupos poblacionales vulnerables. Centro Virtual de Cambio Climático de la Ciudad de México (CVCCCM), Universidad Nacional Autónoma de México y Gobierno del Distrito Federal, 2009.

**Gráfica 1.9.1. Porcentaje de cambio de riesgo de admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias en el grupo de menores de 5 años, por el aumento de 1° C de la temperatura máxima diaria**



Fuente: Riojas et al., 2009.

### 1.10 Comentarios finales

Una parte de la evidencia científica presentada en este capítulo, es un resumen de los resultados más representativos de los estudios recientes para la ZMVM sobre los efectos de la contaminación atmosférica en la salud de la población. En ese contexto es necesario destinar más recursos para avanzar en la comprensión de los efectos de contaminantes que no han sido suficientemente estudiados sobre la salud de la población en general y sobre grupos específicos de riesgo en lo particular.

Como complemento de lo anterior seguirá siendo importante tomar en cuenta los estudios realizados en otras ciudades del mundo, si bien hechos en condiciones distintas, pero que llaman la atención sobre diversos efectos atendibles de la contaminación en la salud de la población. Por ejemplo, el estudio denominado Harvard Study (Pope, et al., 2009) ha encontrado que como resultado de la disminución gradual de los niveles de contaminación del aire en 51 ciudades de los Estados Unidos durante los años 80 y 90, se ha alcanzado un aumento en la esperanza de vida de su población de aproximadamente 5 meses; o el estudio de la APHEIS<sup>6</sup> que se refiere a partículas menores de 2.5 micrómetros y que documentó que la reducción de la exposición crónica a niveles de 15 microgramos por metro cúbico incrementaría la esperanza de vida de la población entre un mes y más de dos años.

Finalmente, sobra decir que el consenso entre especialistas nacionales e internacionales es unánime en el sentido de ubicar y mantener el problema de la contaminación atmosférica como un asunto prioritario de salud pública, lo cual en el caso de México debe pasar por la revisión de las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes. La última tabla de este capítulo (Tabla 1.10.1) muestra las diferencias entre las normas mexicanas y las utilizadas en la Unión Europea y en los Estados Unidos, así como las sugeridas por organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud. La reducción de esas diferencias es un pendiente que se retoma como parte de la primera estrategia de este programa para mejorar la calidad del aire en la ZMVM 2011-2020.

<sup>6</sup> APHEIS-3 (Air Pollution and Health: A European Information System), Monitoring the Health Effects of Air Pollution in Europe, [www.apheis.org/index.html](http://www.apheis.org/index.html).

**Tabla 1.10.1. Normas, directivas y criterios de calidad del aire de México, de la Unión Europea y de los Estados Unidos de América, así como los valores guía sugeridos por la Organización Mundial de la Salud**

Contaminante	Período promedio de exposición	Unidades	Valores límite						
			México			Unión Europea	US-EPA	EPA California	OMS
			NOM vigente	Exposición aguda (frecuencia máxima aceptable)	Exposición crónica (concentración y tiempo promedio)				
PST	24 hr	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Modificación a la NOM-025-SSA-1993	210 (A)	-	-	-	-	-
PM <sub>10</sub>	Anual	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Modificación a la NOM-025-SSA-1993		50 (promedio aritmético/año)	40	-	20	20
	24 hr	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		120 (A)		50	150	50	50
PM <sub>2.5</sub>	Anual	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Modificación a la NOM-025-SSA-1993		15 (promedio aritmético/año)	25	15	12	10
	24 hr	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		65 (A)		40	35	35	25
O <sub>3</sub>	MDPM 8 hr	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ppm	Modificación a la NOM-020-SSA1-1993	157 (QMA)	-	120	147	137	100
	1 hr	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ppm		0.08 216 (NVA) 0.11		0.06 - -	0.075 - -	0.07 180 0.09	0.05 - -
CO	MDPM 8 hr	( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) ppm	NOM-021-SSA1-1993	12.6 (A)	-	10	10	10	-
	1 hr	( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) ppm		11 - -		9 40 35	9 40 35	9 23 20	10 30 -
SO <sub>2</sub>	8 hr	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ppm	NOM-022-SSA1-2010	524 (2A)	66 0.025 (promedio aritmético/año)	-	80	-	-
	24 hr	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ppm		0.2 288 (A) 0.110		- 125 0.047	0.03 365 0.14	- 105 0.04	- 20 0.007
NO <sub>2</sub>	Anual	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ppm	NOM-023-SSA1-1993	-	-	40	100	57	40
	1 hr	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ppm		- 395 (A) 0.21		- 200 -	0.053 - -	0.030 339 0.18	- 200 -
Pb	-	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	NOM-026-SSA1-1993	-	1.5 (promedio aritmético/trimestre)	0.5	1.5	1.5	0.5

MDPM: máximo diario de promedios móviles; QMA: quinto máximo en un año; NVA: ninguna vez al año; A: una vez al año; 2A: dos veces al año.



# Capítulo 2

## Inventarios de emisiones de la ZMVM

---

La medición y el registro espacial y temporal de los contaminantes atmosféricos más importantes desde el punto de vista de la salud de la población, así como una buena estimación de las emisiones a la atmósfera son aspectos torales y requisitos imprescindibles para desarrollar y mantener una gestión eficaz de la calidad del aire. En este capítulo se da cuenta de los inventarios de emisiones de la ZMVM para el año 2008, de los "contaminantes criterio", de los contaminantes tóxicos y de los compuestos y gases de efecto invernadero. Se identifican asimismo las fuentes de generación simultánea, o multicontaminantes\*, más importantes de la ZMVM, entre las que destaca el sector de los automóviles.

### **2.1 Emisiones de contaminantes criterio**

Los contaminantes que conforman este grupo fueron los primeros en ser estudiados sistemáticamente en varios países, debido a la evidencia que empezó a obtenerse sobre sus efectos dañinos a la salud humana. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA por sus siglas en inglés) los llamó "contaminantes criterio" porque sus normas de calidad del aire se basaban en el conocimiento plasmado en documentos llamados "documentos criterio." Actualmente el término se ha adoptado en muchos países y es convencionalmente aceptado para referirse a los contaminantes siguientes: Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>), Bióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>), partículas o material particulado (MP), Plomo (Pb), Monóxido de Carbono (CO), Compuestos Orgánicos Volátiles (COV), Compuestos Orgánicos Totales (COT) y ozono (O<sub>3</sub>).

---

\* La información para elaborar este capítulo se tomó principalmente de los documentos:

- 1) Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM del año 2008, Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, 2010.
- 2) Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la ZMVM del año 2008, Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, 2010.
- 3) Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y Carbono Negro de la ZMVM del año 2008, Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, 2010.

### 2.1.1 Distribución temporal

Los inventarios de emisiones que se han elaborado para la ZMVM incluyen, además de la cuantificación desagregada de las emisiones por tipo de fuente, categoría o subsector, la variación temporal y la distribución espacial de las emisiones contaminantes. En la Tabla 2.1.1 se presenta el inventario de emisiones de la ZMVM según los días de la semana.

**Tabla 2.1.1. Inventario de emisiones de la ZMVM por tipo de día de la semana, 2008**

Contaminante		Promedio de emisiones (ton/semana)	Promedio de emisiones (ton/día)		
			Entre semana	Sábado	Domingo
Partículas menores a 10 micrómetros	PM <sub>10</sub>	452	67	63	54
Partículas menores a 2.5 micrómetros	PM <sub>2.5</sub>	102	15	14	13
Dióxido de azufre	SO <sub>2</sub>	130	21	14	11
Monóxido de carbono	CO	30,135	4,284	4,571	4,144
Óxidos de nitrógeno	NO <sub>x</sub>	3,622	519	541	486
Compuestos orgánicos volátiles	COV	11,217	1,666	1,557	1,330

Nota: No se incluyen las emisiones de los incendios forestales y estructurales, así como las emisiones de partículas provenientes de la erosión eólica del suelo. La suma de los totales puede variar debido al redondeo de las cifras.

Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

En la Tabla 2.1.2 se presenta el promedio diario de las emisiones por temporada climática, observándose que en el caso de las partículas suspendidas las variaciones llegan a ser casi del doble entre la temporada de lluvias y la seca fría (noviembre a febrero). Los otros contaminantes presentan variaciones pequeñas entre temporadas climáticas.

**Tabla 2.1.2. Inventario de emisiones por temporada climática de la ZMVM, 2008**

Temporada	Emisiones promedio (ton/día)					
	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV
Seca fría	92.0	17.2	18.3	4,292.5	514.5	1,611.5
Seca caliente	64.6	14.5	18.3	4,292.4	514.9	1,641.6
Lluvias	46.8	12.9	18.4	4,293.1	515.8	1,613.9

Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

### 2.1.2 Emisiones anuales de contaminantes criterio de la ZMVM

A continuación, en las Tablas 2.1.3, 2.1.4 y 2.1.5, se presenta el inventario de las emisiones anuales de contaminantes criterio en la ZMVM, primero en valores agregados y posteriormente desglosado por tipo de fuente en peso y porcentaje.

**Tabla 2.1.3. Inventario de emisiones anuales de la ZMVM, agregados 2008**

Sector	Emisiones															
	PM <sub>10</sub>		PM <sub>2.5</sub>		SO <sub>2</sub>		CO		NO <sub>x</sub>		COT		COV		NH <sub>3</sub>	
	(ton/año)	(%)	(ton/año)	(%)	(ton/año)	(%)	(ton/año)	(%)	(ton/año)	(%)	(ton/año)	(%)	(ton/año)	(%)	(ton/año)	(%)
Fuentes puntuales	4,986	20.5	859	15.6	3,375	50.3	6,961	0.4	20,094	10.7	134,201	14.2	129,178	21.8	181	0.9
Fuentes de área	14,678	60.4	1,643	29.9	23	0.3	9,263	0.6	12,043	6.4	581,729	61.4	241,252	40.8	15,198	75.3
Fuentes móviles	3,902	16.1	2,849	51.8	3,306	49.3	1'552,204	99.0	154,919	82.4	195,218	20.6	185,384	31.3	4,798	23.8
Vegetación y suelos	730	3.0	148	2.7	NA	NA	NA	NA	1,031	0.5	35,585	3.8	35,585	6.0	NA	NA
<b>Total</b>	<b>24,296</b>	<b>100</b>	<b>5,499</b>	<b>100</b>	<b>6,704</b>	<b>100</b>	<b>1'568,428</b>	<b>100</b>	<b>188,087</b>	<b>100</b>	<b>946,733</b>	<b>100</b>	<b>591,399</b>	<b>100</b>	<b>20,177</b>	<b>100</b>

NA: No es aplicable.

Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

De acuerdo con este inventario, las fuentes en su conjunto emiten aproximadamente 2.7 millones de toneladas de contaminantes por año, de las cuales el 70% corresponde a las fuentes móviles, el 23% a las fuentes de área, el 6% a las fuentes puntuales y el 1% a la vegetación y suelos.



**Tabla 2.1.4. Inventario desagregado de emisiones anuales de la ZMVM 2008, en ton/año**

Sector	Emisiones (ton/año)							
	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COT	COV	NH <sub>3</sub>
<b>Fuentes puntuales</b>	<b>4,986</b>	<b>859</b>	<b>3,375</b>	<b>6,961</b>	<b>20,094</b>	<b>134,201</b>	<b>129,178</b>	<b>181</b>
Productos alimenticios, bebidas y tabaco	869	72	136	433	1,414	7,678	7,432	13
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero	466	32	145	134	350	11,869	11,845	7
Industria de la madera y productos de madera	111	9	148	11	33	1,765	1,745	NS
Papel y productos de papel, imprenta y editoriales	139	75	513	475	1,221	23,941	23,035	15
Sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del cartón, de hule y de plástico	784	91	843	661	1,515	66,004	64,149	38
Productos minerales no metálicos	1,414	282	1,109	942	1,601	1,511	1,315	21
Industrias metálicas básicas	155	26	212	596	1,876	2,961	2,080	7
Productos metálicos, maquinaria y equipo	824	71	210	1,511	991	16,382	15,940	10
Otras industrias manufactureras	27	4	44	20	118	1,805	1,495	1
Generación de energía eléctrica	197	197	15	2,178	10,975	285	142	69
<b>Fuentes de área</b>	<b>14,678</b>	<b>1,643</b>	<b>23</b>	<b>9,263</b>	<b>12,043</b>	<b>581,729</b>	<b>241,252</b>	<b>15,198</b>
Combustión comercial institucional	58	58	NS	618	1,061	82	52	NE
Combustión habitacional	257	257	1	2,563	4,542	352	224	1
Operación de aeronaves	27	26	NS	4,083	4,816	2,139	2,053	NE
Recubrimiento de superficies industriales	NA	NA	NA	NA	NA	25,298	24,994	NA
Pintura automotriz	NA	NA	NA	NA	NA	2,767	2,711	NA
Recubrimiento de superficies arquitectónicas	NA	NA	NA	NA	NA	26,879	23,403	NA
Limpieza de superficies industriales	NA	NA	NA	NA	NA	35,576	21,346	NA
Lavado en seco	NA	NA	NA	NA	NA	11,872	7,614	NA
Artes gráficas	NA	NA	NA	NA	NA	7,905	7,905	NA
Distribución y almacenamiento de GLP	NA	NA	NA	NA	NA	4,713	4,637	NA
Fugas en instalaciones de GLP	NA	NA	NA	NA	NA	28,418	27,964	NA
HCNQ en la combustión de GLP	NA	NA	NA	NA	NA	35,223	34,658	NA
Rellenos sanitarios	NA	NA	NA	141	NA	299,791	11,643	NE
Caminos pavimentados	2,693	NS	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Caminos sin pavimentar	11,459	1,138	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Productos de cuidado personal	NA	NA	NA	NA	NA	30,042	20,729	NA
Productos de consumo doméstico	NA	NA	NA	NA	NA	10,278	7,091	NA
Plaguicidas	NA	NA	NA	NA	NA	23,124	15,956	NA
Productos para el cuidado automotriz	NA	NA	NA	NA	NA	17,393	12,001	NA
Adhesivos y selladores	NA	NA	NA	NA	NA	7,511	5,182	NA
Otras fuentes de área	184	154	22	1,858	1,624	12,367	11,089	15,197
<b>Fuentes móviles</b>	<b>3,902</b>	<b>2,849</b>	<b>3,306</b>	<b>1'552,204</b>	<b>154,919</b>	<b>195,218</b>	<b>185,384</b>	<b>4,798</b>
Autos particulares	963	511	1,665	638,104	60,662	94,089	90,653	3,396
Taxis	183	96	322	190,259	20,995	15,655	14,362	658
Vagonetas y combis	49	31	87	114,161	5,868	8,290	7,585	124
Microbuses	52	30	102	106,237	10,923	15,619	14,063	236
Pick up	68	41	118	106,005	4,930	9,990	9,526	170
Vehículos de carga de hasta 3 toneladas	103	85	100	44,535	2,791	4,999	4,816	63
Tractocamiones	1,455	1,218	241	27,177	16,702	4,777	4,544	27
Autobuses	391	338	402	35,267	22,005	5,887	5,588	28
Vehículos de carga mayores a 3 toneladas	541	443	178	134,444	8,194	8,646	7,985	55
Motocicletas	91	53	88	155,951	1,648	27,228	26,225	41
Metrobuses	6	3	3	64	201	38	37	NS
<b>Vegetación y suelos</b>	<b>730</b>	<b>148</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>1,031</b>	<b>35,585</b>	<b>35,585</b>	<b>NA</b>
Vegetación	NA	NA	NA	NA	1,031	35,585	35,585	NA
Erosión eólica del suelo	730	148	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>Total</b>	<b>24,296</b>	<b>5,499</b>	<b>6,704</b>	<b>1'568,428</b>	<b>188,087</b>	<b>946,733</b>	<b>591,399</b>	<b>20,177</b>

NA: No es aplicable; NS: No significativo; NE: No estimado; HCNQ: Hidrocarburos no quemados.

Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

**Tabla 2.1.5. Inventario desagregado de emisiones anuales de la ZMVM 2008, porcentajes**

Sector	Emisiones (%)							
	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COT	COV	NH <sub>3</sub>
<b>Fuentes puntuales</b>	<b>20.52</b>	<b>15.62</b>	<b>50.34</b>	<b>0.44</b>	<b>10.68</b>	<b>14.18</b>	<b>21.84</b>	<b>0.90</b>
Productos alimenticios, bebidas y tabaco	3.58	1.31	2.03	0.03	0.75	0.81	1.26	0.06
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero	1.92	0.58	2.16	0.01	0.19	1.25	2.00	0.03
Industria de la madera y productos de madera	0.46	0.16	2.21	0.00	0.02	0.19	0.30	NS
Papel y productos de papel, imprenta y editoriales	0.57	1.36	7.65	0.03	0.65	2.53	3.90	0.07
Sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del cartón, de hule y de plástico	3.23	1.65	12.57	0.04	0.81	6.97	10.85	0.19
Productos minerales no metálicos	5.82	5.13	16.54	0.06	0.85	0.16	0.22	0.10
Industrias metálicas básicas	0.64	0.47	3.16	0.04	1.00	0.31	0.35	0.03
Productos metálicos, maquinaria y equipo	3.39	1.29	3.13	0.10	0.53	1.73	2.70	0.05
Otras industrias manufactureras	0.11	0.07	0.66	0.00	0.06	0.19	0.25	0.00
Generación de energía eléctrica	0.81	3.58	0.22	0.14	5.84	0.03	0.02	0.34
<b>Fuentes de área</b>	<b>60.41</b>	<b>29.88</b>	<b>0.34</b>	<b>0.59</b>	<b>6.40</b>	<b>61.45</b>	<b>40.79</b>	<b>75.32</b>
Combustión comercial institucional	0.24	1.05	NS	0.04	0.56	0.01	0.01	NE
Combustión habitacional	1.06	4.67	0.01	0.16	2.41	0.04	0.04	0.00
Operación de aeronaves	0.11	0.47	NS	0.26	2.56	0.23	0.35	NE
Recubrimiento de superficies industriales	NA	NA	NA	NA	NA	2.67	4.23	NA
Pintura automotriz	NA	NA	NA	NA	NA	0.29	0.46	NA
Recubrimiento de superficies arquitectónicas	NA	NA	NA	NA	NA	2.84	3.96	NA
Limpieza de superficies industriales	NA	NA	NA	NA	NA	3.76	3.61	NA
Lavado en seco	NA	NA	NA	NA	NA	1.25	1.29	NA
Artes gráficas	NA	NA	NA	NA	NA	0.83	1.34	NA
Distribución y almacenamiento de gas LP	NA	NA	NA	NA	NA	0.50	0.78	NA
Fugas en instalaciones de GLP	NA	NA	NA	NA	NA	3.00	4.73	NA
HCNQ en la combustión de gas LP	NA	NA	NA	NA	NA	3.72	5.86	NA
Rellenos sanitarios	NA	NA	NA	0.01	NA	31.67	1.97	NE
Caminos pavimentados	11.08	NS	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Caminos sin pavimentar	47.16	20.69	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Productos de cuidado personal	NA	NA	NA	NA	NA	3.17	3.51	NA
Productos de consumo doméstico	NA	NA	NA	NA	NA	1.09	1.20	NA
Plaguicidas	NA	NA	NA	NA	NA	2.44	2.70	NA
Productos para el cuidado automotriz	NA	NA	NA	NA	NA	1.84	2.03	NA
Adhesivos y selladores	NA	NA	NA	NA	NA	0.79	0.88	NA
Otras fuentes de área	0.76	2.98	0.33	0.12	0.86	1.31	1.88	75.32
<b>Fuentes móviles</b>	<b>16.06</b>	<b>51.81</b>	<b>49.31</b>	<b>98.97</b>	<b>82.37</b>	<b>20.62</b>	<b>31.35</b>	<b>23.78</b>
Autos particulares	3.96	9.29	24.84	40.68	32.25	9.94	15.33	16.83
Taxis	0.75	1.75	4.80	12.13	11.16	1.65	2.43	3.26
Vagonetas y combis	0.20	0.56	1.30	7.28	3.12	0.88	1.28	0.61
Microbuses	0.21	0.55	1.52	6.77	5.81	1.65	2.38	1.17
Pick up	0.28	0.75	1.76	6.76	2.62	1.06	1.61	0.84
Vehículos de carga de hasta 3 toneladas	0.42	1.55	1.49	2.84	1.48	0.53	0.81	0.31
Tractocamiones	5.99	22.15	3.59	1.73	8.88	0.50	0.77	0.13
Autobuses	1.61	6.15	6.00	2.25	11.70	0.62	0.94	0.14
Vehículos de carga mayores a 3 toneladas	2.23	8.06	2.66	8.57	4.36	0.91	1.35	0.27
Motocicletas	0.37	0.96	1.31	9.94	0.88	2.88	4.43	0.20
Metrobuses	0.02	0.05	0.04	0.00	0.11	0.00	0.01	NS
<b>Vegetación y suelos</b>	<b>3.00</b>	<b>2.69</b>	<b>NA</b>	<b>NA</b>	<b>0.55</b>	<b>3.76</b>	<b>6.02</b>	<b>NA</b>
Vegetación	NA	NA	NA	NA	0.55	3.76	6.02	NA
Erosión eólica del suelo	3.00	2.69	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

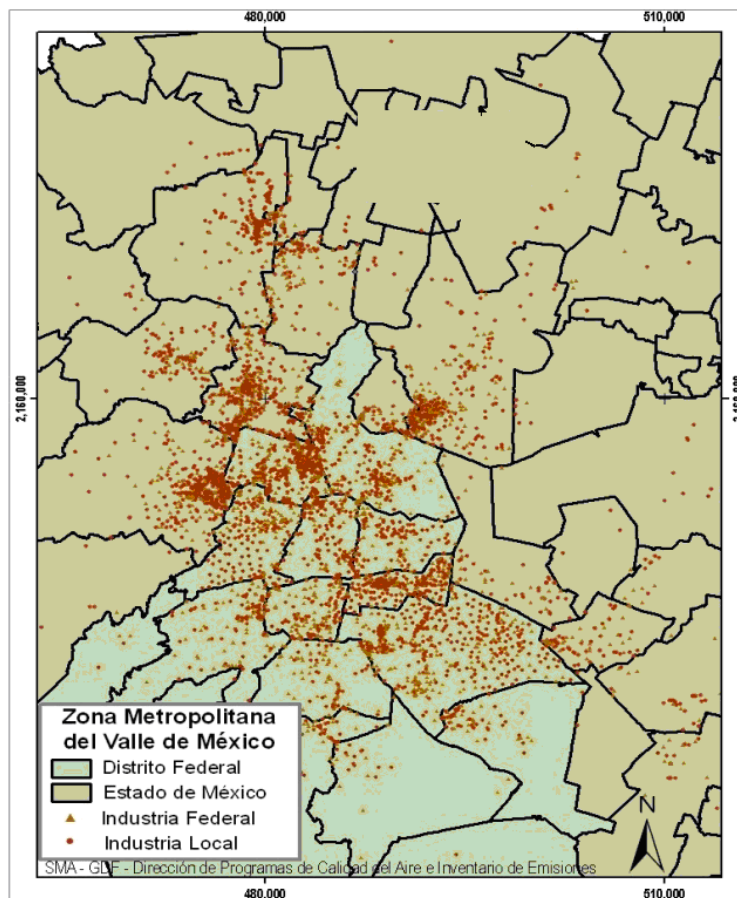
NA: No es aplicable; NS: No significativo; NE: No estimado; HCNQ: Hidrocarburos no quemados.

Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

### 2.1.3 Fuentes puntuales de emisión de contaminantes criterio

Una fuente puntual es una fuente estacionaria, única y fácilmente identificable. Se define como toda instalación en la que se desarrollan procesos industriales, comerciales, de servicios o, en general, actividades que generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera. En lo que se refiere a los establecimientos industriales, el Censo Económico 2004 realizado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) registra más de 328 mil unidades económicas de manufactura a nivel nacional, de las cuales el 16% se encuentra ubicado en la ZMVM. En la ZMVM (Mapa 2.1.1) se tienen registradas 5,146 unidades industriales, consideradas como fuentes puntuales.

**Mapa 2.1.1. Ubicación de la industria en la ZMVM**



Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

La distribución horaria de las emisiones se calculó con base en el número de horas de operación e inicio de labores de las empresas. Del análisis de estos datos se tiene que más del 93% de las empresas inician sus labores entre las 6:00 y 8:00 horas y trabajan 8 o más horas diarias. En la Tabla 2.1.6 aparece la distribución horaria de emisiones para cada contaminante, en la que se ha sombreado la franja horaria en la cual se generan las mayores emisiones.

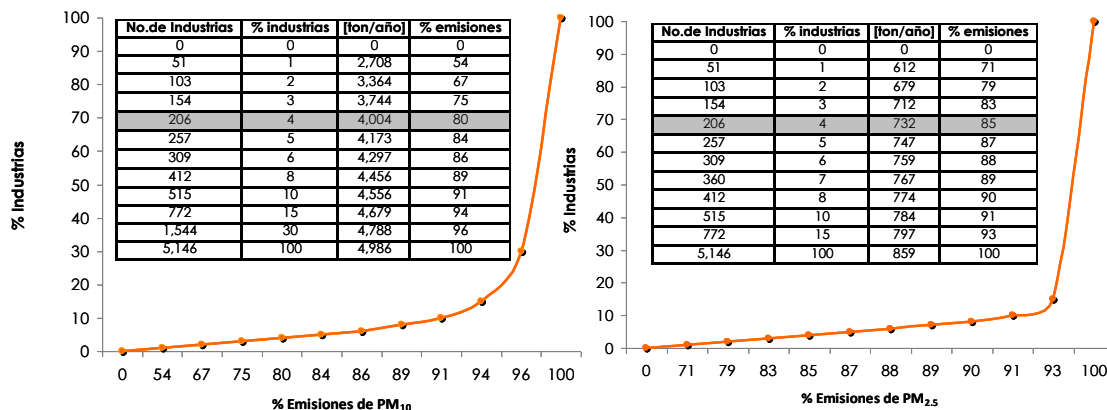
La Gráfica 2.1.1 muestra que el 4% del sector industrial (206 establecimientos industriales) contribuye con el 80% de las emisiones de PM<sub>10</sub> y con el 85% de PM<sub>2.5</sub> de este sector, lo que indica que los esfuerzos para controlar la emisión de estos contaminantes deben dirigirse principalmente a esos establecimientos.

**Tabla 2.1.6. Emisión horaria de contaminantes criterio por las fuentes puntuales en la ZMVM (ton/hr)**

Emisiones [ton/hr]								
Hora	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COT	COV	NH <sub>3</sub>
00:00	0.36	0.08	0.21	0.65	1.96	7.59	7.19	0.02
01:00	0.36	0.08	0.21	0.64	1.96	7.56	7.16	0.02
02:00	0.35	0.08	0.20	0.63	1.96	7.36	6.97	0.02
03:00	0.35	0.08	0.20	0.63	1.95	7.36	6.97	0.02
04:00	0.32	0.08	0.20	0.60	1.90	6.77	6.40	0.02
05:00	0.32	0.08	0.20	0.60	1.88	6.71	6.35	0.02
06:00	0.29	0.07	0.17	0.59	1.84	5.94	5.60	0.02
07:00	0.70	0.11	0.44	0.93	2.64	17.62	16.98	0.02
08:00	1.07	0.14	0.66	1.12	3.09	35.14	34.04	0.03
09:00	1.14	0.14	0.69	1.16	3.16	36.09	34.96	0.03
10:00	1.16	0.15	0.70	1.19	3.23	36.85	35.70	0.03
11:00	1.16	0.15	0.70	1.22	3.23	36.85	35.70	0.03
12:00	1.16	0.15	0.70	1.22	3.23	36.85	35.70	0.03
13:00	1.16	0.15	0.70	1.22	3.23	36.85	35.70	0.03
14:00	1.15	0.15	0.70	1.22	3.22	36.67	35.52	0.03
15:00	0.91	0.13	0.66	1.06	2.90	30.37	29.35	0.03
16:00	0.76	0.12	0.63	0.95	2.48	14.72	14.07	0.02
17:00	0.65	0.11	0.62	0.91	2.40	12.89	12.31	0.02
18:00	0.57	0.11	0.59	0.90	2.35	12.25	11.71	0.02
19:00	0.54	0.10	0.59	0.88	2.32	10.94	10.40	0.02
20:00	0.49	0.10	0.59	0.87	2.32	10.85	10.32	0.02
21:00	0.48	0.10	0.58	0.86	2.31	10.68	10.16	0.02
22:00	0.47	0.10	0.55	0.80	2.17	9.90	9.39	0.02
23:00	0.40	0.08	0.27	0.76	2.05	8.93	8.47	0.02
<b>Total</b>	<b>16.32</b>	<b>2.64</b>	<b>11.76</b>	<b>21.61</b>	<b>59.78</b>	<b>443.74</b>	<b>427.12</b>	<b>0.56</b>

Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

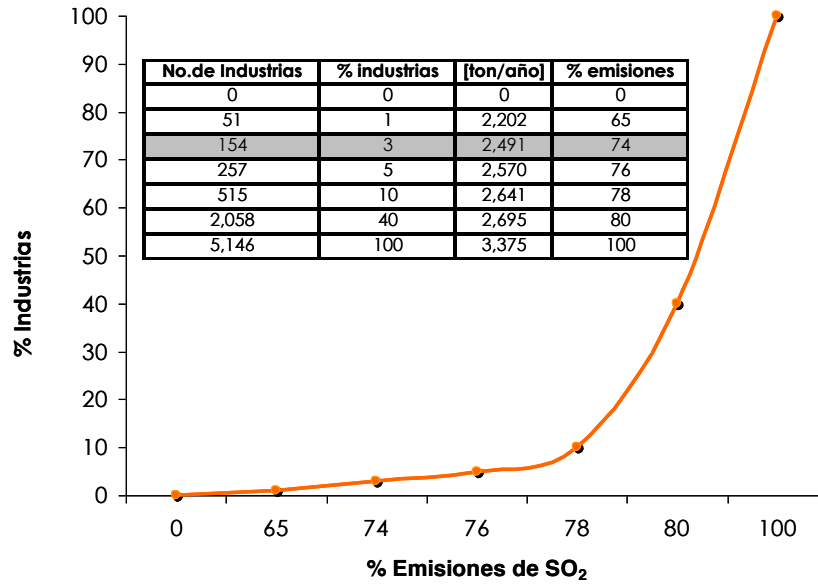
**Gráfica 2.1.1. Empresas y su contribución a las emisiones de PM<sub>10</sub> y de PM<sub>2.5</sub>**



Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

Del total de emisiones de SO<sub>2</sub> en las fuentes puntuales (Gráfica 2.1.2), se tiene que el 3% de la industria (154 establecimientos) contribuye con el 74%. Estos establecimientos usan combustibles líquidos como el diesel o el gasóleo.

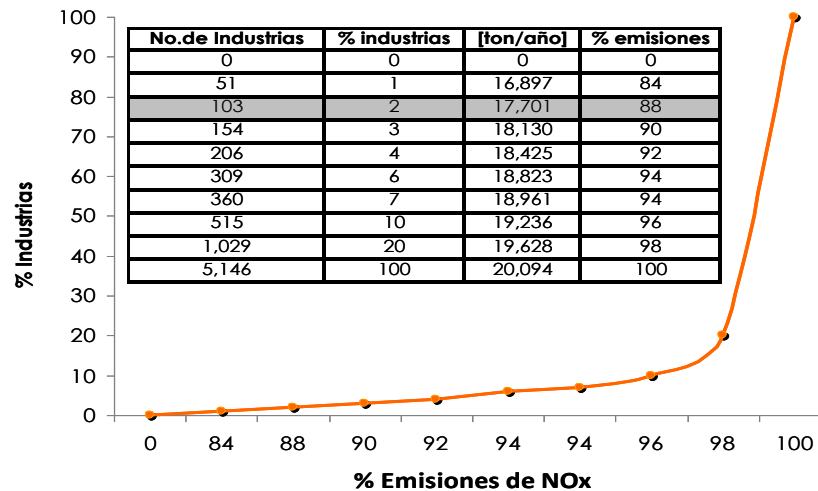
**Gráfica 2.1.2. Porcentaje de empresas y su contribución a las emisiones de SO<sub>2</sub>**



Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

En la Gráfica 2.1.3 se observa que el 2% de la industria contribuye con el 88% de las emisiones de NO<sub>x</sub>. Esto indica que tan sólo 103 establecimientos consumen la mayor parte del combustible que se distribuye para el sector industrial en la ZMVM y que las plantas termoeléctricas se identifican como las fuentes más contaminantes y de mayor consumo energético.

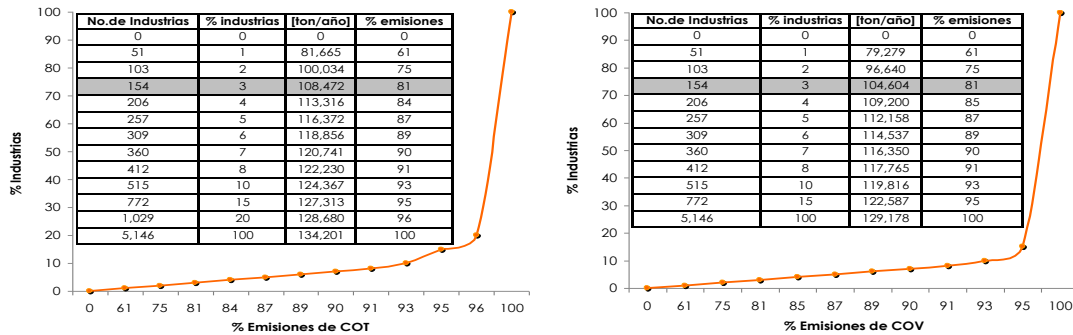
**Gráfica 2.1.3. Porcentaje de empresas y su contribución a las emisiones de NO<sub>x</sub>**



Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

El 3% de la industria registrada en la ZMVM (154 unidades industriales) contribuye con el 81% de las emisiones de COT y de COV. Esto se ilustra en la Gráfica 2.1.4.

**Gráfica 2.1.4. Emisiones de COT y COV por giro industrial en la ZMVM**

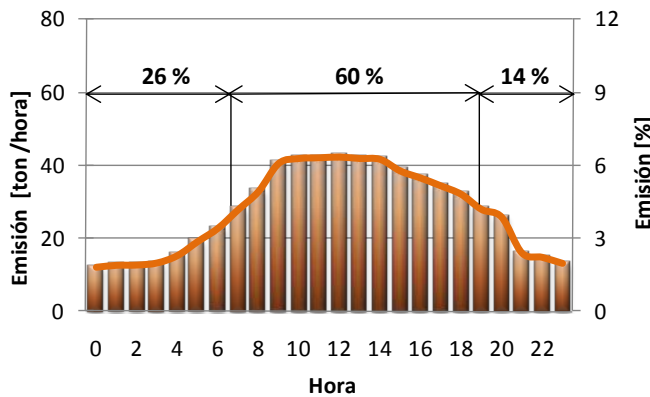


Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

**2.1.4 Emisión de contaminantes criterio por fuentes de área**

Las fuentes de área son fuentes fijas que resultan demasiado numerosas y dispersas como para ser incluidas de manera individual en un inventario de fuentes puntuales. La intensidad con la que se generan las emisiones de las fuentes de área durante el día sigue un perfil como el que se muestra en la Gráfica 2.1.5 para el caso de los COV y depende de los horarios en los que la población realiza sus actividades cotidianas, como trasladarse al trabajo y/o a la escuela, el uso de la estufa para la cocción de alimentos, el calentamiento de agua para bañarse, la limpieza del hogar, la apertura de los puestos de alimentos en la vía pública y la operación de diversos servicios y comercios.

**Gráfica 2.1.5. Perfil de emisión horaria de COV de las fuentes de área**



Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

Las fuentes de área son las principales generadoras de COT. En los últimos estudios realizados durante 2005 y 2006 en la atmósfera de la ZMVM por la campaña MILAGRO (INE-SEMARNAT, 2006), se monitorearon algunos COV, determinándose que los principales compuestos que se presentan por orden de abundancia, son las olefinas, los aromáticos y las parafinas, así como una pequeña mezcla de alquinos, compuestos halogenados y especies oxigenadas (Velasco et al. 2007).

Para contribuir al conocimiento de la variedad de compuestos orgánicos generados en la ZMVM, así como coadyuvar a diseñar medidas de mitigación de ozono, se realizó un análisis de especiación con base en las emisiones de COT, los cuales ascienden a 946,733 toneladas anuales; con base en dicha especiación se obtuvieron 532 compuestos.

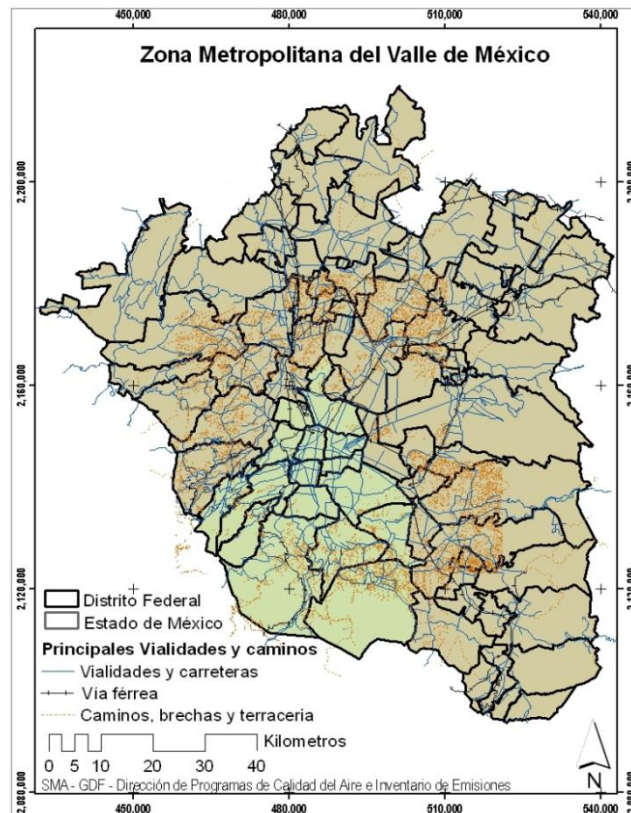
**Tabla 2.1.7. Emisiones de COT por familia química**

COT por familia	Emisión	
	[ton/año]	[%]
Parafinas	468,978	49.5
Hidrocarburos oxigenados	116,033	12.3
Aromáticos	104,865	11.1
Olefinas	78,180	8.3
Aldehídos	57,841	6.1
Hidrocarburos halogenados	30,832	3.3
Alquinos	8,648	0.9
Aminas	7,847	0.8
Otros	73,509	7.7
<b>Total</b>	<b>946,733</b>	<b>100%</b>

Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

En la Tabla 2.1.7 se presentan las emisiones de las familias químicas identificadas y su abundancia, lo que coincide con los resultados de las campañas mencionadas.

**Mapa 2.1.2. Principales avenidas y caminos de terracería, ZMVM**



Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

De las fuentes emisoras de partículas y de COT incluidas en las fuentes de área, la mayor parte de los contaminantes se generan debido a las vialidades no pavimentadas, por el uso de solventes y/o productos que los contienen, así como por las fugas de gas LP y del mismo gas que no se quema en los sistemas de combustión de estufas y calentadores de agua utilizados en las casas habitación.

Se estima que en la ZMVM, poco más del 50% de vialidades secundarias y caminos son de terracería. En estos caminos se desprenden grandes cantidades de polvo debido al tránsito vehicular por lo que si estas vías se pavimentaran, se estima que se dejarían de emitir alrededor de 11,459 toneladas de PM<sub>10</sub> y alrededor de 1,138 toneladas de PM<sub>2.5</sub>.

### 2.1.5 Emisión de contaminantes criterio por fuentes móviles

La flota vehicular registrada en la ZMVM se estima en más de 4.5 millones de vehículos, de los cuales el 81% corresponde a autos particulares (Tabla 2.1.8).

**Tabla 2.1.8. Flota vehicular registrada en la ZMVM, 2008**

Tipo de vehículo	Vehículos	
	Número	%
Autos particulares	3'693,351	81.4
Taxis	156,627	3.5
Vagonetas y combis	29,863	0.7
Microbuses	34,096	0.8
Pick Up	118,441	2.6
Vehículos de carga hasta 3 ton	71,157	1.6
Tractocamiones	71,055	1.6
Autobuses	43,706	1.0
Vehículos de carga de más de 3 ton	80,589	1.8
Motocicletas	237,808	5.2
Metrobús	221	NS
<b>Total</b>	<b>4'536,914</b>	<b>100%</b>

NS: No Significativo.

Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

El 95% de la flota vehicular de la ZMVM utiliza gasolina como combustible, el 4 por ciento son unidades a diesel, los vehículos restantes utilizan principalmente gas licuado de petróleo (GLP) y en menor cantidad gas natural comprimido (GNC), como se aprecia en la Tabla 2.1.9.

Debido a que a la flota vehicular de la ZMVM se le aplican restricciones de circulación con base en la edad y niveles de emisión, es importante analizarla por año modelo. Asimismo, este análisis permite diferenciar el potencial de emisiones por estrato vehicular y con ello proponer acciones para reducir las emisiones en forma específica.



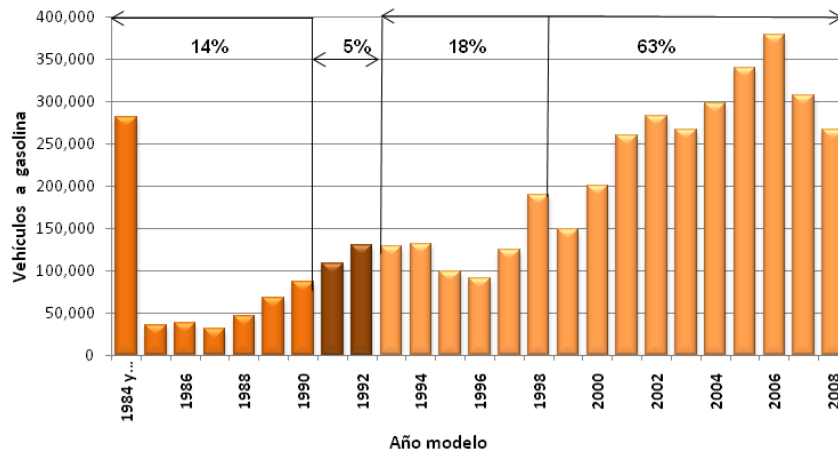
**Tabla 2.1.9. Flota vehicular en circulación por tipo de combustible en la ZMVM**

Tipo de vehículo	Número de vehículos				
	Gasolina	Diesel	GLP	GNC	Total
Autos particulares	3'684,015	6,728	2,578	30	3'693,351
Taxis	156,589	38	NA	NA	156,627
Vagonetas y combis	29,021	822	20	NA	29,863
Microbuses	15,774	240	17,800	282	34,096
Pick Up	115,763	1,660	1,018	NA	118,441
Vehículos de carga hasta 3 ton	40,769	26,093	4,287	8	71,157
Tractocamiones	NA	71,055	NA	NA	71,055
Autobuses	2,283	41,353	70	NA	43,706
Vehículos de carga de más de 3 ton	49,969	25,665	4,945	10	80,589
Motocicletas	237,808	NA	NA	NA	237,808
Metrobuses	NA	221	NA	NA	221
<b>Total</b>	<b>4'331,991</b>	<b>173,875</b>	<b>30,718</b>	<b>330</b>	<b>4'536,914</b>

NA: No es aplicable.

Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

**Gráfica 2.1.6. Flota vehicular a gasolina en la ZMVM por año-modelo y tecnología**



Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

De los vehículos a gasolina (4.3 millones), el 14% corresponde a modelos 1990 y anteriores, que no cuentan con sistemas de control de emisiones. Aproximadamente el 5% se refiere a modelos entre 1991-1992 que ya integran convertidores catalíticos de dos vías y permiten disminuir las emisiones de hidrocarburos y monóxido de carbono. Los vehículos que corresponden a modelos 1993 y posteriores (81% de la flota a gasolina) cuentan con convertidores catalíticos de tres vías y otros dispositivos anticontaminantes para reducir las emisiones de hidrocarburos, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno. A partir de 2001 se inicia la incorporación gradual de los sistemas de diagnóstico a bordo (OBD II) en los vehículos nuevos.

**Tabla 2.1.10. Flota vehicular a gasolina en la ZMVM por tipo de tecnología de control**

Año Modelo	Contaminante que controla	Nº de vehículos	%
1990 y ant.	Sin control	585,167	13.5
1991-1992	CO y COV	238,224	5.5
1993-1998	CO, COV, NO <sub>x</sub>	762,992	17.6
1999-2008	CO, COV, NO <sub>x</sub>	2'745,609	63.4
<b>Total</b>		<b>4'331,991</b>	<b>100</b>

Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

Por lo que se refiere a las unidades a diesel, alrededor del 38% son unidades año modelo 1993 y anteriores (sin control de emisiones). Cerca del 62% son vehículos que ya traen mejoras tecnológicas para cumplir con los estándares de emisión (como los EPA 94 y EPA 98, respectivamente).

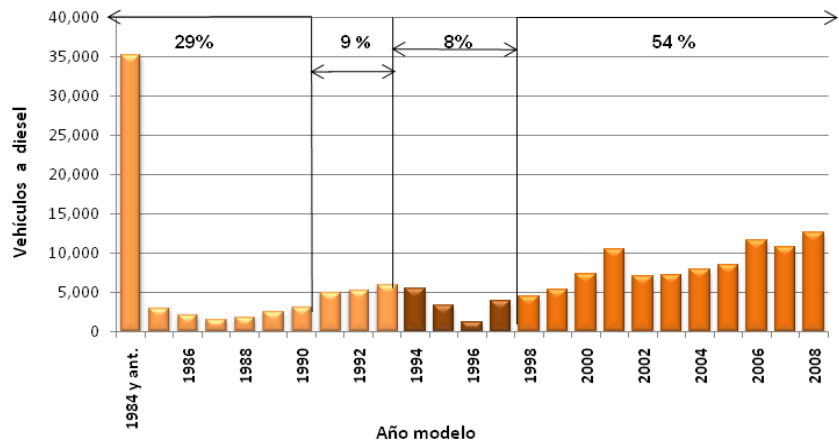
**Tabla 2.1.11. Flota vehicular a diesel por año modelo en la ZMVM**

Año Modelo	Nº de vehículos	%
1990 y anteriores	49,987	28.7
1991-1993	16,631	9.6
1994-1997	14,034	8.1
1998-2008	93,223	53.6
<b>Total</b>	<b>173,875</b>	<b>100</b>

Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

Los cambios en la tecnología de motores a diesel han dado como resultado que los vehículos actuales tengan niveles de emisión más bajos, sin embargo se espera que los nuevos vehículos a diesel que se comercialicen en México cuenten con convertidores catalíticos y trampas de partículas, además de sistemas de tren de válvulas y tasa de compresión variable, lo cual permitirá una disminución importante de las emisiones contaminantes.

**Gráfica 2.1.7. Vehículos a diesel por año modelo y tecnología en la ZMVM**



Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

En la ZMVM circulan 4.2 millones de vehículos destinados al transporte de personas. De éstos, el 88% son autos particulares, 6% motocicletas y 4% taxis. Dichos vehículos transportan de una a dos personas en promedio. El número de unidades de alta capacidad es bajo y sólo representa el 1% del total del parque vehicular.

**Tabla 2.1.12. Vehículos destinados al transporte de personas, por tipo de tecnología en la ZMVM**

Tipo de vehículo	Tecnología	Vehículos	
		Número	[%]
Autos particulares	Sin control de emisiones	488,679	11.5
	Convertidor catalítico de 2 y 3 vías	3'204,672	76.4
Taxis	Sin control de emisiones	2,621	0.1
	Convertidor catalítico de 2 y 3 vías	154,006	3.7
Vagonetas y combis	Sin control de emisiones	5,624	0.1
	Convertidor catalítico de 2 y 3 vías	24,239	0.6
Microbuses	Sin control de emisiones	7,464	0.2
	Convertidor catalítico de 2 y 3 vías	26,632	0.6
Autobuses	Aspiración natural (año/modelo 93 y anteriores)	12,395	0.3
	Adecuaciones mecánicas para cumplir estándares de emisión EPA 94	3,999	0.1
	Adecuaciones mecánicas para cumplir estándares de emisión EPA 98	27,312	0.7
Motocicletas	Sin control de emisiones	237,808	5.7
Metrobuses	Adecuaciones mecánicas para cumplir estándares de emisión EURO II, III, IV	221	0.005
<b>Total</b>		<b>4'195,672</b>	<b>100%</b>

Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

La flota vehicular de transporte de carga registrada en la ZMVM representa el 7% del total de vehículos, con aproximadamente 341 mil unidades. De estos vehículos, aproximadamente el 61% utiliza gasolina como combustible, el 36% diesel y el 3% gas LP. Se estima que el costo del transporte de mercancías en áreas urbanas corresponde aproximadamente al 5% del PIB y que es comparable con el costo del transporte urbano de personas (UNAM-CAM, 2006).

**Tabla 2.1.13. Flota vehicular de carga por tipo de combustible en la ZMVM**

Tipo de Vehículo (jurisdicción)	Número de vehículos				
	Gasolina	Diesel	GLP	GNC	Total
Camionetas Pick Up (local)	115,763	1,660	1,018	0	118,441
Vehículos de hasta de 3 ton (local)	40,769	26,093	4,287	8	71,157
Tractocamiones (locales)	0	2,568	0	0	2,568
Tractocamiones (federales)	0	68,487	0	0	68,487
Vehículos con más de 3 ton (locales)	36,565	12,828	4,945	10	54,348
Vehículos con más de 3 ton (federales)	13,404	12,837	0	0	26,241
<b>Total</b>	<b>206,501</b>	<b>124,473</b>	<b>10,250</b>	<b>18</b>	<b>341,242</b>
	<b>61%</b>	<b>36%</b>	<b>3%</b>	<b>NS</b>	<b>100%</b>

NS: No significativo.

Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

En la Tabla 2.1.14 se presenta la flota vehicular del transporte de carga a gasolina por estrato tecnológico.

**Tabla 2.1.14. Flota vehicular de carga a gasolina por año-modelo en la ZMVM**

<b>Año-modelo</b>	<b>Número de vehículos</b>	<b>%</b>
1990 y ant.	60,974	29.5
1991-1992	20,708	10.0
1993-1998	48,467	23.5
1999-2008	76,352	37.0
<b>Total</b>	<b>206,501</b>	<b>100</b>

Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

A diferencia de los vehículos a gasolina, que desde el año modelo 1991 tienen incorporado el convertidor catalítico como dispositivo de control de emisiones, los que utilizan diesel no cuentan con este tipo de tecnología. La reducción de emisiones de los vehículos a diesel sólo es debida al avance en las adecuaciones mecánicas de los motores, que si bien les ha permitido reducir sus emisiones, sigue siendo necesario equiparlos con nuevos dispositivos de control. En la ZMVM, aun cuando más de la mitad de los vehículos de carga a diesel ya no son de aspiración natural, éstos sólo cuentan con las adecuaciones mecánicas que les permiten cumplir las normas de emisión EPA 94, EPA 98 y EPA 2004, a pesar de que en el mercado internacional existen normas más estrictas, como las EPA 2007 y EURO IV y V, e incluso, se pretende aplicar las normas EPA 2010 y EURO VI.

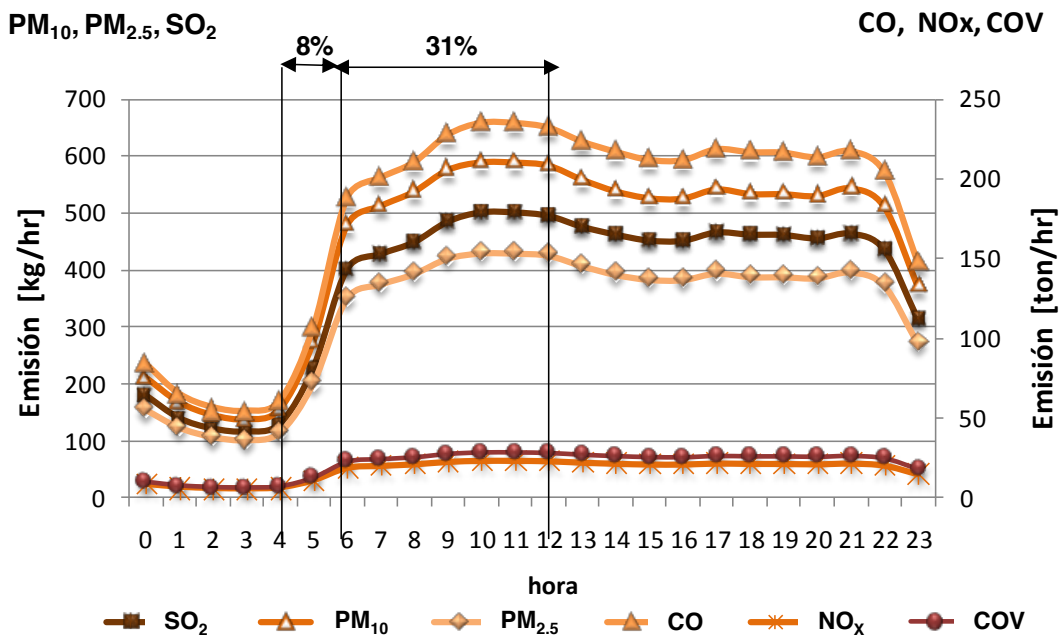
En el caso de los vehículos que deben pasar por el programa de verificación, el número de kilómetros recorridos también depende del tipo de holograma que porten (doble cero, cero o dos). Los vehículos con holograma 2 dejan de circular un día a la semana y un sábado de cada mes, lo cual significa un máximo de 301 días en circulación al año y los vehículos con hologramas cero y doble cero circulan los 365 días del año. Los kilómetros recorridos por vehículo (kry) utilizados para estimar el inventario de emisiones son valores promedio tomados de varias fuentes<sup>1</sup> y surgen de la aplicación de encuestas y observaciones directas.

Se estima que son alrededor de 53 mil millones de kilómetros anuales los recorridos por los autos particulares, para los cuales los hologramas DOBLE CERO y CERO contribuyen con el 63% (años modelo 2001 y posteriores). Los vehículos con holograma DOS son los que tienen más de 8 años de antigüedad y contribuyen con el 37% restante.

---

<sup>1</sup> Lents (2005), Actividad y emisiones vehiculares en la Zona Metropolitana del Valle de México; COMETRAVI (1997), Definición de políticas de modernización, inspección, sustitución, eliminación definitiva, adaptación de vehículos y combustibles alternos; SCT, Dirección General del Autotransporte Federal; Red de Transporte de Pasajeros del Distrito Federal (2005); Instituto de Ingeniería, UNAM-Comisión Ambiental Metropolitana (2006); Metrobús (2009), Informe de actividades enero-noviembre 2008.

**Gráfica 2.1.8. Perfil horario de las emisiones de fuentes móviles en la ZMVM**



Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

De 4.3 millones de vehículos a gasolina, el 14% no cuenta con sistemas de control de emisiones (años modelo 1990 y anteriores) y contribuyen con el 38% de los COV y el 16% de  $NO_x$ . Sin embargo, el 5% de los vehículos (años modelo 1991-1992) ya presentan algunos sistemas de control de emisiones, como son el encendido electrónico y el convertidor catalítico de dos vías. Estos vehículos generan el 10% de los COV y el 10% de los  $NO_x$  de las fuentes móviles.

**Tabla 2.1.15. Contribución de emisiones por pasajero transportado y tipo de tecnología en la ZMVM**

Tipo de vehículo	Tecnología	Emisiones [mg/km-pasajero]			
		$PM_{10}$	$PM_{2.5}$	$NO_x$	COV
Autos particulares	Sin control de emisiones	20	11	1,149	4,399
	Convertidor catalítico de 2 y 3 vías	12	6	740	805
Taxis	Sin control de emisiones	27	14	3,852	4,685
	Convertidor catalítico de 2 y 3 vías	17	9	1,927	1,323
Vagonetas y combis	Sin control de emisiones	3	2	360	816
	Convertidor catalítico de 2 y 3 vías	2	1	197	204
Microbuses	Sin control de emisiones	3	3	154	416
	Convertidor catalítico de 2 y 3 vías	2	2	126	113
Autobuses	Aspiración natural (año/modelo 93 y anteriores)	17	16	316	79
	Adecuaciones mecánicas para cumplir estándares de emisión EPA 94	5	4	258	59
	Adecuaciones mecánicas para cumplir estándares de emisión EPA 98	5	4	207	59
Motocicletas	Sin control de emisiones	15	9	280	4,460
Metrobuses	Adecuaciones mecánicas para cumplir estándares de emisión EURO II, III, IV	2	1	87	16

Fuente: Inventario de Emisiones de contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

Por último, los vehículos correspondientes a los años modelo 1993 y posteriores (81% de la flota), aportan el 52% de los COV y el 74% de los NO<sub>x</sub>. Estos automóviles se consideran los menos contaminantes debido a que están equipados con sistemas avanzados de control de emisiones, tales como el convertidor catalítico de tres vías, canister para controlar las emisiones evaporativas, computadoras a bordo y sensores de oxígeno.

En cuanto a la contribución de emisiones de partículas y de precursores de ozono por pasajero transportado, los resultados se presentan en la Tabla 2.1.15.

## 2.2 Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)

De acuerdo con la Cuarta Comunicación Nacional, presentada por México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el Inventario Nacional de Emisiones 1990-2006, en el año 2006 nuestro país emitió 711.6 millones de toneladas equivalentes de dióxido de carbono (ton eq. CO<sub>2</sub>), ubicándose en el lugar 12 entre los países con mayores emisiones a nivel mundial (SEMARNAT-INE, 2009). Con el dato anterior y considerando el inventario 2008, se estima que la ZMVM aporta el 7.6% de las emisiones nacionales de GEI, con aproximadamente 54 millones de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>.

Desagregando las emisiones se tienen 46.4 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, 291 mil toneladas de metano (CH<sub>4</sub>) y 1,519 toneladas de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), generadas básicamente por el consumo de energéticos (gasolinas, diesel, gas natural, gas licuado de petróleo y carbón), así como por la descomposición de la basura en los rellenos sanitarios. Estos resultados se presentan en la Tabla 2.2.1.

**Tabla 2.2.1. Emisiones totales de GEI, ZMVM-2008**

Sector	Emisiones de GEI [ton /año]		
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Industrial	17'434,665	451	72
Comercial-servicios	1'096,550	24	2
Habitacional	4'686,980	141	7
Transporte carretero	22'290,505	3,080	1,411
Otras fuentes*	889,249	287,501	27
<b>Total</b>	<b>46'397,949</b>	<b>291,197</b>	<b>1,519</b>

\*Incluye operación de aeronaves, locomotoras (foráneas/patio), terminales de autobuses, distribución y almacenamiento de gas LP, fugas en instalaciones de GLP, hidrocarburos no quemados (HCNQ) en la combustión de gas LP, incendios forestales y rellenos sanitarios.

Fuente: Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de la ZMVM-2008.

Utilizando los potenciales de calentamiento global de cada uno de los gases inventariados (CO<sub>2</sub>=1, CH<sub>4</sub>=25 y N<sub>2</sub>O=298), se obtuvieron las emisiones en unidades equivalentes de CO<sub>2</sub> (Tablas 2.2.2 y 2.2.3).

**Tabla 2.2.2. Emisiones totales de GEI expresadas en unidades de CO<sub>2</sub> equivalente, ZMVM-2008**

Sector	Emisiones de GEI [ton eq. CO <sub>2</sub> /año]			
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	Total
Industrial	17'434,665	11,275	21,456	17'467,396
Comercial-Servicios	1'096,550	608	596	1'097,754
Habitacional	4'686,980	3,525	2,086	4'692,591
Transporte carretero	22'290,505	77,000	420,478	22'787,983
Otras fuentes*	889,249	7'187,513	8,046	8'084,808
<b>Total</b>	<b>46'397,949</b>	<b>7'279,921</b>	<b>452,662</b>	<b>54'130,532</b>

\*Incluye operación de aeronaves, locomotoras (foráneas/ patio), terminales de autobuses, distribución y almacenamiento de gas LP, incendios forestales y rellenos sanitarios.

Fuente: Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de la ZMVM-2008.

Desagregando las emisiones por tipo de fuente (Tabla 2.2.3), se tiene que el 48% de los gases de efecto invernadero es generado por tres fuentes: los autos particulares con una emisión de 11.9 millones de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>, lo que representa el 23% de las emisiones de la ZMVM; los rellenos sanitarios con casi 8 millones, es decir el 16% del total; y la combustión en el sector habitacional que aporta 4.7 millones, es decir el 9% de las emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub>. También son muy significativas las emisiones de la industria de productos metálicos, maquinaria y equipo y la generación de energía eléctrica.

**Tabla 2.2.3. Emisiones de GEI desagregadas por sector, ZMVM-2008**

Sector	Emisiones equivalentes de CO <sub>2</sub> [ton /año]			
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	Total
<b>Industrial</b>	<b>14'805,764</b>	<b>8,775</b>	<b>15,794</b>	<b>14'830,333</b>
Productos alimenticios, bebidas y tabaco	1'222,367	600	894	1'223,861
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero	378,317	250	298	378,865
Industria de la madera y productos de madera	28,588	25	NA	28,613
Papel y productos de papel, imprenta y editoriales	1'191,671	600	894	1'193,165
Sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón, de hule y de plástico	1'747,577	1,300	2,682	1'751,559
Productos minerales no metálicos. Excluye los derivados del petróleo y del carbón	2'522,018	575	894	2'523,487
Industrias metálicas básicas	351,575	150	298	352,023
Productos metálicos, maquinaria y equipo. Incluye instrumentos quirúrgicos y de precisión	3'758,283	3,525	8,046	3'769,854
Otras industrias manufactureras	51,804	25	NS	51,829
Generación de energía eléctrica	3'553,564	1,600	1,788	3'556,952
Fugas en instalaciones a GLP	NA	NS	NA	NS
HCNQ en la combustión de GLP	NA	125	NA	125
<b>Comercial-institucional</b>	<b>1'096,550</b>	<b>608</b>	<b>596</b>	<b>1'097,754</b>
Combustión comercial-institucional	1'096,550	425	596	1'097,571
Fugas en instalaciones a GLP	NA	8	NA	8
HCNQ en la combustión de GLP	NA	175	NA	175
<b>Habitacional</b>	<b>4'686,980</b>	<b>3,525</b>	<b>2,086</b>	<b>4'692,591</b>
Combustión habitacional	4'686,980	1,875	2,086	4'690,941
Fugas en instalaciones a GLP	NA	850	NA	850
HCNQ en la combustión de GLP	NA	800	NA	800
<b>Transporte carretero</b>	<b>22'290,505</b>	<b>77,000</b>	<b>420,478</b>	<b>22'787,983</b>
Autos particulares	11'552,488	47,350	271,478	11'871,316
Taxis	2'191,517	7,125	56,322	2'254,964
Combis	535,185	2,800	18,774	556,759
Microbuses	1'626,482	3,300	10,728	1'640,510
Pick up	762,710	4,225	24,734	791,669
Vehículos de menos de 3 ton	563,260	1,475	7,152	571,887
Tractocamiones	1'337,160	150	1,490	1'338,800
Autobuses	2'261,578	475	2,682	2'264,735
Vehículos de más de 3 ton	1'061,440	4,025	21,754	1'087,219
Motocicletas	380,453	6,075	5,364	391,892
Metrobuses	18,232	NS	NS	18,232
<b>Otras fuentes</b>	<b>889,249</b>	<b>7'187,513</b>	<b>8,046</b>	<b>8'084,808</b>
Operación de aeronaves	7,853	25	NS	7,878
Locomotoras (foráneas/ patio)	70,865	100	8,046	79,011
Terminales de autobuses	3,319	13	NS	3,332
Distribución y almacenamiento de GLP	NA	150	NA	150
Incendios forestales	18,555	1,300	NA	19,855
Rellenos sanitarios	788,657	7,185,925	NA	7'974,582
<b>Total</b>	<b>43'769,048</b>	<b>7'277,421</b>	<b>447,000</b>	<b>51'493,469</b>

HCNQ: Hidrocarburos no quemados; NA: No es aplicable; NS: No Significativo

Fuente: Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de la ZMVM-2008.



A nivel preliminar para la ZMVM también se estimaron para el 2008 las emisiones de carbono negro que se muestran en la Tabla 2.2.4, en la que se puede observar que los máximos emisores son los tractocamiones, los autobuses y los vehículos de carga de más de tres toneladas.

**Tabla 2.2.4. Emisiones de Carbono Negro en la ZMVM, 2008**

<b>Sector</b>	<b>[ton/año]</b>
<b>Industrial</b>	<b>54</b>
Productos alimenticios, bebidas y tabaco	5
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero	2
Industria de la madera y productos de madera	NS
Papel y productos de papel, imprenta y editoriales	6
Sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón, de hule y de plástico	6
Productos minerales no metálicos. excluye los derivados del petróleo y del carbón	17
Industrias metálicas básicas	2
Productos metálicos, maquinaria y equipo. Incluye instrumentos quirúrgicos y de precisión	3
Otras industrias manufactureras	NS
Generación de energía eléctrica	13
Fugas en instalaciones a GLP	NA
HCNQ en la combustión de GLP	NA
<b>Comercial-institucional</b>	<b>4</b>
Combustión comercial-institucional	4
Fugas en instalaciones a GLP	NA
HCNQ en la combustión de GLP	NA
Residencial o habitacional	18
<b>Combustión habitacional</b>	<b>18</b>
Fugas en instalaciones a GLP	NA
HCNQ en la combustión de GLP	NA
<b>Transporte carretero</b>	<b>1,510</b>
Autos particulares	144
Taxis	26
Vagonetas y Combis	8
Microbuses	5
Pick up	11
Vehículos de carga de hasta 3 toneladas	45
Tractocamiones	732
Autobuses	276
Vehículos de carga de más de 3 toneladas	247
Motocicletas	14
Metrobuses	2
<b>Otras fuentes</b>	<b>85</b>
Operación de aeronaves	18
Locomotoras (foráneas/ patio)	15
Terminales de autobuses	1
Distribución y almacenamiento de GLP	NA
Incendios forestales	7
Incendios en estructuras	9
Caminos sin pavimentar	19
Erosión eólica	16
Rellenos sanitarios	NA
<b>Total</b>	<b>1,671</b>

NA: No es aplicable; NS: No Significativo

Fuente: Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y carbono negro de la ZMVM-2008.

### **2.3 Emisiones de contaminantes tóxicos**

Aunque algunos provienen de fuentes naturales como incendios forestales y erupciones volcánicas, la mayor parte de los contaminantes tóxicos se originan en actividades desarrolladas por el ser humano. Algunos de dichos contaminantes son compuestos orgánicos gaseosos como el benceno, el tolueno, los isómeros de xileno y el etilbenceno. Otros agentes tóxicos son inorgánicos, gaseosos como el amoniaco y el cloro, o sólidos como el asbesto, los compuestos de níquel, el plomo, el cromo y el cadmio, estos últimos contenidos en las partículas y líquidos, como el mercurio elemental.

De forma similar a los contaminantes criterio, las fuentes de emisión de los agentes tóxicos se categorizan en fuentes estacionarias (puntuales y de área); fuentes móviles (automóviles, autobuses y camiones) y fuentes naturales (volcanes e incendios forestales).

En 1991 se iniciaron en México las primeras mediciones de compuestos orgánicos volátiles (COV), las cuales fueron realizadas por el Instituto Nacional de Ecología y la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos. A partir del siguiente año el Instituto Mexicano del Petróleo en colaboración con otras instituciones realizó diversas campañas de muestreo de forma consistente entre los años 1992 al 2001<sup>2</sup>.

Por su incidencia en la salud humana algunos de los COV se denominan tóxicos<sup>3</sup>. La presencia de los COV en la atmósfera de los grandes centros urbanos también es relevante ante los efectos en la salud humana que se les han asociado, como es el caso del riesgo tóxico, mutagénico y cancerígeno que representan especies como el benceno (OMS, 2000).

Los datos obtenidos de estudios de evaluación de las concentraciones de COV en la Zona Metropolitana del Valle de México, muestran la presencia de varias especies tóxicas, entre las que destacan los aromáticos como el tolueno, xileno y el benceno<sup>2</sup>.

La Tabla 2.3.1 muestra la generación de contaminantes tóxicos por tipo de fuente. Sólo se presentan los contaminantes con mayor contribución de emisiones, los cuales representan el 82% de las mismas y el 18% restante se agrupa en la categoría de "otros" y de "metales".

Se observa que la mayor parte de las emisiones de tolueno proviene de fuentes de área (del recubrimiento de superficies arquitectónicas y de su uso como solvente para limpieza y desengrase, así como diluyente de pinturas y lacas). De las fuentes móviles, los autos particulares aportan un 48% debido a que el tolueno es un componente de la gasolina. En las fuentes puntuales, la industria de productos metálicos y la de sustancias químicas aportan la mayor cantidad de este contaminante.

---

<sup>2</sup> Informe Final del Estudio Monitoreo y Evaluación de las Concentraciones de Compuestos Orgánicos Volátiles en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental, Noviembre del 2006.

<sup>3</sup> Informe Técnico de Monitoreo y Evaluación de las Concentraciones de Compuestos Orgánicos Volátiles en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, SMA-GDF, INE-DGCENICA y UAMI, Febrero 2008.

En la industria de productos metálicos el tolueno se genera durante los procesos de aplicación de recubrimientos, así como en actividades de limpieza y desengrase, mientras que en la industria química el tolueno es utilizado como materia prima en la fabricación de pinturas, barnices, tintas, solventes industriales y adhesivos.

**Tabla 2.3.1. Emisiones de contaminantes tóxicos del aire por fuente en la ZMVM [ton/año]**

Contaminante	Puntuales	Área	Móviles	Vegetación y suelos	Total	%
Tolueno	9,628	19,659	16,091	NA	45,378	24.8
Isómeros de xileno	1,396	13,789	9,028	NA	24,213	13.2
Metanol	2,068	6,024	NE	6,267	14,359	7.8
1,1,1-Tricloroetano	NS	8,823	NE	NA	8,823	4.8
Metil etil cetona	6,138	1,248	NE	NA	7,386	4.0
N-hexano	842	5,225	1,282	NA	7,349	4.0
Benceno	109	804	5,649	NA	6,562	3.6
2,2,4-Trimetilpentano	4	652	5,601	NA	6,257	3.4
1,1,2,2-Tetracloroetileno	2	6,090	NA	NA	6,092	3.3
Metil t-butil éter	NS	965	4,706	NA	5,671	3.1
Triclorotrifluorometano	11	4,202	NA	NA	4,213	2.3
Etilbenceno	39	1,650	2,420	NA	4,109	2.2
Tricloroetileno	NS	4,062	NE	NA	4,062	2.2
Formaldehído	199	339	2,751	246	3,535	1.9
Metil isobutil cetona	1,171	2,096	NE	NA	3,267	1.8
Otros	2,153	26,239	2,502	633	31,527	17.2
Metales	236	46	NS	1	283	0.2
<b>Total</b>	<b>23,996</b>	<b>101,913</b>	<b>50,030</b>	<b>7,147</b>	<b>183,086</b>	<b>100.0%</b>

NS: No Significativo; NE: No Estimado; NA: No es aplicable.

Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la ZMVM-2008.

Las fuentes de área son responsables de la mayor parte de las emisiones de casi todos los contaminantes tóxicos, excepto en el caso de algunos hidrocarburos aromáticos que por lo común son generados por fuentes móviles (como el benceno, el etilbenceno y los xilenos). Las emisiones de xilenos (isómeros y mezclas) contribuyen con el 10% de total de contaminantes tóxicos en la ZMVM.

En lo que respecta al metanol, las fuentes biogénicas son responsables del 44% de la emisión en la ZMVM, el cual es liberado de manera natural por la vegetación. Las fuentes de área contribuyen con el 42% de la emisión total de metanol, generado principalmente por el uso de productos para el cuidado y mantenimiento automotriz.

Las fuentes de área son responsables de las mayores emisiones de compuestos orgánicos, en particular, del total de tricloroetileno y del 1,1,1 tricloroetano, que son utilizados principalmente para desengrase y limpieza de superficies industriales. Por otra parte, estas fuentes también presentan una contribución importante de emisiones de isómeros de xileno, contaminante que resulta de la degradación de la materia orgánica en los rellenos sanitarios.

En general, las fuentes móviles generan el 90% del 2,2,4 trimetilpentano, 86% del benceno y 83% del metilterbutil éter. Asimismo, son una importante fuente de formaldehído (78%) como resultado de la quema de combustibles fósiles.

La gasolina contiene una gran cantidad de compuestos tóxicos, cuyo riesgo a la salud humana está asociado a la inhalación de las emisiones del escape de los vehículos y de la gasolina evaporada, incluyendo las del llenado del tanque del vehículo. Las fuentes móviles son responsables del 83% de las emisiones de MTBE, el cual posee alta volatilidad y se agrega a la gasolina como un aditivo (U.S. EPA, 1993). A pesar de que no se ha determinado a ciencia cierta la toxicidad del MTBE se sabe que sus metabolitos y algunos otros productos de su degradación son realmente tóxicos.

De acuerdo con los datos del inventario de emisiones, el 2% de las partículas PM<sub>10</sub> corresponde a metales tóxicos generados por los caminos no pavimentados y por suelos sin vegetación.

A continuación se presenta un desglose de los metales tóxicos estimados (Tabla 2.3.2). Éstos contribuyen tan sólo con el 0.15 % del total de contaminantes tóxicos en la ZMVM. El manganeso es el que se emite en mayor proporción, con 117 toneladas al año lo que representa el 41% del total de los metales tóxicos.

**Tabla 2.3.2. Metales tóxicos emitidos en la ZMVM**

Contaminante		[ton/año]	%
<b>Mn</b>	Manganeso	117	41.3
<b>Sb</b>	Antimonio	56	19.8
<b>Cr</b>	Cromo	28	9.9
<b>P</b>	Fósforo	25	8.8
<b>Pb</b>	Plomo	23	8.1
<b>As</b>	Arsénico inorgánico	19	6.7
<b>Ni</b>	Níquel	10	3.5
<b>OT</b>	Otros	5	1.9
<b>Total</b>		<b>283</b>	<b>100%</b>

Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la ZMVM-2008.

Los metales tóxicos estimados en el inventario también se han encontrado en otros estudios, como el realizado por el CENICA para conocer la frecuencia de los elementos químicos en las partículas. En dicho análisis se observó la presencia de manganeso, cromo y plomo, entre los principales (INE, 2002).

Además de tomar en cuenta la cantidad de contaminantes tóxicos que se emite, es importante tomar en cuenta la reactividad de éstos. En la Gráfica 2.3.1 podemos observar que de los compuestos tóxicos inventariados, el tricloro fluoro metano, el formaldehído y los isómeros de xileno, tienen un mayor potencial en la formación del ozono (Reactividad Máxima Incremental "MIR"<sup>4</sup>).

La reactividad que presentan los diferentes compuestos químicos pueden cambiar la importancia de contribución en la formación del ozono, por ejemplo aunque las

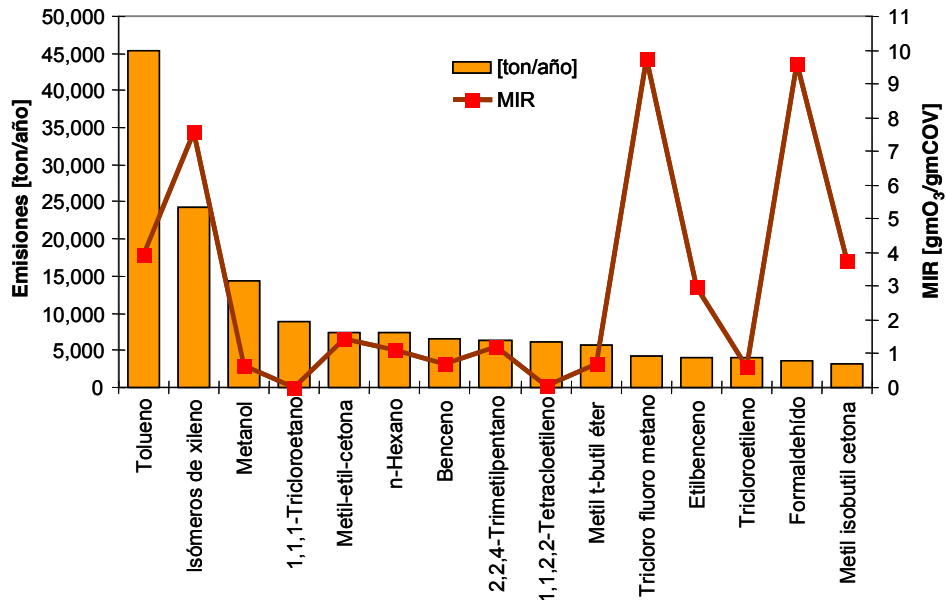
<sup>4</sup> La MIR es la Reactividad Máxima Incremental, que indica la cantidad másica de ozono asociada al compuesto químico, [gm O<sub>3</sub> / gm COV].

emisiones de tolueno son casi el doble que las emisiones de isómeros de xileno, debido a que su índice de reactividad atmosférica es más bajo, las emisiones de los isómeros de xileno (meta-xileno, orto-xileno y para-xileno), representan un potencial mayor en la formación del ozono.

El formaldehído, a diferencia de otros contaminantes provenientes de las fuentes móviles (los cuales son producto de la combustión incompleta y de la evaporación del combustible) se forma también mediante procesos secundarios cuando otros contaminantes experimentan reacciones químicas en la atmósfera (U.S. EPA, 2007d).

Los contaminantes tóxicos no se emiten de manera uniforme a través del día, puesto que cada fuente emisora tiene un horario en el que desarrolla sus principales actividades, como se aprecia en la Gráfica 2.3.2.

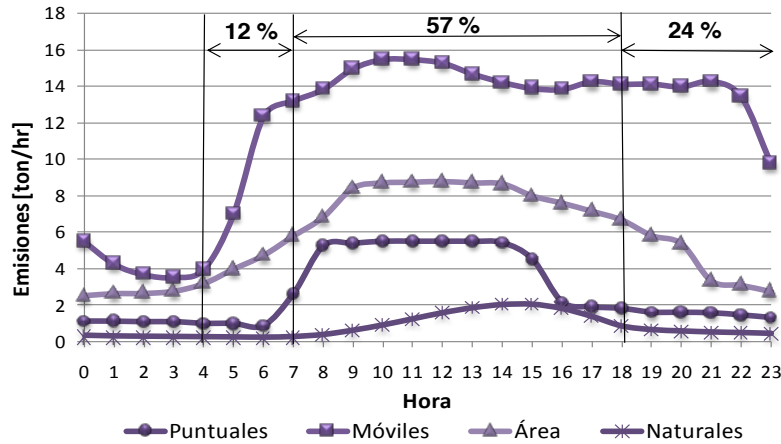
**Gráfica 2.3.1. Emisiones de contaminantes tóxicos y su MIR en la ZMVM**



Fuente: Elaborada con base en el Inventario de Emisiones de Contaminantes tóxicos de la ZMVM-2008; y SAPRC Atmospheric Chemical Mechanisms and VOC/ Reactivity Scales Air Pollution Research Center and College of Engineering Center for Environmental Research and Technology University of California/ W. P. L. Carter, August 31, 2007.

Los contaminantes tóxicos difieren entre cada temporada climática (Tabla 2.3.3). Esta diferencia se debe básicamente a la variación en las condiciones meteorológicas de la zona (precipitación, temperatura y radiación solar) así como a la calidad y cantidad de los combustibles que se consumen en cada temporada. Las emisiones promedio por día muestran una variación de aproximadamente 1% entre temporadas climáticas.

**Gráfica 2.3.2. Emisión diaria de contaminantes tóxicos por tipo de fuente en la ZMVM**



Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la ZMVM-2008.

**Tabla 2.3.3. Emisión de contaminantes tóxicos por temporada en la ZMVM (ton/día)**

Contaminante	Seca fría	Seca caliente	Lluvias
Tolueno	123.7	125.0	124.5
Isómeros de xileno	66.0	66.7	66.4
Metanol	39.1	39.6	39.4
1,1,1-Tricloroetano	24.0	24.3	24.2
Metil etil cetona	20.1	20.3	20.3
N-hexano	20.0	20.2	20.2
Benceno	17.9	18.1	18.0
2,2,4-Trimetilpentano	17.1	17.2	17.2
1,1,2,2-Tetracloroetileno	16.6	16.8	16.7
Metil t-butil éter	15.5	15.6	15.6
Triclorotrifluorometano	11.5	11.6	11.6
Etilbenceno	11.2	11.3	11.3
Tricloroetileno	11.1	11.2	11.1
Formaldehído	9.6	9.7	9.7
Metil isobutil cetona	8.9	9.0	9.0
Otros	85.6	86.6	86.2
Metales	1.1	1.1	1.1
<b>Total</b>	<b>499</b>	<b>504</b>	<b>502</b>

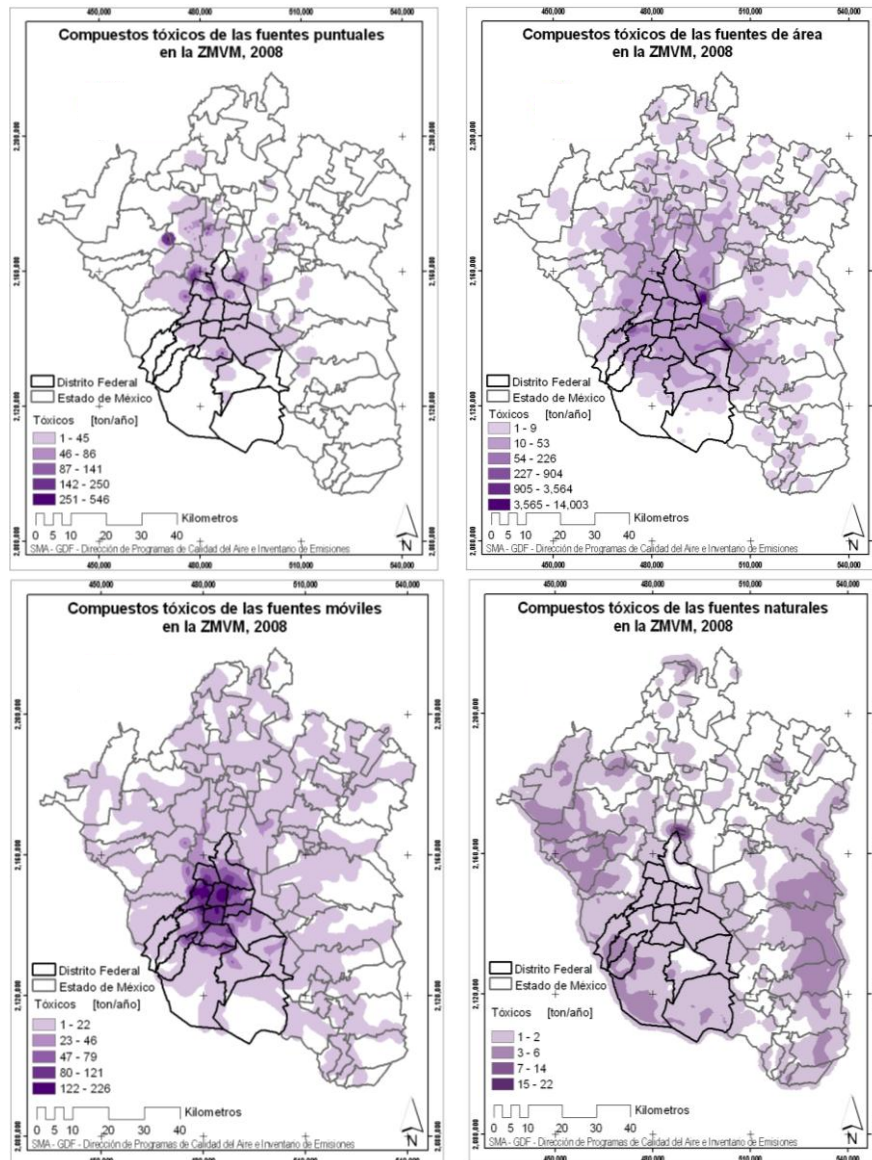
Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la ZMVM-2008.

Las fuentes puntuales generan el 13% de las emisiones de contaminantes tóxicos de la ZMVM. Las fuentes de área son responsables del 56% de las emisiones totales de compuestos tóxicos en la ZMVM; su emisión se debe principalmente al consumo comercial y doméstico de solventes y en segundo lugar a las operaciones de limpieza

industrial. Los principales compuestos emitidos son el tolueno, el 1,1,1 tricloroetano y los isómeros de xileno.

Debido a que la mayor emisión de las fuentes de área se da en los hogares, la distribución espacial sigue un patrón conforme a la mancha urbana de la zona (Mapas 2.3.1). Las fuentes móviles aportan el 27% del total de emisiones tóxicas y su distribución se relaciona con el trazo de las principales calles y avenidas. Las emisiones disminuyen conforme se avanza hacia los extremos de la ZMVM donde el flujo vehicular es más escaso.

**Mapas 2.3.1. Distribución espacial de las emisiones de contaminantes tóxicos**



Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos de la ZMVM-2008.

Debido a que los principales compuestos tóxicos emitidos por fuentes naturales son generados por la vegetación sus emisiones se localizan en las zonas arboladas de la ZMVM.

## 2.4 Fuentes de emisión multicontaminantes y de efecto invernadero

Para potenciar la reducción integral de las emisiones multicontaminantes y de efecto invernadero, en la Tabla 2.4.1 se presentan de manera conjunta las emisiones de contaminantes criterio, contaminantes tóxicos y de gases de efecto invernadero, de los sectores que generan la mayor parte de las emisiones de la ZMVM.

**Tabla 2.4.1. Sectores de mayor contribución de emisiones multicontaminantes y gases de efecto invernadero en la ZMVM**

Sector	Emisiones [ton/año]					
	Contaminantes criterio				Contaminantes Tóxicos	Gases de Efecto Invernadero*
	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	NO <sub>x</sub>	COV		
Papel y productos de papel, imprenta y editoriales	139	75	1,221	23,035	9,382	1'193,165
Sustancias químicas	784	91	1,515	64,149	6,557	1'751,559
Productos minerales no metálicos	1,414	282	1,601	1,315	288	2'523,487
Productos metálicos, maquinaria y equipo	824	71	991	15,940	5,674	3'769,854
Generación de energía eléctrica	197	197	10,975	142	49	3'556,952
Combustión habitacional	257	257	4,542	224	54	4'690,941
Recubrimiento de superficies industriales	NA	NA	NA	24,994	17,075	NA
Recubrimiento de superficies arquitectónica	NA	NA	NA	23,403	15,067	NA
Limpieza de superficie industrial	NA	NA	NA	21,346	21,527	NA
Lavado en seco	NA	NA	NA	7,614	7,074	NA
Fugas en instalaciones de GLP	NA	NA	NA	27,964	19	858
HCNQ en la combustión de gas LP	NA	NA	NA	34,658	23	1,100
Rellenos sanitarios	NA	NA	NA	11,643	NA	7'974,582
Caminos pavimentados	2,693	NS	NA	NA	10	NA
Caminos sin pavimentar	11,459	1,138	NA	NA	29	NA
Productos de cuidado personal	NA	NA	NA	20,729	814	NA
Plaguicidas	NA	NA	NA	15,956	8,982	NA
Productos para el cuidado automotriz	NA	NA	NA	12,001	8,615	NA
Autos particulares	963	511	60,662	90,653	23,783	11'871,316
Taxis	183	96	20,995	14,362	4,375	2'254,964
Microbuses	52	30	10,923	14,063	1,431	1'640,510
Tractocamiones	1,455	1,218	16,702	4,544	609	1'338,800
Autobuses	391	338	22,005	5,588	657	2'264,735
Vehículos de carga mayores a 3 toneladas	541	443	8,194	7,985	1,274	1'087,219
Motocicletas	91	53	1,648	26,225	11,404	391,892
Vegetación	NA	NA	1,031	35,585	7,142	NA
<b>Total</b>	<b>21,443</b>	<b>4,800</b>	<b>163,005</b>	<b>504,118</b>	<b>151,914</b>	<b>46'311,934</b>

\*Toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>.

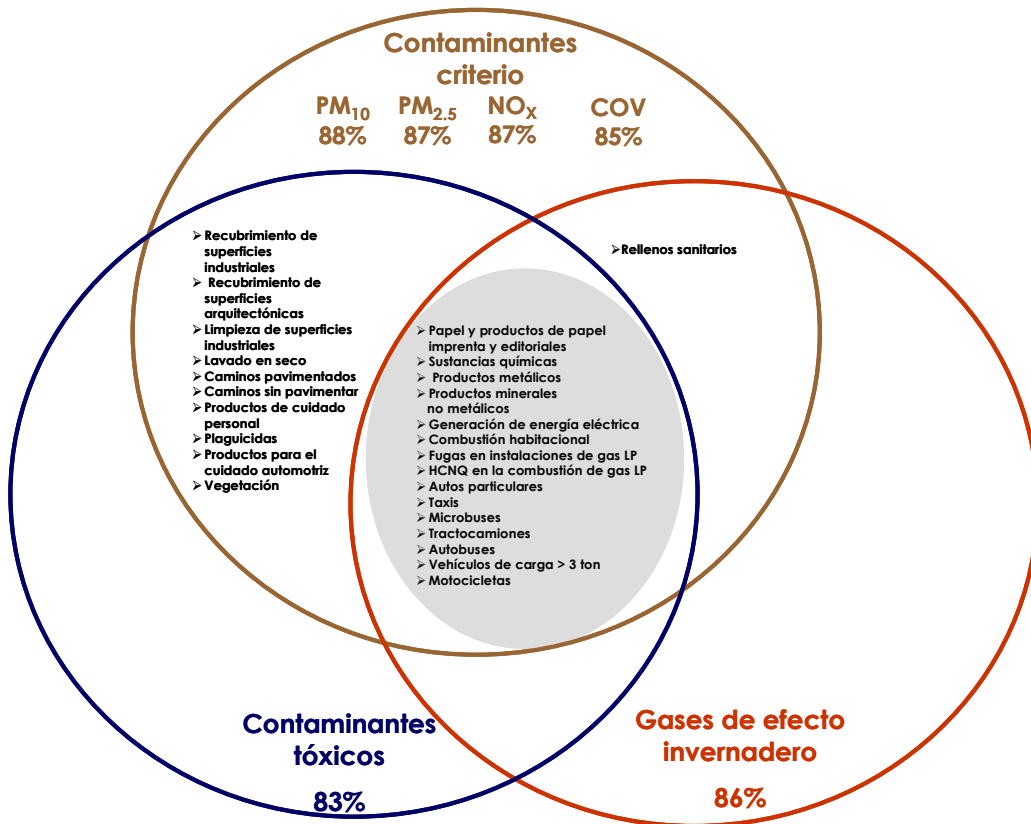
Fuente: Elaborada con los datos de los Inventarios de Emisiones de Contaminantes de la ZMVM-2008.



Debido a que las emisiones multicontaminantes y de efecto invernadero están siendo generadas en muchos de los casos por los mismos sectores, el diseño de medidas de reducción de emisiones incluye una óptica integral que pretende la obtención de cobeneficios.

En el Diagrama 2.4.1 se puede apreciar que cada uno de los sectores emite más de un tipo de contaminante, que todos los sectores emiten contaminantes criterio, que son 15 los sectores que generan emisiones de todos los contaminantes y gases de efecto invernadero, 10 de los sectores que generan emisiones de contaminantes criterio y tóxicos y que un sector (rellenos sanitarios) genera emisiones de contaminantes criterio y gases de efecto invernadero. Se observa también que los 26 sectores aportan del 85% al 88% de cada uno de los contaminantes criterio, el 83% de las emisiones de contaminantes tóxicos y el 86% de las emisiones de gases de efecto invernadero.

**Diagrama 2.4.1. Contribución a las emisiones multicontaminantes de la ZMVM**



Resalta entre todas las fuentes el rubro de los autos particulares, pues además de ser uno de los mayores generadores de contaminantes criterio, es el mayor emisor de contaminantes tóxicos y de gases de efecto invernadero, por lo que este sector ofrece el mayor potencial para la obtención de cobeneficios en la reducción de emisiones.

## Capítulo 3

# Diagnóstico de la situación actual de la calidad del aire en la ZMVM

---

El diagnóstico del estado actual de la calidad del aire y de las tendencias de los contaminantes con relación al grado de cumplimiento de los niveles observados respecto de los límites fijados por las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), destaca la necesidad de avanzar más en los casos del ozono y las partículas. Se presentan asimismo un análisis de la distribución espacial de los contaminantes, lo cual ofrece una medida indirecta del riesgo de exposición que enfrenta la población, la situación del depósito atmosférico y algunos de los resultados obtenidos recientemente en estudios realizados en la ZMVM.\*

### **3.1 Evaluación de conformidad de las NOM de salud ambiental en años recientes**

Las NOM en materia de salud ambiental establecen la concentración máxima que puede alcanzar un contaminante en el aire ambiente para que los riesgos a la salud, de los grupos más sensibles de la población, se mantengan en niveles que han sido establecidos como tolerables. Los riesgos sobre la salud se definen en función del tipo de contaminante, de su concentración, del volumen de aire aspirado y de la duración de la exposición de una persona al contaminante. La exposición puede ser aguda o crónica, siendo aguda cuando ésta es de corta duración a altas concentraciones y crónica cuando se prolonga con concentraciones moderadas. Generalmente las NOM definen dos indicadores: uno de corto plazo para la exposición aguda y otro de largo plazo para la exposición crónica. Actualmente se tienen normas vigentes para los siguientes contaminantes: ozono (O<sub>3</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), partículas suspendidas totales (PST), partículas menores a 10 micrómetros (PM<sub>10</sub>), partículas menores a 2.5 micrómetros (PM<sub>2.5</sub>) y plomo (Pb).

#### **Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)**

La NOM indica un límite de 0.130 ppm promedio de 24 horas y de 0.030 ppm promedio anual (Secretaría de Salud, 1994b). Desde 2003 los niveles de este contaminante no superan los valores de la norma oficial. En el caso del año 2008 la concentración promedio de 24 horas fue menor a 0.130 ppm en todas las estaciones de monitoreo. En 2009 el valor máximo para el promedio de 24 horas se observó en estaciones del norte de la ZMVM, si bien éste cumplió con lo establecido por la NOM.

---

\* La información de la calidad del aire que se presenta y analiza en este capítulo proviene fundamentalmente del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la SMA del Distrito Federal y de los informes 2008 y 2009 de la Calidad del Aire.

### **Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)**

La NOM indica un límite de 0.210 ppm como promedio horario (Secretaría de Salud, 1994c). El dióxido de nitrógeno es un contaminante que se produce junto con el óxido nítrico (NO), durante los procesos de combustión, sin embargo, en condiciones normales la emisión de dióxido de nitrógeno es mucho menor que la de óxido nítrico. En la ZMVM la mayor parte del NO<sub>2</sub> es de origen fotoquímico, se forma de la reacción en la atmósfera del óxido nítrico con algunos compuestos oxidantes, como el ozono y el radical hidroxilo (Shirley et al., 2006). A la suma de las concentraciones de NO<sub>2</sub> y NO se le conoce como óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y es un parámetro fundamental para explicar la producción fotoquímica del ozono.

A pesar de la intensa actividad fotoquímica en la atmósfera de la ZMVM, durante 2008 la concentración promedio horaria no rebasó el valor establecido por la NOM. En 2009 una estación registró el valor máximo de 0.211 ppm, pero como la NOM permite que el valor de 0.210 ppm se exceda sólo una vez al año, esto no se registra como un incumplimiento de la NOM.

### **Monóxido de carbono (CO)**

La NOM establece un límite de 11 ppm promedio móvil de 8 horas (Secretaría de Salud, 1994a). El monóxido de carbono se produce durante la combustión de materiales orgánicos como el petróleo, la madera y el carbón, entre otros. Cuando la combustión ocurre en un ambiente con menor cantidad de oxígeno del que se requiere para oxidar la materia orgánica hasta dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y agua, se produce una mezcla de monóxido de carbono, dióxido de carbono e hidrocarburos.

Debido a que el daño que produce este contaminante está asociado con el efecto acumulativo del compuesto en el corto plazo, el valor de la norma refiere una exposición menor a 11 ppm en un promedio de 8 horas. De acuerdo con los registros del Sistema de Monitoreo Atmosférico, durante 2008 y 2009 no se rebasó el límite que establece la norma para este contaminante. Las concentraciones máximas se registraron en aquellas estaciones que se encuentran cerca de vialidades con tránsito vehicular intenso.

### **Ozono (O<sub>3</sub>)**

La NOM establece un límite de 0.110 ppm promedio horario y 0.080 ppm en el quinto máximo anual del promedio de 8 horas (Secretaría de Salud, 2002). El ozono es un contaminante secundario producto de la reacción fotoquímica entre los compuestos orgánicos volátiles y los óxidos de nitrógeno emitidos principalmente por los vehículos. Su concentración y distribución en la ZMVM refleja la influencia directa de las condiciones fisiográficas, de los patrones meteorológicos del Valle de México, del impacto de las emisiones generadas durante la actividad diaria de los habitantes y la capacidad oxidativa de la atmósfera. Desde que se inició el monitoreo sistemático de la contaminación del aire en 1986 no se ha registrado un solo año que cumpla con los límites definidos por la NOM. Durante los primeros años de la década de los 90, los niveles de ozono alcanzaron los máximos históricos en la ZMVM, registrando concentraciones de hasta cuatro veces el valor de la norma de 0.110 ppm.

En 2008 todas las estaciones de monitoreo superaron el valor de la NOM de ozono, tanto para el indicador de 1 hora como para el indicador de 8 horas. Entre enero y diciembre de 2008 se registraron 185 días con una concentración mayor a 0.110 ppm; las

estaciones localizadas en el poniente y suroeste registraron las concentraciones más altas y el mayor número de registros que excedieron la NOM. El indicador para 8 horas que corresponde a un valor de 0.080 ppm para el quinto máximo, se rebasó en todas las estaciones de monitoreo que reportan este contaminante. En 2009 las concentraciones de ozono rebasaron en el 49% de los días el valor límite horario establecido por la NOM.

### **Partículas suspendidas totales (PST)**

Las partículas suspendidas son una compleja mezcla de diversos materiales sólidos o líquidos suspendidos en el aire por acción mecánica, por el viento u otros factores físicos. Dependiendo de su origen, las partículas pueden variar de tamaño, forma y composición. El tamaño determina en gran medida el tiempo en que éstas permanecen en suspensión; las más grandes como el polvo del suelo se pueden sedimentar rápidamente, mientras que las más pequeñas pueden permanecer en suspensión durante varias horas o días. Las partículas más grandes tienden a depositarse cerca de su lugar de origen, mientras que las más pequeñas llegan a ser transportadas por el viento cientos de kilómetros, antes de depositarse.

Las partículas mayores a 2.5 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ) están compuestas principalmente por polvo del suelo, restos de vegetales o animales, fibras y polen. Las partículas menores a 2.5  $\mu\text{m}$  están formadas en un gran porcentaje por compuestos orgánicos e inorgánicos derivados de reacciones secundarias en la atmósfera y contienen principalmente una gran variedad de compuestos orgánicos en combinación con carbono elemental y diversos compuestos inorgánicos producidos durante la oxidación del azufre y del nitrógeno. En esta fracción se encuentran los aerosoles ácidos asociados con la formación de la lluvia ácida.

Además de los efectos en la salud humana y el medio ambiente, las partículas con diámetros menores a 1 $\mu\text{m}$  son las responsables de la disminución en la visibilidad en la ZMVM, ya que por su tamaño son capaces de dispersar la luz del sol provocando un efecto brumoso que perdura.

El incremento de la concentración de partículas en la ZMVM está fuertemente asociado con la meteorología del Valle. Durante los días de viento intenso, la resuspensión del polvo del suelo produce incrementos importantes en las concentraciones de partículas suspendidas totales (PST) y partículas menores a 10  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ). La presencia de inversiones térmicas de superficie puede contribuir al incremento en la concentración de partículas menores a 10  $\mu\text{m}$  y partículas finas, por la falta de dispersión y por la acumulación en la atmósfera de las partículas emitidas por los vehículos y la industria. En estas condiciones la concentración de partículas depende de la altura a la que se encuentra la base de la inversión térmica y de la duración de la misma. Las concentraciones más altas generalmente se registran cuando la capa atrapada bajo la inversión es de poca altura (menor a 1,000 metros) y la duración de la inversión se mantiene durante toda la mañana.

En 2008 en ninguna de las estaciones de monitoreo se logró el cumplimiento de la NOM. En 2009, con excepción de la estación UAM Iztapalapa (UIZ), las concentraciones de partículas suspendidas totales registradas en las demás estaciones superaron el valor de 210  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para el valor del percentil 98 establecido en la NOM-025-SSA1-1993 (Secretaría de Salud, 2005).

### **Partículas menores a 10 micrómetros (PM<sub>10</sub>)**

Las partículas menores a 10 micrómetros son emitidas por fuentes diversas entre las que destacan: las fuentes móviles, las vialidades sin pavimentar, las emisiones industriales, la fabricación y uso de materiales para la construcción, la industria de la fundición moldeada de metales, el suelo erosionado y la generación de energía eléctrica.

La NOM establece un límite de 120 µg/m<sup>3</sup> promedio de 24 horas, y 50 µg/m<sup>3</sup> promedio anual (Secretaría de Salud, 2005). Un alto porcentaje de estas partículas corresponde a la resuspensión del polvo del suelo debido a la circulación de vehículos sobre vialidades sin pavimentar y a las emisiones vehiculares; el resto proviene de la industria, diversas fuentes de área y fuentes naturales. El cumplimiento de la norma ha sido irregular presentando mayores problemas en la zona oriente de la ZMVM, caracterizada por vialidades de intenso tráfico vehicular y una cercanía a las zonas de donde provienen fuertes polvaredas en la temporada de estiaje.

### **Partículas menores a 2.5 micrómetros (PM<sub>2.5</sub>)**

La NOM establece un límite de 65 µg/m<sup>3</sup> promedio de 24 horas y 15 µg/m<sup>3</sup> promedio anual (Secretaría de Salud, 2005). La presencia de partículas finas o menores a 2.5 µm de origen primario está asociada con las emisiones de vehículos como tractocamiones y autobuses. Sin embargo, en la ZMVM la mayor parte de las partículas finas que se encuentran suspendidas en la atmósfera son de origen secundario, es decir se forman a partir de la transformación de diferentes compuestos gaseosos, sólidos y líquidos que se encuentran en la misma. Debido a la complejidad de los mecanismos de formación en la atmósfera, es difícil cuantificar la contribución a la concentración de partículas a partir de las emisiones de los precursores.

Una de las evidencias más claras de la contaminación del aire es la disminución en la visibilidad, la cual se debe a la acción de las partículas en la absorción o dispersión de la luz. Esta última es proporcional a la concentración de las partículas finas y la absorción es proporcional a la concentración de especies absorbentes como el carbono.

En la ZMVM y durante 2008 y 2009 en ningún sitio se reportaron valores superiores al límite recomendado por la NOM para el indicador de 24 horas, de 65 µg/m<sup>3</sup> para el percentil 98. Sin embargo, en todas las estaciones se excedió el valor del promedio anual de la NOM de 15 µg/m<sup>3</sup>.

### **Plomo (Pb)**

La NOM establece un límite de 1.5 µg/m<sup>3</sup> promedio trimestral (Secretaría de Salud, 1994d). El plomo es un metal pesado que es emitido a la atmósfera de manera natural por las erupciones volcánicas, el aerosol marino, los incendios forestales y el polvo del suelo, o bien por actividades industriales en forma de partículas o humos. En la ZMVM se empleó el tetraetilo de plomo en las gasolinas como antidetonante hasta 1996 y era la principal fuente de este contaminante, pero desde 1997 la gasolina que se distribuye en la ZMVM no contiene plomo. Las concentraciones de plomo se han mantenido dentro de la norma desde hace varios años.

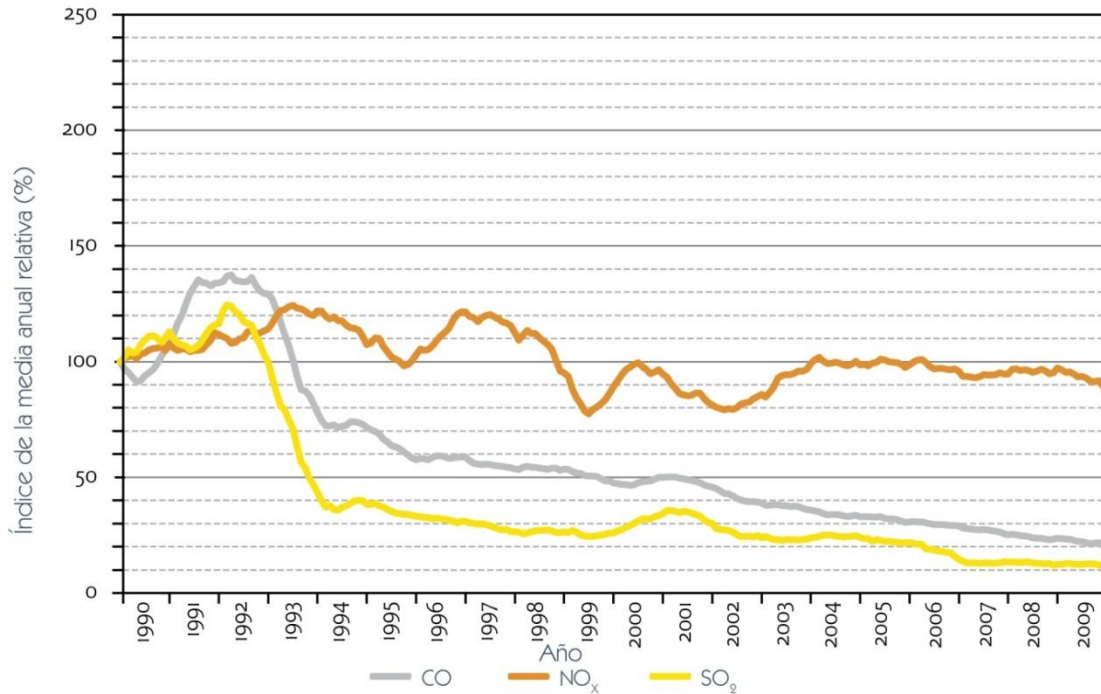
## **3.2 Tendencias y distribución de los contaminantes**

Se dice que un contaminante presenta una tendencia cuando la traza de su comportamiento sigue un patrón cuya dirección y sentido se mantienen sin cambios

drásticos a lo largo de un período dado. Por el contrario, se dice que no hay una tendencia cuando la variabilidad de las concentraciones no permite detectar un patrón específico de comportamiento. Un indicador utilizado para analizar la tendencia de los contaminantes es el *índice de la media anual relativa* que representa la tasa porcentual de cambio del promedio anual móvil con respecto al promedio de 1989, por ser el año justamente anterior a la entrada en vigor del primer paquete de medidas para mejorar la calidad del aire en la ZMVM. El índice se evalúa mes a mes para observar la tendencia como una serie de tiempo, donde el punto de partida corresponde a la concentración promedio anual de 1989 a la que se le asigna un valor de 100%. Cualquier punto de la línea de tendencia mayor al 100% indica un aumento en la concentración del contaminante, mientras que un valor menor representa una disminución del mismo.

La Gráfica 3.2.1 muestra las tendencias de los óxidos de nitrógeno, del monóxido de carbono y del dióxido de azufre, los cuales muestran una tendencia descendente.

**Gráfica 3.2.1. Tendencias del monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en el aire ambiente de la ZMVM 1990-2009**

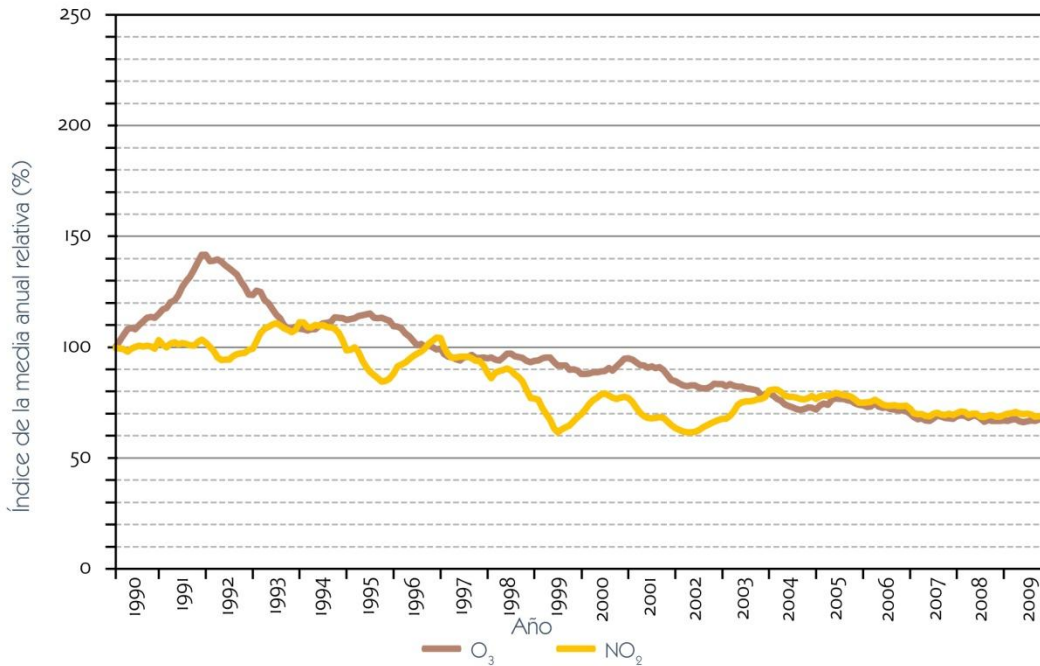


A pesar de la dificultad que implica la reducción de los contaminantes de origen secundario, el ozono y el dióxido de nitrógeno han mantenido una tendencia descendente en los últimos 15 años. En el caso particular del ozono la reducción de las concentraciones ha sido continua desde 1992, presentando hasta el año 2008 una disminución neta del 36% (Gráfica 3.2.2). En el caso del dióxido de nitrógeno se observa una línea con tendencia descendente y comportamiento cíclico durante los primeros 15 años, lo cual se estabiliza a partir de 2004. Al año 2008 se observa una disminución neta del 30% con respecto al año base. Comparando con 2007, el ozono y el dióxido de nitrógeno mantienen la tendencia descendente con una tasa de cambio de 2.0 y 0.1

por ciento, respectivamente, si bien como se puede observar en la gráfica estas tasas se han ido acercando a cero de 2007 a la fecha.

Este estancamiento, que también es claramente observable con el SO<sub>2</sub> y un poco menos con los NO<sub>x</sub>, es uno de los aspectos que permiten suponer que la generación de contaminantes atmosféricos en la ZMVM ha estado llegando a un piso estructural (en el Capítulo 6 se desarrolla un enfoque que aborda directamente este tema).

**Gráfica 3.2.2. Tendencias del ozono (O<sub>3</sub>) y el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) en el aire ambiente de la ZMVM para el periodo 1990-2009**

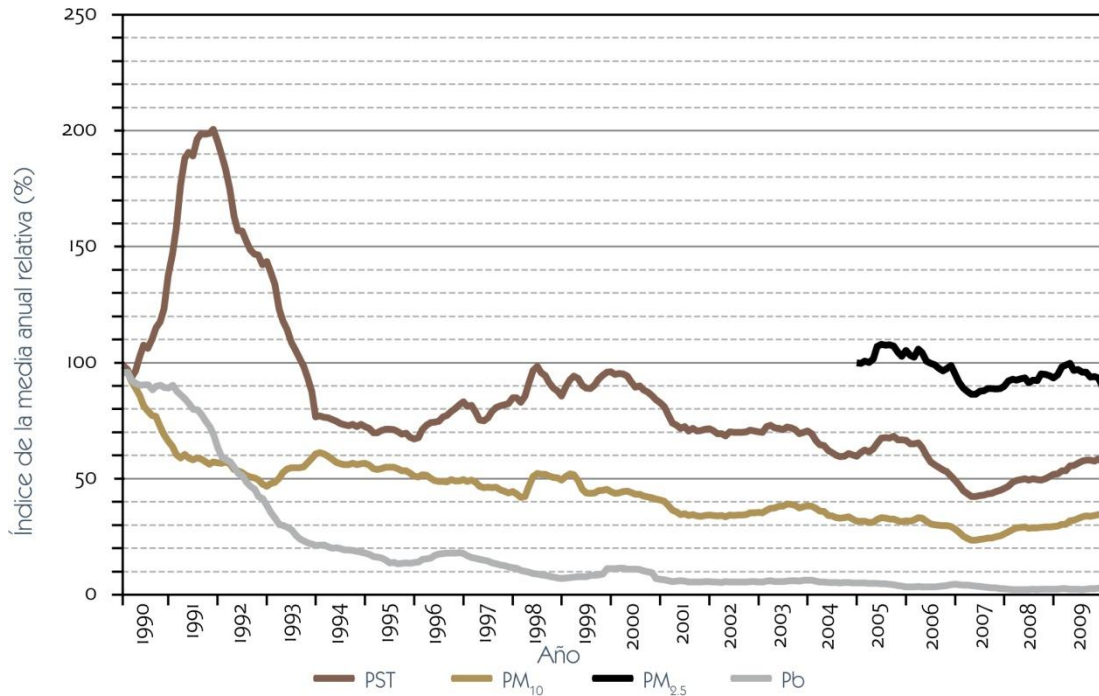


La tendencia de las partículas suspendidas totales presenta una gran variabilidad durante los primeros 10 años, la cual se vuelve claramente descendente a partir del año 2000. Durante el primer lustro de la década de 1990 se registraron cambios extremos en la concentración de las partículas suspendidas totales, con un incremento de más del 100% por encima de las concentraciones de 1989 y un descenso de más de 120% en los dos años siguientes (Gráfica 3.2.3). Entre 1996 y 2000 se observó un incremento en la concentración de partículas suspendidas totales con respecto a 1995.

Referente a las partículas menores a 10 micrómetros, la línea de tendencia indica una disminución progresiva en la concentración, es decir, en los últimos 19 años se ha logrado una reducción del 71% en la concentración del contaminante. Sin embargo, durante 2008 se registró un incremento del 3% en su concentración con respecto a 2007.

En el caso de las partículas menores a 2.5 micrómetros la tendencia se analiza con el promedio de 2004. Hasta 2008 la reducción neta es de 12%. Con respecto a 2007 la concentración se incrementó en 3%.

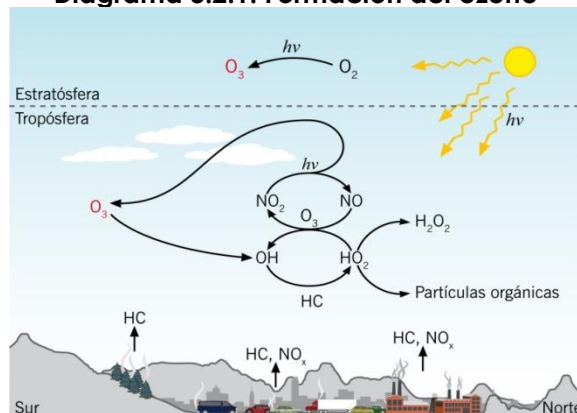
**Gráfica 3.2.3. Tendencias de las partículas suspendidas totales (PST), partículas menores a 10 micrómetros (PM<sub>10</sub>), partículas menores a 2.5 micrómetros (PM<sub>2.5</sub>) y plomo (Pb) en el aire ambiente de la ZMVM en el periodo 1990-2009**



**Ozono**

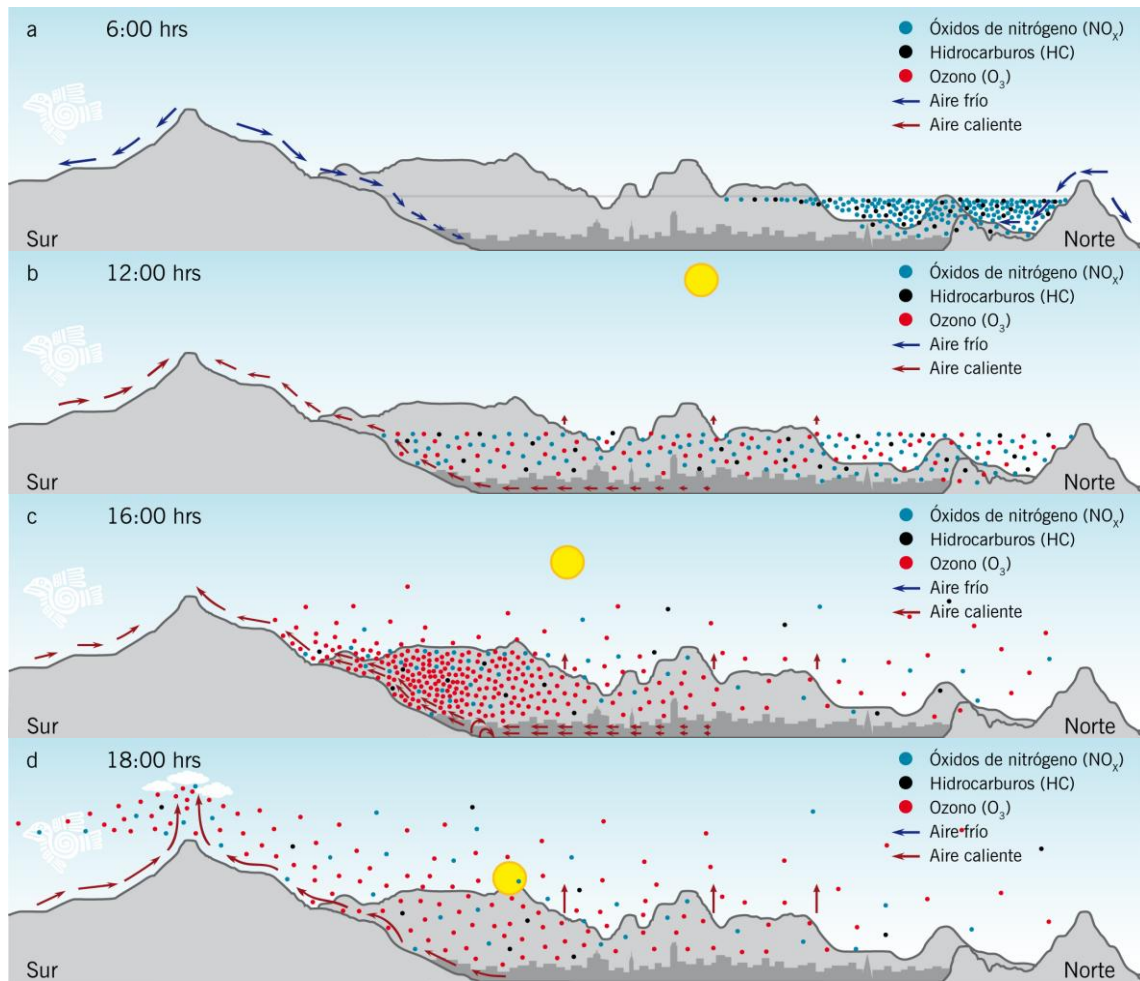
La formación del ozono depende significativamente de las características del Valle de México. En efecto, la fisiografía de la región es una constante que desempeña un papel fundamental en el comportamiento de la contaminación por ozono, ya que las montañas influyen en el movimiento de los vientos y por lo tanto en los fenómenos de dispersión y acumulación de los contaminantes. Las condiciones meteorológicas de la región, a saber, la estabilidad atmosférica, los vientos débiles, el cielo despejado, la radiación solar, las inversiones térmicas y la ausencia de lluvia, favorecen asimismo las altas concentraciones de ozono. Los Diagramas 3.2.1 y 3.2.2a-d muestran esquemáticamente el proceso de formación del ozono y los fenómenos que definen las variaciones de las concentraciones horarias.

**Diagrama 3.2.1. Formación del ozono**





### Diagramas 3.2.2a-d. Esquemas de concentración horaria de contaminantes

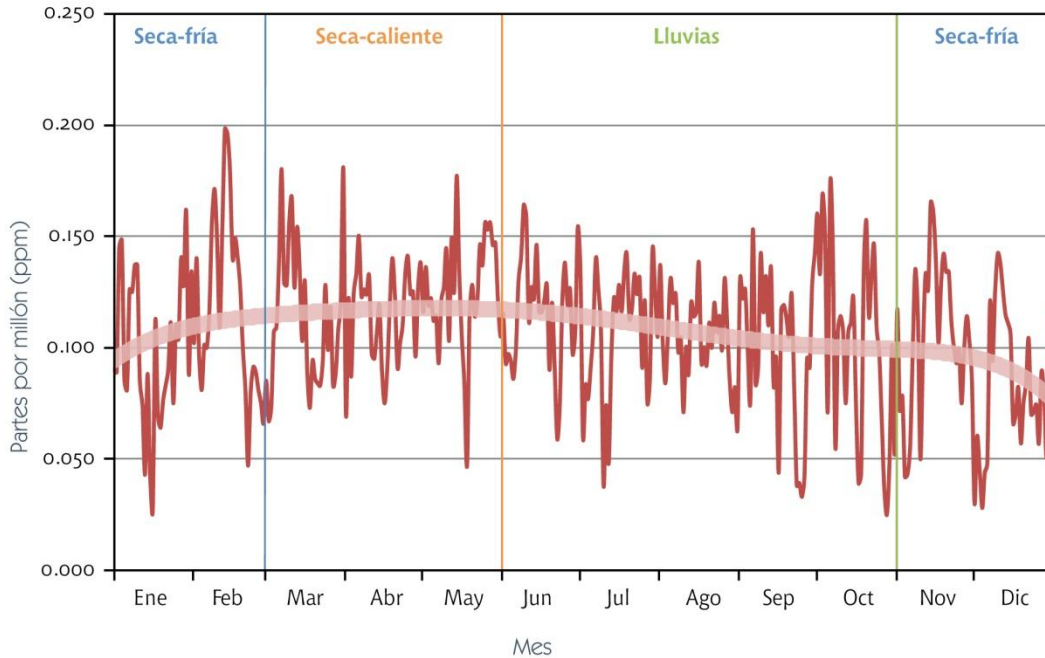


Durante los meses de marzo a mayo son frecuentes los días despejados, con vientos escasos y con estabilidad atmosférica. Los días son más largos y en consecuencia hay más radiación solar. Los cielos sin nubes favorecen un rápido enfriamiento del suelo durante la noche, generando una capa de aire frío y denso cerca del suelo. Esta capa puede tener un grosor de algunos cientos de metros. El aire frío debajo de una capa de aire más tibio forma una inversión térmica.

En las primeras horas de la mañana, con el inicio de las actividades urbanas, las emisiones de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno se acumulan lentamente sobre la metrópoli y son atrapadas dentro de la inversión térmica (Diagrama 3.2.2a). A medida que el sol calienta gradualmente el suelo favorece un flujo desde el Valle hacia las laderas de las montañas, que inicia con una débil corriente de aire que arrastra los contaminantes hacia las montañas del sur y poniente (Diagrama 3.2.2b), durante el desplazamiento la energía del sol activa las reacciones fotoquímicas que dan origen al ozono. Si existe estabilidad atmosférica en las capas atmosféricas superiores, el intercambio vertical de las masas de aire es lento y la contaminación se acumula gradualmente al pie de las montañas provocando un incremento importante en la concentración del ozono (Diagrama 3.2.2c). El calentamiento del suelo por la tarde refuerza el movimiento horizontal y vertical del viento favoreciendo la rápida dispersión de la contaminación (Diagrama 3.2.2d).

El ozono también muestra algunas variaciones en el comportamiento que tiene en diferentes estaciones del año. En la Gráfica 3.2.4, se muestra la tendencia y los comportamientos estacionales del ozono para el año 2009, lo que permite observar que en promedio las concentraciones horarias máximas son mayores en la época seca caliente.

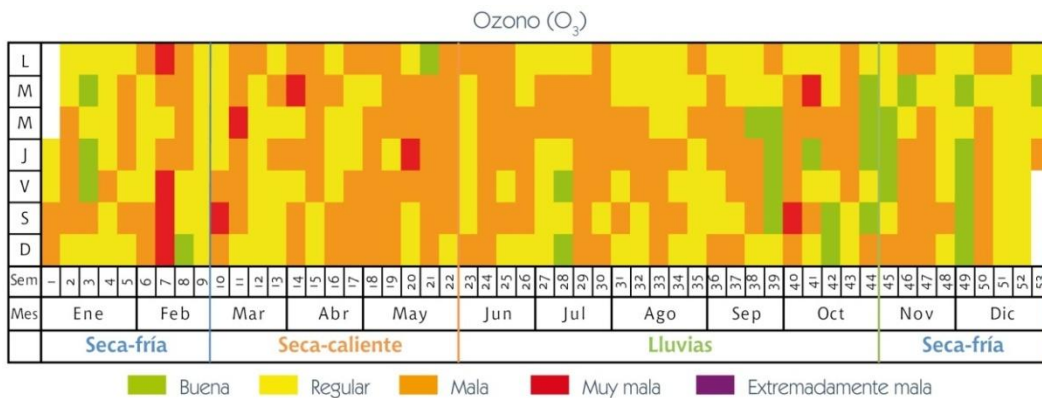
**Gráfica 3.2.4. Comportamiento temporal del promedio diario de las concentraciones horarias máximas de ozono en la ZMVM en 2009**



Nota: el valor diario se obtuvo del promedio de las concentraciones máximas de cada día. En la gráfica se indica la línea suavizada de la componente estacional para el ozono.

Finalmente, para cerrar la información relativa al ozono, en la Gráfica 3.2.5 se muestra el mosaico de ozono para 2009. Cada celda del mosaico representa el estado de la calidad del aire registrada para cada día del año. Se observa el efecto de la época sin lluvias con altas temperaturas ambiente.

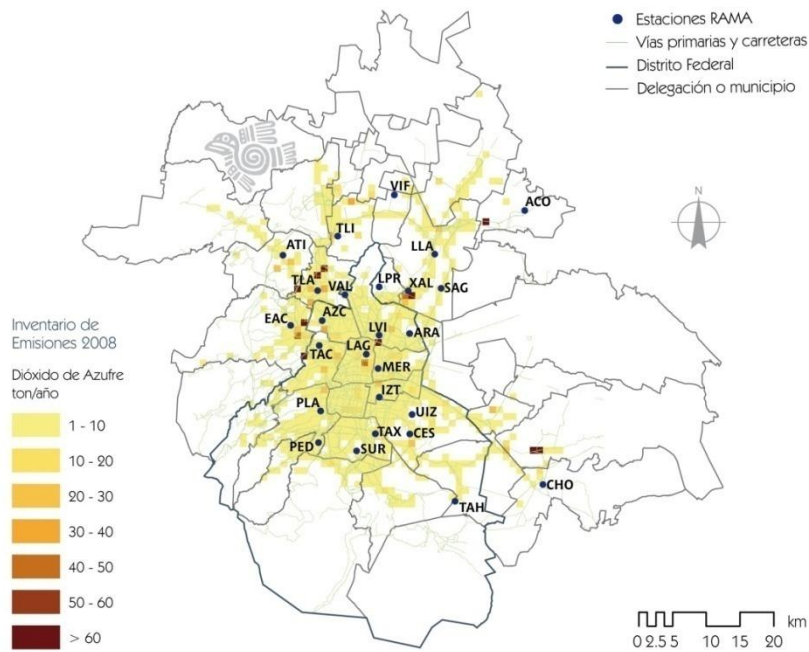
**Gráfica 3.2.5. Mosaico de ozono para 2009**



## Dióxido de azufre

El dióxido de azufre es emitido junto con los gases de combustión durante la quema de combustibles derivados del petróleo como la gasolina, diesel, gasóleo y el gas LP. La distribución espacial de las concentraciones de dióxido de azufre en el aire ambiente, estimada a partir de los datos del monitoreo atmosférico, presenta una correspondencia con la distribución de las emisiones del contaminante (Mapas 3.2.1 y 3.2.2 y Gráfica 3.2.6).

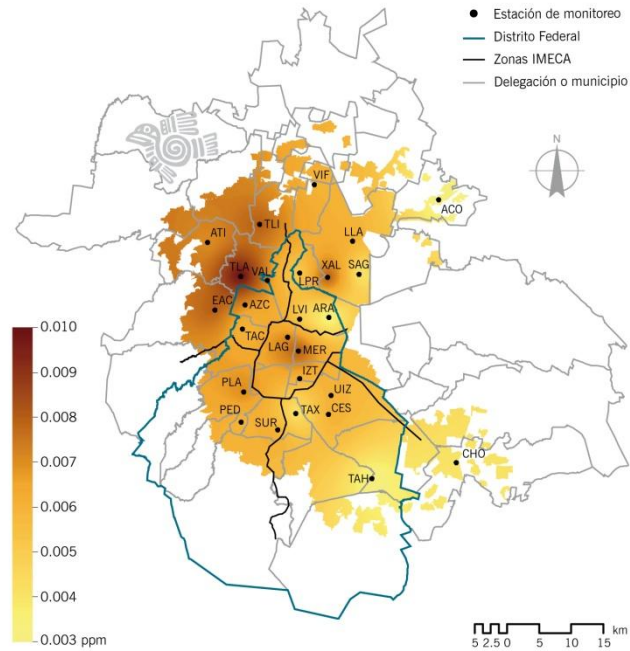
**Mapa 3.2.1. Distribución espacial de las emisiones de SO<sub>2</sub> en la ZMVM**



Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

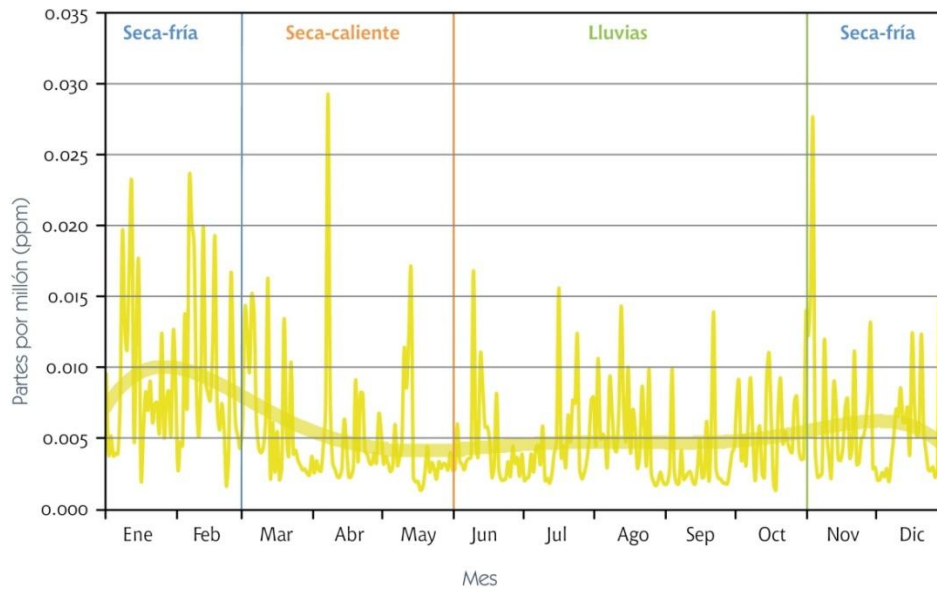
El comportamiento estacional del dióxido de azufre es diferente al del ozono, como se puede observar en la Gráfica 3.2.6. Nótese cómo el promedio diario es mayor en la época seca fría y alcanza los menores valores en la seca caliente.

**Mapa 3.2.2. Distribución espacial de la concentración de SO<sub>2</sub> en la ZMVM en 2009**



Nota: Estimada a partir de los datos del monitoreo atmosférico.

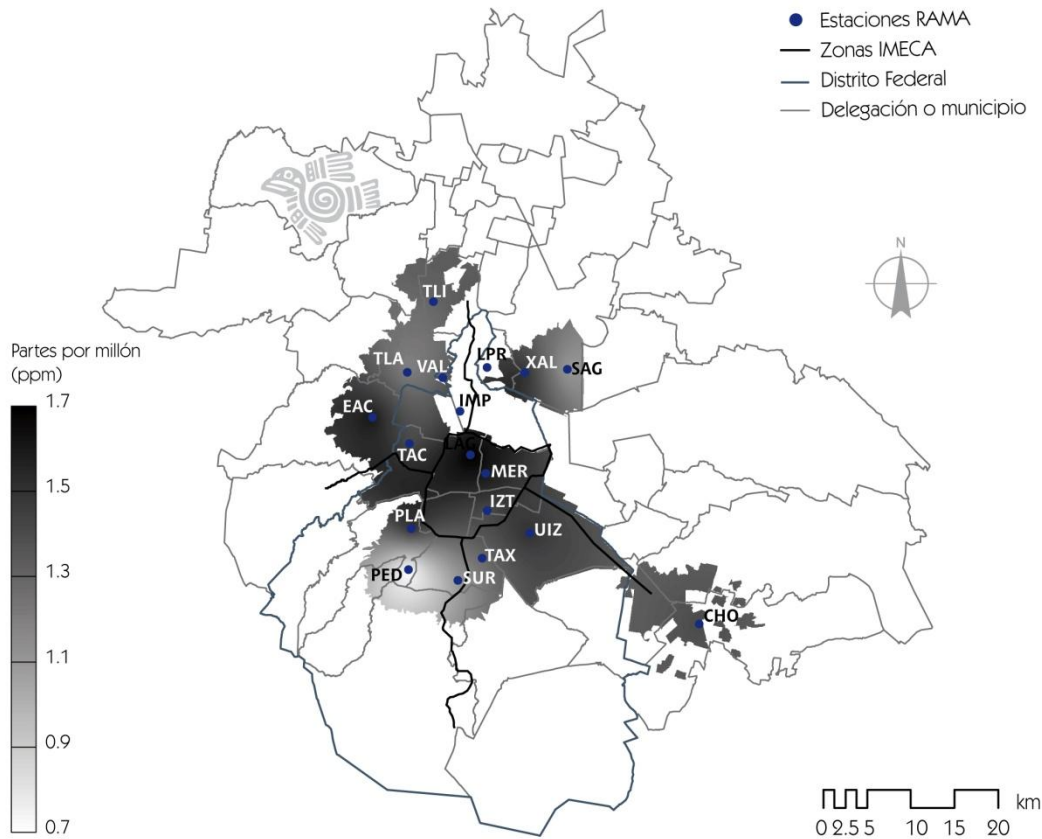
**Gráfica 3.2.6. Comportamiento estacional del promedio diario de la concentración de dióxido de azufre en la ZMVM durante 2009**



### Monóxido de carbono

En cuanto al monóxido de carbono, éste es producido durante la combustión parcial de hidrocarburos y materiales orgánicos. La concentración de monóxido de carbono en el aire ambiente está afectada directamente por la cercanía, distribución y aforo de las vialidades primarias y secundarias que cruzan la metrópoli. De acuerdo con los datos del monitoreo atmosférico las mayores concentraciones del contaminante se observan en el centro de la ZMVM, que es la región en donde se encuentra la mayor cantidad de fuentes de emisión (Mapa 3.2.3 y Gráfica 3.2.7).

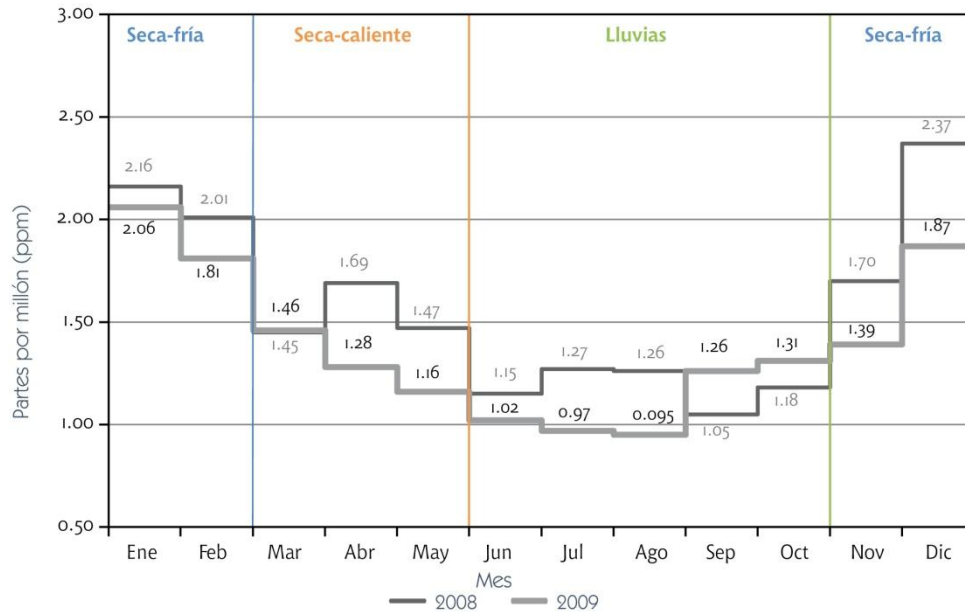
**Mapa 3.2.3. Distribución espacial de las emisiones de CO en la ZMVM**



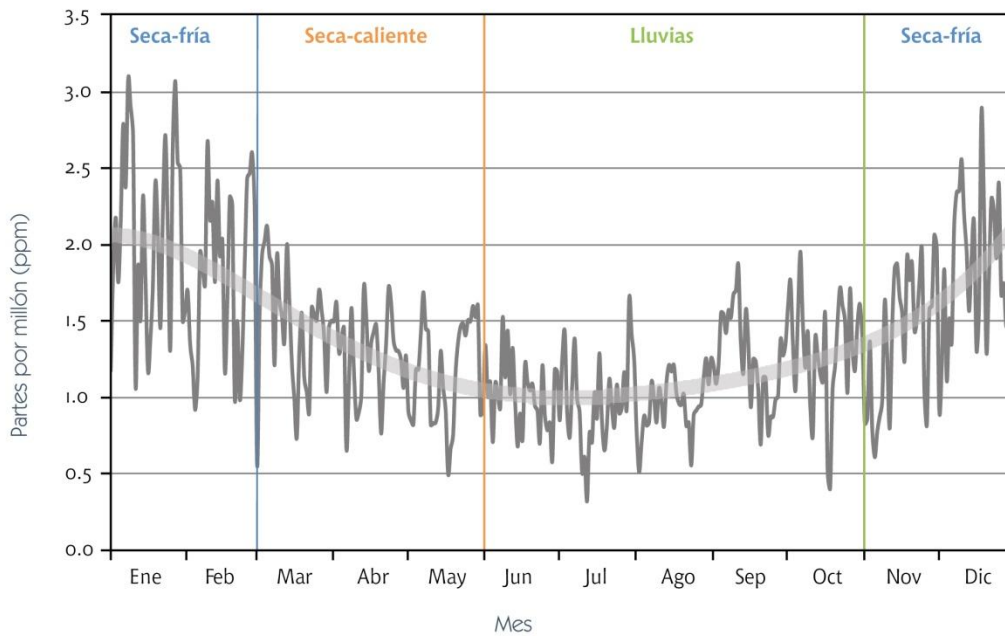
Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

En el caso del monóxido de carbono, se tiene una fuerte componente estacional con concentraciones bajas durante la época de lluvias y máximas durante la temporada seca, principalmente durante la temporada seca-fría. La distribución temporal del CO, a lo largo de 2009 (Gráfica 3.2.8) presenta un incremento durante los meses de invierno provocado por el estancamiento del aire debido a la disminución de la temperatura ambiente y el aumento en la frecuencia de las inversiones térmicas de superficie, que impiden el mezclado y la dispersión de los contaminantes.

**Gráfica 3.2.7. Concentración promedio mensual de CO en los años 2008 y 2009**



**Gráfica 3.2.8. Comportamiento temporal del promedio diario de la concentración de monóxido de carbono en la ZMVM durante 2009**



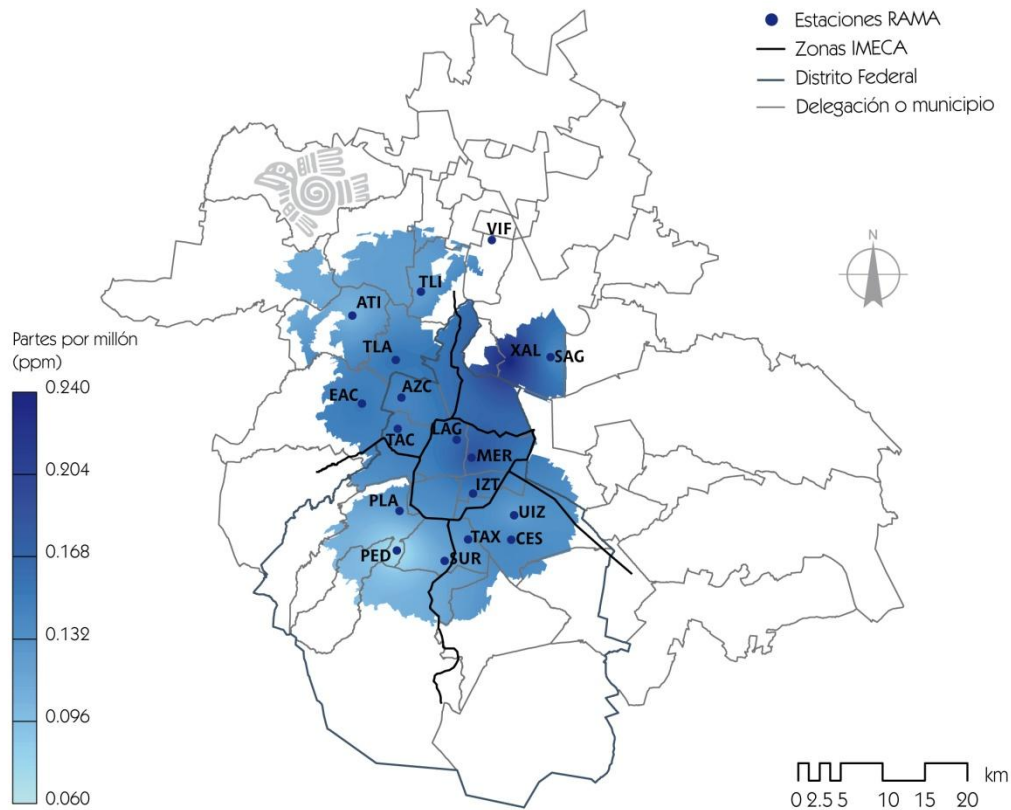


## Óxidos de nitrógeno

Los óxidos de nitrógeno, al igual que el monóxido de carbono, son emitidos principalmente por los vehículos automotores. La distribución espacial de este contaminante es similar a la del monóxido de carbono (Mapa 3.2.4 y Gráfica 3.2.9). Una fuente muy importante de óxidos de nitrógeno es la generación de energía eléctrica, la cual aporta alrededor del 6% del total de emisiones de la zona metropolitana. La distribución espacial de la concentración de los óxidos de nitrógeno en el aire ambiente está asociada directamente con la distribución espacial de las fuentes de emisión.

El noreste registra las concentraciones más altas del contaminante, es muy probable que las estaciones que se encuentran en esta región reciban la influencia de las emisiones de la zona industrial y el impacto de las emisiones de la termoeléctrica "Valle de México".

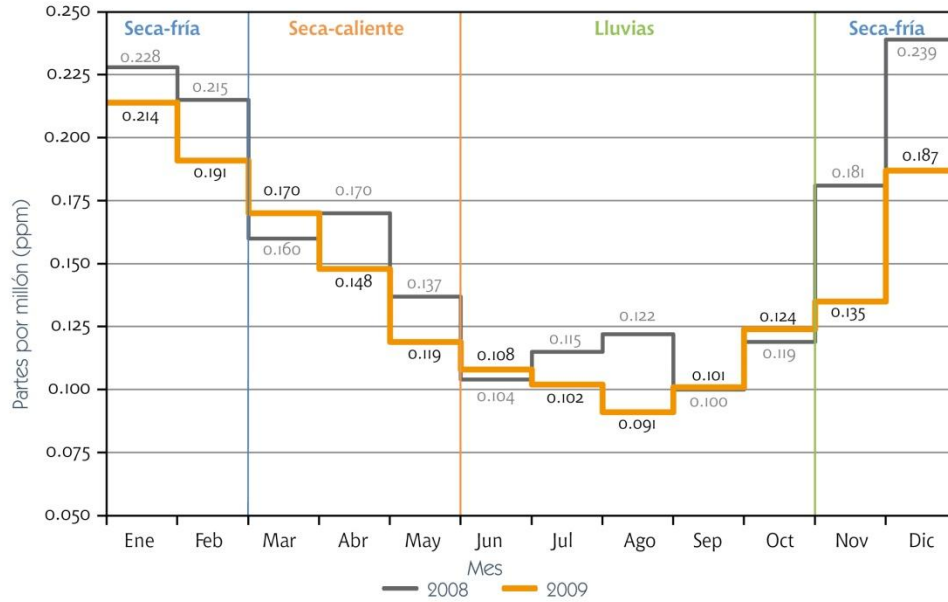
**Mapa 3.2.4. Distribución espacial de las emisiones de óxidos de nitrógeno en la ZMVM**



Fuente: Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM-2008.

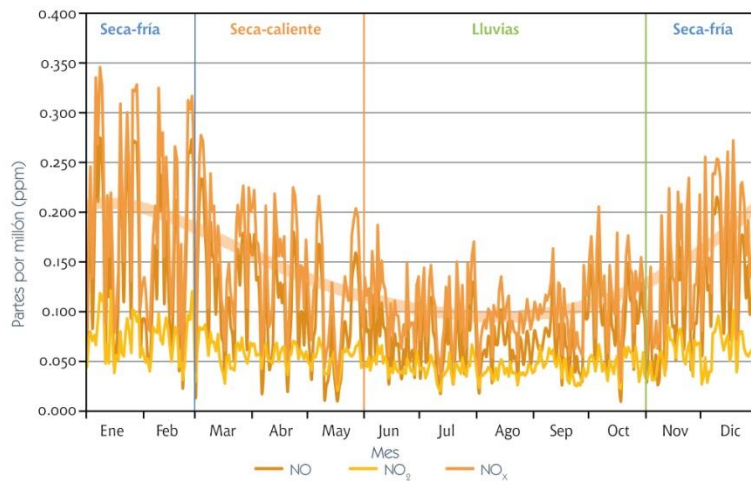
Al tener una fuente común, los óxidos de nitrógeno presentan una distribución temporal similar a la del monóxido de carbono, con un mínimo durante la temporada de lluvias y concentraciones máximas durante la temporada invernal.

**Gráfica 3.2.9. Concentración promedio mensual de NO<sub>x</sub> en los años 2008 y 2009**



Los picos de concentración de óxidos de nitrógeno se presentan de manera simultánea a los picos de concentración de monóxido de carbono (Gráfica 3.2.10). La meteorología, conjuntamente con el incremento en la intensidad de actividades comerciales y sociales que caracterizan al mes de diciembre, propician los aumentos en la emisión de monóxido de carbono y de los óxidos de nitrógeno. Adicionalmente, en el caso particular del NO<sub>2</sub>, se observa un aumento durante la temporada seca-caliente, entre los meses de abril y mayo, este incremento puede estar asociado con una mayor actividad fotoquímica atmosférica.

**Gráfica 3.2.10. Comportamiento temporal del promedio diario de la concentración de óxidos de nitrógeno, dióxido de nitrógeno y óxido nítrico en la ZMVM durante 2009**

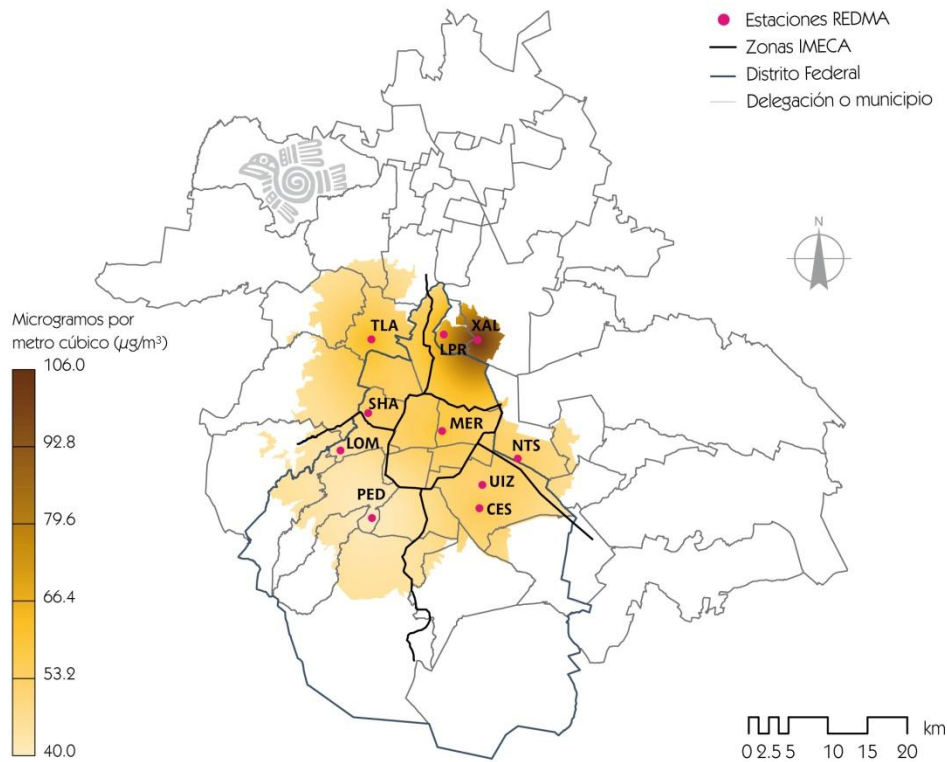




### Partículas PM<sub>10</sub>

En la parte central de la ZMVM la emisión de partículas menores a 10 micrómetros se encuentra dominada por las fuente móviles, mientras en los alrededores la emisión de dichas partículas depende principalmente de las vialidades sin pavimentar y el polvo levantado del suelo erosionado del Ex Lago de Texcoco (Mapa 3.2.5). Más del 50% de la masa de las partículas corresponde a partículas provenientes del polvo del suelo, material resuspendido por las actividades de construcción o de tránsito vehicular y materiales de origen geológico. Estas partículas por su tamaño se sedimentan relativamente rápido y en condiciones de viento débil no suelen recorrer grandes distancias.

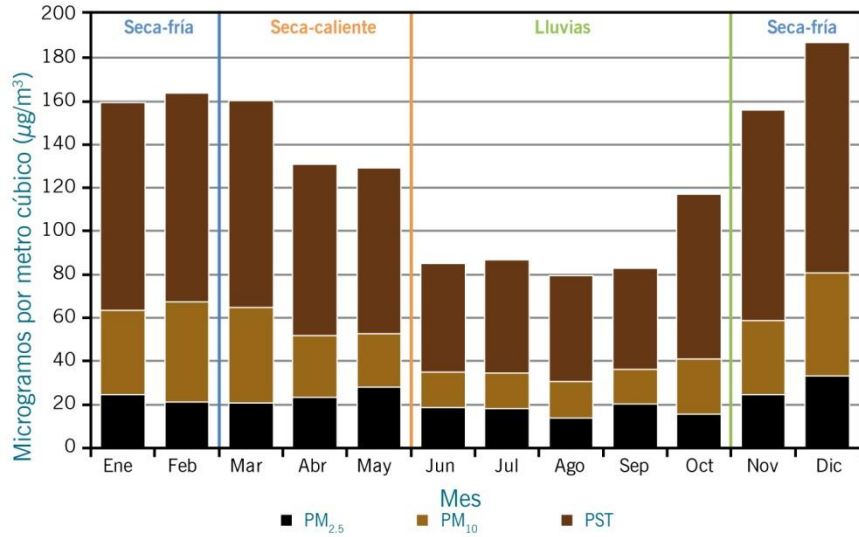
**Mapa 3.2.5. Distribución espacial de la concentración de partículas menores a 10 micrómetros en la ZMVM durante 2009**



En el caso de las partículas suspendidas se observa una distribución temporal consistente en las tres fracciones de partículas suspendidas medidas por el Sistema de Monitoreo Atmosférico. La Gráfica 3.2.11 muestra la concentración promedio mensual de partículas suspendidas totales (PST), partículas menores a 10 micrómetros (PM<sub>10</sub>) y partículas menores a 2.5 micrómetros (PM<sub>2.5</sub>).

Las partículas menores a 2.5 micrómetros tienen una distribución temporal distinta a la de las otras dos fracciones. Las partículas más pequeñas son removidas por la lluvia con una menor eficiencia que las partículas mayores, esto se observa como una menor reducción con respecto a los meses de la temporada seca. La naturaleza secundaria de las partículas finas es responsable de su incremento durante los meses de abril y mayo.

**Gráfica 3.2.11. Distribución temporal de las diferentes fracciones de partículas suspendidas medidas por el SIMAT durante 2008**

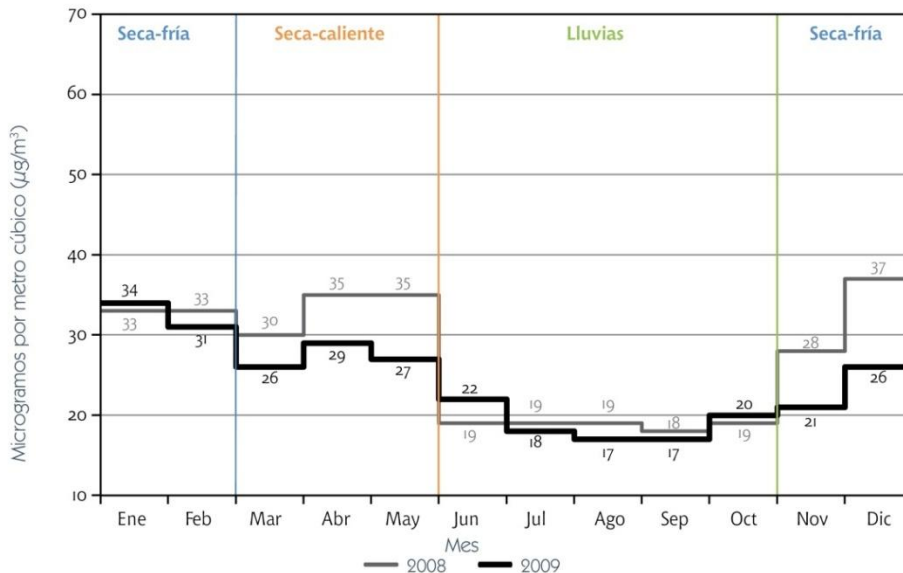


Nota: La altura de la barra representa la concentración promedio mensual de cada una de las fracciones.

**Partículas PM<sub>2.5</sub>**

Los mayores niveles de partículas menores a 2.5 micrómetros se observa en los meses de las temporadas seca-caliente y seca-fría, en marzo-abril y noviembre-diciembre, lo cual es provocado por un incremento en la intensidad fotoquímica en la atmósfera y por las condiciones meteorológicas que son favorables para la estabilidad atmosférica (Gráfica 3.2.12). Durante la temporada de lluvias la reducción en la concentración de los precursores y la disminución en la intensidad de la radiación solar reducen la concentración de esta fracción de las partículas.

**Gráfica 3.2.12. Concentración promedio mensual de PM<sub>2.5</sub> en los años 2008 y 2009**



### **3.3 Exposición de la población a la contaminación del aire en la ZMVM**

La exposición se define como el contacto de una persona o grupo de personas con un contaminante en un lugar y un tiempo específico (Monn, 2000). Cada contaminante tiene un potencial distinto para producir efectos en la salud humana, los cuales dependen de las propiedades fisicoquímicas, de la dosis asimilada y de la intensidad de la exposición. La realización de una evaluación adecuada de la exposición total de una población, requiere conocer el tipo y número de individuos que se encuentran expuestos, el lugar en donde se presenta la exposición, cómo se produce, la duración y el tipo de contaminantes.

Este proceso de evaluación de la exposición requiere del uso de elaboradas herramientas de análisis geoestadístico, del conocimiento del lugar donde se realiza la exposición, del tipo de contaminante, de los patrones específicos de emisión (en el caso de los contaminantes primarios), de la aplicación de modelos de dispersión y de receptores, de los registros de los patrones de las actividades diarias y del análisis e integración de los datos derivados del monitoreo en sitios fijos, complementados con datos del monitoreo en interiores y a nivel personal (Jensen, 1999).

La evaluación de la exposición es un proceso complejo y con un elevado costo, por esta razón es frecuente que se empleen como indicadores de la exposición los datos de la concentración de los contaminantes criterio, obtenidos por las redes de monitoreo en sus estaciones fijas. La información de las estaciones generalmente se emplea como sustituto de la concentración a la que se exponen los individuos. Sin omitir las limitaciones que ofrecen los datos provenientes del monitoreo en las estaciones fijas como indicadores de exposición, es posible realizar una evaluación del nivel de riesgo que enfrenta la población de la ZMVM al exponerse a los contaminantes que aún exceden los límites de las NOM: ozono y partículas menores a 10 micrómetros.

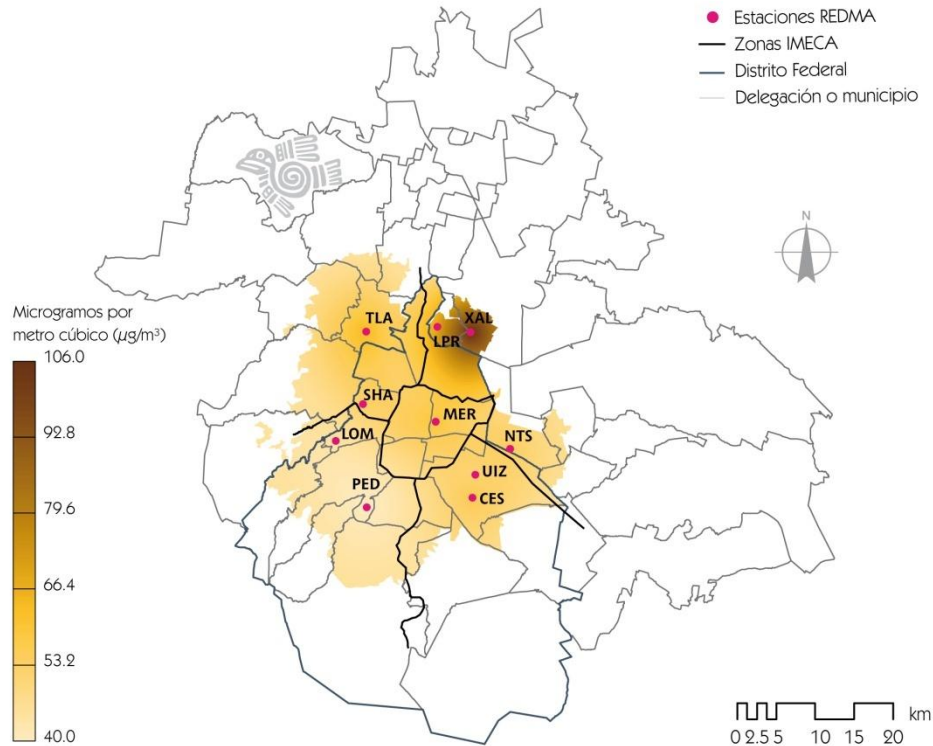
Los resultados que se presentan a continuación no cuantifican la relación dosis-respuesta de la población, ni estiman cuantitativamente el impacto en la morbilidad, sino que ofrecen información sobre el nivel de riesgo que enfrentan los habitantes de la metrópolis en función de la distribución espacial de los contaminantes e identifican a partir de la distribución de edad de la población, la cantidad de niñas, niños y adultos mayores expuestos (por ser los grupos que presentan mayor vulnerabilidad a la contaminación).

#### **Exposición a partículas suspendidas menores a 10 micrómetros**

En el Mapa 3.3.1, se muestra la distribución espacial de  $PM_{10}$  en la región con cobertura del SIMAT, siendo la región noreste de la ZMVM, la más afectada.

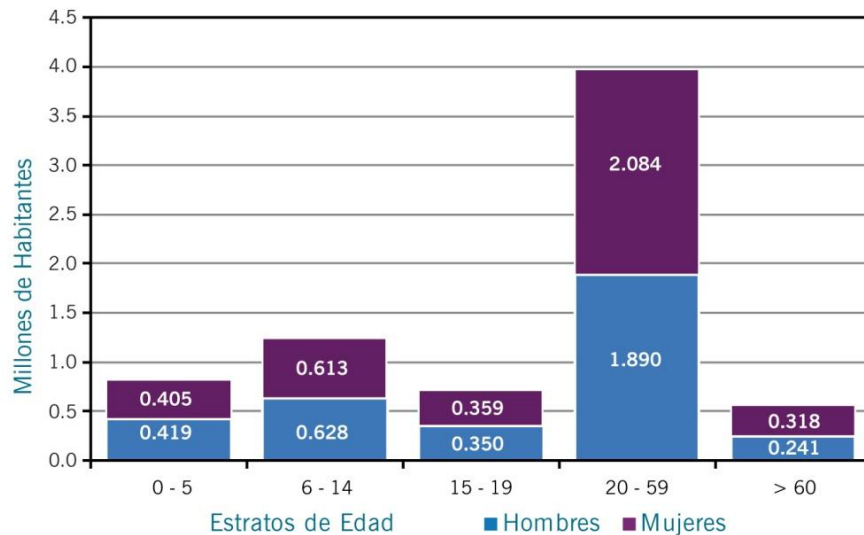
Los resultados indican que el 36% de la población (2.6 millones) que radica en zonas con más riesgo de exposición a partículas  $PM_{10}$ , está compuesta por individuos que se encuentran dentro de los grupos vulnerables (niños y adultos mayores). La Gráfica 3.3.1, muestra que este porcentaje está compuesto por 0.8 millones de niños menores a 5 años, 1.2 millones de niños entre 6 y 14 años, y alrededor de 0.6 millones de adultos mayores a 60 años.

**Mapa 3.3.1. Distribución espacial de la concentración promedio anual de PM<sub>10</sub> durante el año 2009**



Lo anterior es importante por dos razones: la evidencia existente sobre el daño que provoca la exposición de largo plazo en la salud humana y la asociación que tienen las partículas con la mortalidad.

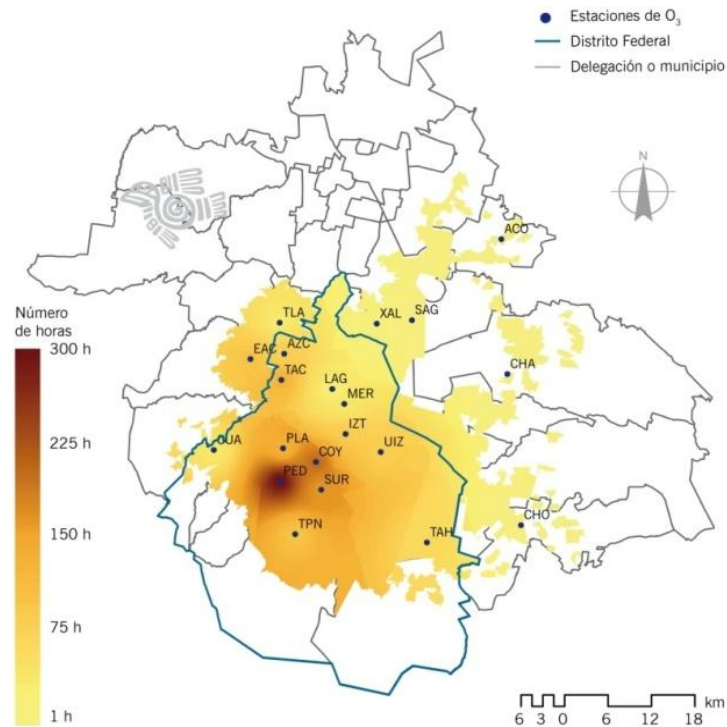
**Gráfica 3.3.1. Detalle de la población expuesta durante 2008 a una concentración mayor a  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de PM<sub>10</sub> por grupos de edad y género**



## Exposición al ozono

De los 15.7 millones de habitantes que se encuentran dentro de la región de cobertura de la red de monitoreo, alrededor del 61% tiene su domicilio en zonas donde la concentración de ozono excede la NOM más de 100 horas al año (Ver Mapa 3.3.2). Es decir, alrededor de 9.6 millones de habitantes se encuentran en regiones con riesgo de exposición.

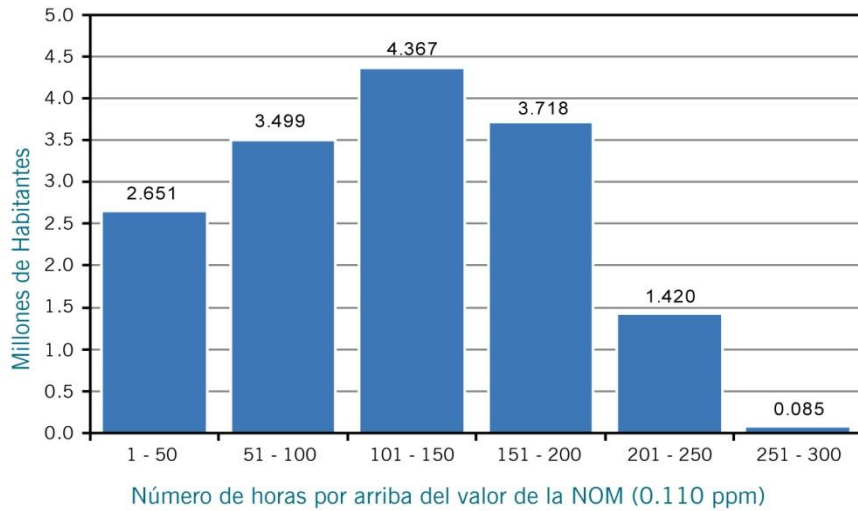
**Mapa 3.3.2. Distribución espacial del número de horas en las que se excedió el valor límite de la norma horaria de ozono en la ZMVM en 2009**



En la Gráfica 3.3.2, se indica el número de personas que radican en zonas en donde se excede la norma y se describe el número de personas en riesgo de exposición para diferentes intervalos de horas; prácticamente todos los habitantes de la ZMVM tienen el riesgo de exponerse a concentraciones por encima de la norma.

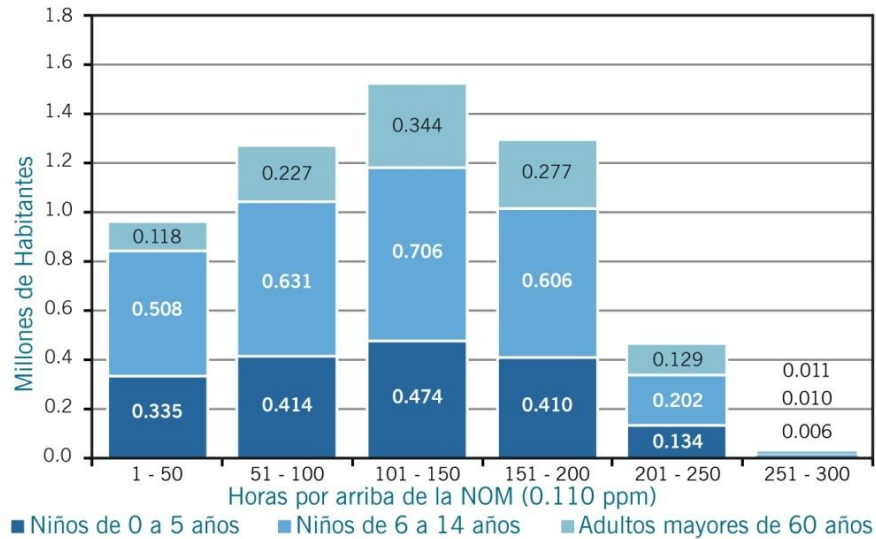
Los niños y los adultos mayores representan los grupos más sensibles a los daños por contaminación de ozono, por lo que es de particular importancia su identificación. Con base en la información del INEGI y las proyecciones que hizo CONAPO para 2008, se estima que alrededor de 1.8 millones de niños menores a 5 años y 1.1 millones de personas mayores a 60 años se localizan en zonas donde se excede la norma más de una vez al año. Alrededor de 1.4 millones de niños menores a 5 años y de 1 millón de adultos mayores a 60 años se encuentran en zonas donde la norma se excede en más de 100 horas al año y están en riesgo de exponerse a una concentración promedio de 0.125 ppm y concentraciones máximas entre 0.110 y 0.200 ppm de ozono.

**Gráfica 3.3.2. Número de personas que radican en zonas en las que se excede la norma de ozono, 2008**



En la Gráfica 3.3.3, se indica el número de niños y adultos mayores en riesgo de exposición para diferentes intervalos de horas por encima de la norma.

**Gráfica 3.3.3. Detalle de la población expuesta durante 2008 a una concentración mayor a 0.110 ppm de O<sub>3</sub>**



Es importante mencionar que al igual que en el caso de partículas menores a 10 micrómetros, una gran parte de la población en edad productiva realiza actividades en lugares diferentes al lugar de su domicilio y son los niños y adultos mayores los que permanecen más tiempo en su lugar de residencia.

### **3.4 Comportamiento de los contaminantes por día de la semana en la ZMVM**

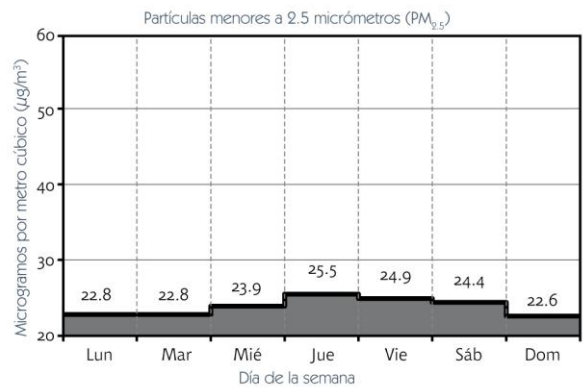
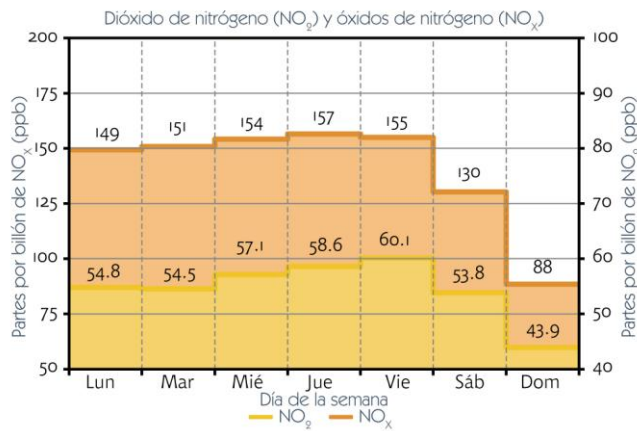
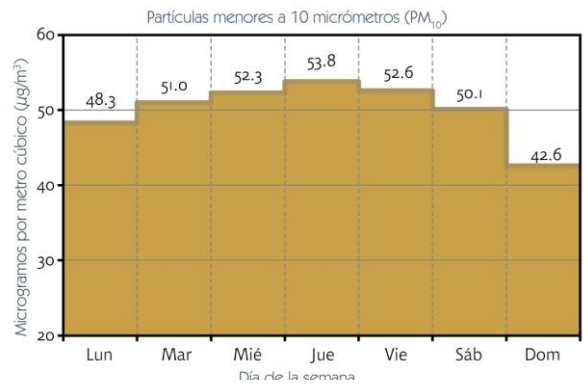
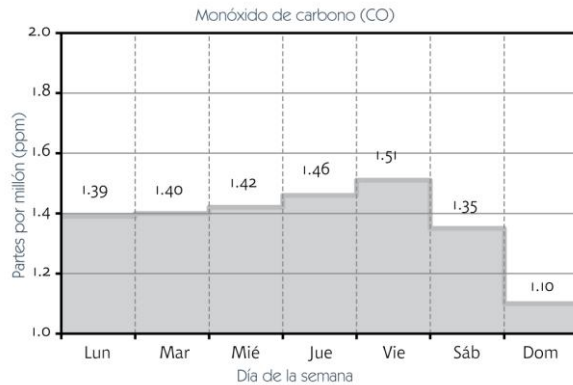
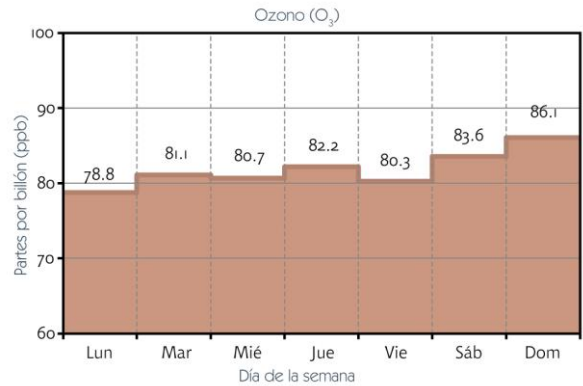
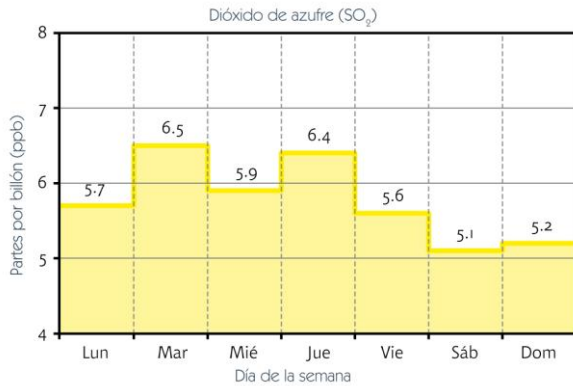
La información recabada por el SIMAT permite identificar una clara relación entre el día de la semana, los patrones de emisión y la concentración de los contaminantes. En el pasado reciente era común que los niveles de contaminación registraran concentraciones menores los sábados y domingos, en comparación con las concentraciones reportadas de lunes a viernes, presumiblemente debido a una disminución de las actividades de la industria y del uso de vehículos. Sin embargo, se ha observado un cambio gradual en los patrones de actividades en la ZMVM y, por lo tanto, en las emisiones.

Del comportamiento de los contaminantes primarios a lo largo de la semana se puede observar que el día domingo éstos reducen sus concentraciones en alrededor del 25% con respecto al resto de los días, lo cual refuerza la evidencia sobre la contribución de los vehículos automotores en las emisiones contaminantes (Gráficas 3.4.1). Ahora bien, en lo que se refiere a la acumulación de éstas, las observaciones denotan, en general, un incremento gradual en las concentraciones de monóxido de carbono, de óxidos de nitrógeno y de partículas menores a 10  $\mu\text{m}$  a medida que avanza la semana, de lunes a viernes.

En lo que se refiere a los contaminantes secundarios, a saber ozono y partículas menores a 2.5 micrómetros, éstos exhiben un comportamiento diferente al observado en los contaminantes primarios. Contrariamente a lo que se esperaría ante una reducción de emisiones precursoras, las concentraciones de dichos contaminantes son similares o mayores durante el fin de semana que las reportadas de lunes a viernes. De hecho, en el caso del ozono, la concentración promedio del domingo es la más alta de la semana.

Lo anterior es congruente con el análisis de los datos de calidad del aire para la ZMVM entre 1986 y 2007 realizado por Stephens et al. (2008), donde reportan que generalmente el monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno y las partículas menores a 10 micrómetros se reducen en un porcentaje importante durante los fines de semana. Un hallazgo importante de este estudio fue el observar que para el ozono, los días del fin de semana se registraban concentraciones iguales o mayores que los reportados el resto de los días. Este fenómeno se ha estudiado ampliamente en otras ciudades del mundo y recibe el nombre de "efecto de fin de semana" (traducido del término *weekend effect*).

**Gráficas 3.4.1. Comportamiento de las concentraciones promedio por contaminante, distribuidas por día de la semana, en 2009**





### **3.5 Depósito atmosférico**

El depósito atmosférico es el proceso mediante el cual las partículas y los gases presentes en el aire se depositan sobre la superficie de la tierra. Estos gases y partículas pueden provenir de fuentes naturales como los incendios forestales, las emisiones volcánicas y la sal marina, o pueden provenir de las actividades urbanas, de la agricultura, de las emisiones de las plantas de generación de energía, de los vehículos automotores y otras actividades humanas. Cuando el depósito húmedo es ácido se conoce como precipitación ácida o más comúnmente como lluvia ácida (National Atmospheric Deposition Program, 1999). La lluvia ácida se mide en la ZMVM desde los años ochenta.

En condiciones naturales el agua de lluvia es ligeramente ácida y tiene un pH de 5.6. Esta acidez se debe a las pequeñas cantidades de dióxido de carbono que se encuentran en la atmósfera y que reaccionan con el agua para formar ácido carbónico. Cuando la lluvia tiene una acidez mayor que la normal (es decir un pH menor a 5.6) se considera como lluvia ácida.

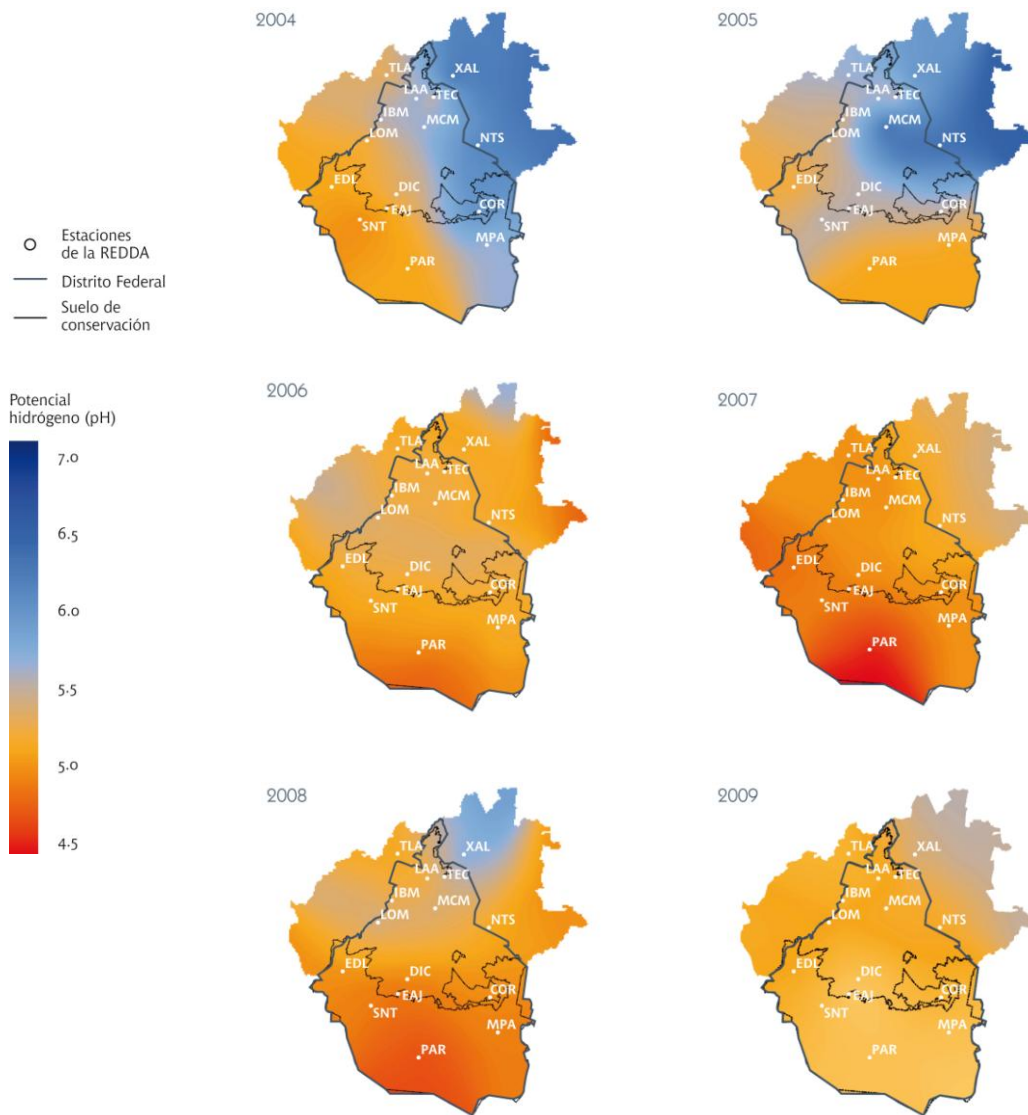
La lluvia ácida es diferente a otros tipos de contaminación del aire, no es emitida directamente por las chimeneas y los escapes, se forma de la combinación de los contaminantes gaseosos y el vapor de agua. El incremento en la acidez del agua de lluvia es consecuencia de las reacciones químicas en la atmósfera entre los óxidos de azufre ( $SO_x$ ), los óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ) y el agua. El nivel de acidez estará determinado principalmente por las cantidades emitidas de óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, ácidos orgánicos y el balance con el amonio y cationes básicos.

La lluvia ácida no produce un daño evidente en la atmósfera pero sí en los lagos, ríos, arroyos, cultivos y ecosistemas. Su impacto es capaz de reducir la biodiversidad en los ecosistemas acuáticos y tiene el potencial de alterar la composición de las especies en los ecosistemas terrestres, además de provocar que las aguas superficiales se vuelvan más ácidas.

La precipitación ácida también perjudica los cultivos agrícolas al dañar las hojas y el suelo. En naciones desarrolladas el daño de la lluvia ácida en la agricultura se nulifica mediante el uso de fertilizantes que reemplazan los nutrientes disueltos y la aplicación de cal que es capaz de neutralizar los ácidos. Sin embargo, en países donde los agricultores no pueden utilizar estos remedios, la precipitación ácida y el incremento de la acidez del suelo tienen un efecto amplificado en sus cultivos.

En los Mapas 3.5.1, los tonos anaranjados indican la presencia de lluvia ácida, los tonos rojos indican las zonas en donde se registraron los valores más bajos de pH. En cada uno de estos mapas se indica el área correspondiente al suelo de conservación y la ubicación de las estaciones de monitoreo. Esta secuencia de imágenes muestra los cambios de la distribución espacial en la acidez del depósito húmedo, de 2004 a 2009.

**Mapas 3.5.1. Distribución espacial de la concentración ponderada anual de acidez del agua de lluvia en la región de la REDDA, durante los últimos seis años**



Fuente: SIMAT.

**3.6 Efectos de la contaminación atmosférica sobre la vegetación y cultivos en la ZMVM**

Las plantas también sufren daños generados por la contaminación atmosférica. Algunas veces no presentan síntomas visibles y otras muestran de manera clara la evidencia de que están siendo dañadas, ya sea a través de síntomas característicos o por aquéllos que pueden confundirse con los producidos por patógenos bióticos como virus, insectos o ácaros, así como por deficiencias o excesos de elementos nutritivos (De la Isla de Bauer, Ma. de L., 2009).

Los estudios realizados en los últimos años sobre los efectos de los contaminantes atmosféricos en la vegetación de la ZMVM presentan resultados inequívocos. En la Universidad Autónoma de Chapingo, se han detectado en los últimos años efectos negativos de los gases oxidantes en algunos cultivos en parcelas experimentales y especies ornamentales en jardines, como soya, frijol, dalia, *Pinus montezumae*, jamaica (*Hibiscus sp.*) y en ciertas plantas indicadoras.

En la zona del Desierto de los Leones se han detectado daños por ozono en árboles de cereza negra (Skelly et al, 1997) y en un trasplante controlado, en la misma zona, de *Usnea ceratina* Ach. y *Everniastrum neocirrhatum* llevadas desde un sitio ubicado a 100 km. de la ZMVM, se detectaron reducciones del 30% en la fotosíntesis neta máxima y del 18% en la degradación de clorofila b (Zambrano, 2000). La cadena de efectos derivados a partir del daño producido por los contaminantes atmosféricos en la vegetación, así como sus relaciones con otros fenómenos como el depósito atmosférico, siguen siendo motivo de investigaciones en curso. En general, los principales fitotóxicos detectados son el SO<sub>2</sub>, flúor, fluoruros y O<sub>3</sub>.

### **3.7 Estudios y análisis recientes sobre calidad del aire de la ZMVM**

A continuación se presentan los principales resultados de estudios e investigaciones que resultan de relevancia para sustentar el enfoque de varias de las medidas que se presentarán más adelante.

#### **Campañas MCMA-2003 y MILAGRO-2006**

La información de este apartado se tomó del resumen ejecutivo del estudio "Análisis y síntesis de los resultados de las Campañas MCMA-2003 y MILAGRO-2006 para su uso en la formulación de estrategias en materia de cambio climático y contaminación local en la ZMVM", preparado para el INE por MCE2, 2009.

El informe de los estudios realizados en los años 2003 y 2006 indica que cada vez más se tiene mayor evidencia de que las actividades humanas están modificando tanto la calidad del aire como el clima, pasando por la escala urbana y regional hasta la escala continental y mundial, de tal forma que se identifican al rápido crecimiento demográfico y a la mayor demanda energética, como las principales fuerzas que impulsan los cambios ambientales sin precedentes que se presentan.

La mayor parte del crecimiento ocurre en las regiones urbanas y en sus áreas conurbadas, lo que ha conducido a la formación de las megaciudades, que son áreas urbanas con más de 10 millones de habitantes.

El informe menciona que los asentamientos densamente poblados pero bien planificados y administrados pueden reducir la necesidad de realizar cambios en el uso del suelo, a la vez que proporcionan infraestructura y servicios. Sin embargo, muchas áreas urbanas sufren de una expansión acelerada y sus actividades son la causa principal de los problemas ambientales. Estos megacentros de población humana llevan a incrementar la demanda de energía, la actividad industrial y los requerimientos de transporte, lo cual aumenta la emisión de contaminantes a la atmósfera.

La redistribución geográfica de contaminantes, la evolución de sus propiedades químicas, físicas y ópticas, y los mecanismos para su eventual remoción de la atmósfera

son muy complejos y obviamente muy importantes, aún cuando en la actualidad se tiene un conocimiento limitado de los mismos.

MILAGRO (Megacity Initiative: Local And Global Research Observations) es el primer proyecto de colaboración internacional enfocado en caracterizar la exportación de contaminantes atmosféricos generados en megaciudades. La ZMVM fue seleccionada como caso de estudio para caracterizar las fuentes, concentraciones, transporte, y procesos de transformación de los contaminantes emitidos a la atmósfera y para evaluar los impactos regionales y globales de estas emisiones.

Las investigaciones anteriores sobre la contaminación del aire en la ZMVM generaron el marco ideal para la planeación de MILAGRO, en particular la Campaña MCMA-2003, coordinada por el Programa Integral sobre Contaminación del Aire Urbano, Regional y Global en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (Massachusetts Institute of Technology, MIT), y auspiciada por la Comisión Ambiental Metropolitana del Valle de México (CAM) y la Fundación Nacional de la Ciencia (National Science Foundation, NSF) de los Estados Unidos, para actualizar y mejorar el inventario de emisiones, así como el conocimiento de los procesos químicos, de dispersión y transporte de los contaminantes emitidos hacia la atmósfera de la ZMVM. La Campaña MCMA-2003 se llevó a cabo en abril del 2003, que es la temporada del año cuando los procesos fotoquímicos son más intensos. En esta campaña se instrumentó un supersitio de medición y se utilizó también un laboratorio móvil para realizar mediciones en varios puntos de la ZMVM.

El objetivo del estudio fue identificar y proponer elementos técnicos y científicos que contribuyeran al diseño de estrategias y programas para reducir los impactos locales de la contaminación atmosférica en la ZMVM y su contribución en las emisiones globales a partir de la revisión exhaustiva y la sistematización de la información generada durante las campañas de mediciones MCMA-2003 y MILAGRO-2006. Los objetivos particulares fueron:

- Evaluar los resultados de las investigaciones científicas de las Campañas MCMA-2003/MILAGRO y sus impactos locales, regionales y globales.
- Evaluar la influencia de las fuentes de emisión ubicadas en la zona industrial de Tula en la calidad del aire de la ZMVM.
- Analizar la sensibilidad de los impactos del aumento de temperatura en la producción de contaminantes secundarios en la ZMVM.

Las Campañas MCMA-2002/2003 realizadas en febrero de 2002 y abril del 2003 proporcionaron mediciones detalladas de muchos oxidantes precursores de ozono y de productos fotoquímicos intermedios incluyendo radicales, así como de datos meteorológicos y de emisiones (Molina et al., 2007). La realización del proyecto MILAGRO tuvo lugar en marzo del 2006 e involucró a más de 450 científicos de 150 instituciones de 30 países, la cual se dividió en cuatro componentes que fueron llevados a cabo simultáneamente:

1) La Campaña MCMA-2006 (Mexico City Metropolitan Area – 2006) investigó las emisiones y concentraciones de contaminantes de la superficie dentro de la ZMVM, así como su transporte y transformación, y sus efectos en la salud humana.

2) La Campaña MAX-Mex (Megacity Aerosol Experiment: Ciudad de México) se enfocó a la formación y los cambios en la composición de los aerosoles de la megaciudad de

México durante su transporte, y en cómo la naturaleza química y física de éstos afecta los coeficientes radiativos de dispersión y de absorción.

3) La Campaña MIRAGE-Mex (Megacity Impacts on Regional and Global Environments - Mexico) investigó las transformaciones químicas y físicas de los gases y partículas en la pluma de contaminantes producida por la ZMVM, como caso de estudio para analizar los impactos de las megaciudades en el clima y en la composición atmosférica regional y global.

4) La Campaña INTEX-B (Intercontinental Chemical Transport Experiment-Phase B) fue una campaña completamente integrada y diseñada para estudiar el transporte y transformación de gases y aerosoles en escalas transcontinentales e intercontinentales, así como para analizar su impacto en la calidad del aire y el clima.

La fase de mediciones de la Campaña MILAGRO consistió en utilizar una amplia gama de instrumentos en superficie, aeronaves y satélites, los cuales pueden usarse en su totalidad para rastrear la evolución de la pluma urbana cuando ésta se mezcla con la atmósfera regional de fondo.

Los principales hallazgos de estas campañas han sido publicados en dos ediciones especiales de MCMA-2003 y de MILAGRO/INTEX-B en la revista científica Química y Física Atmosférica (Atmospheric Chemistry and Physics, ACP), así como en otras revistas arbitradas sobre ciencias atmosféricas y ambientales. Una lista de publicaciones como resultado de las Campañas MCMA-2003 y MILAGRO-2006 se proporciona en el Apéndice C del informe del estudio<sup>1</sup>.

A continuación se presentan los principales hallazgos de las Campañas MCMA-2003 y MILAGRO 2006:

#### *a) Meteorología y dinámica*

- Las observaciones y los estudios de modelación muestran que en la mayoría de las condiciones, la exportación de los contaminantes desde la cuenca de la ZMVM es relativamente rápida y la acumulación de los contaminantes de días anteriores no es un factor relevante en la fotoquímica del Valle.
- Las condiciones sinópticas generales y las circulaciones del viento de la capa límite fueron similares a aquellas reportadas por estudios anteriores de la ZMVM y consistentes con estudios previos de climatología, lo que sugiere que los resultados obtenidos en MILAGRO son aplicables a las condiciones generales de la ZMVM.
- Las mediciones meteorológicas en superficie y a cierta altitud junto con mediciones de gases traza y aerosoles, indican que el transporte a escala sinóptica de la pluma de contaminantes de la ZMVM fue predominantemente hacia el noreste, aunque circulaciones en escala regional transportaron contaminantes hacia los valles y cuencas de los alrededores en algunos días.
- A escala de la cuenca, por la mañana los vientos del norte transportaron la pluma hacia el sur. En algunos días, la pluma fue transportada sobre el borde de la cuenca o a través del paso de las montañas en el sureste. Un flujo por la tarde

---

<sup>1</sup> La lista completa de los artículos elaborados por los investigadores de las campañas se encuentra disponible de manera electrónica en el sitio del Molina Center: <http://mce2.org/publications.html>.

desde el sur invirtió la dirección del flujo en el paso de las montañas del sureste y contribuyó a la ventilación de la pluma de la ZMVM hacia el noreste.

- Mediciones de equipos Lidar en superficie y sobre plataformas aéreas, así como mediciones meteorológicas, mostraron la presencia de múltiples capas de partículas, resultado de procesos de mezclado complejos sobre la región centro del país.
- Las emisiones de contaminantes durante la noche tienen impactos fuertes en el transporte y la acumulación de contaminación en la cuenca, causando altas concentraciones de contaminantes.
- Se encontró que plumas generadas por quema de biomasa se transportan a la ZMVM desde cuencas de los alrededores y regiones periféricas.
- El volcán Popocatepetl tiene impactos muy limitados en la calidad del aire de la ZMVM debido a la elevación de sus emisiones y a la estratificación vertical de los flujos de vientos. Sin embargo, estos impactos pueden ser mayores a escala regional.
- Las trayectorias de globos meteorológicos controlados encontraron la presencia de capas múltiples de la pluma urbana, persistente hasta el Golfo de México, con transporte muy rápido a grandes altitudes.
- Los modelos meteorológicos a mesoescala capturaron las características principales del transporte por el viento de la cuenca y fueron lo suficientemente exactos como para ayudar en el análisis e interpretación de datos.
- La combinación de los análisis de perfiles de viento con radares y los estudios de modelación ayudaron a identificar las posibles fuentes de área de metales pesados; sin embargo, podrían realizarse análisis adicionales para identificar a éstos de manera más precisa.

#### *b) Emisiones de gases y partículas de la ZMVM*

- El estudio MILAGRO demostró la sinergia de utilizar múltiples técnicas de análisis y plataformas e instrumentos para evaluar los inventarios de emisiones y reducir las incertidumbres asociadas. El proceso combinado ayuda a reducir las incertidumbres asociadas en las estimaciones de emisiones y provee una guía para determinar prioridades para el mejoramiento y refinamiento de los inventarios de emisiones.
- Los estudios de emisiones confirmaron que los vehículos con motor de combustión interna juegan un papel muy importante en el aporte de NO<sub>x</sub> y de COV, precursores en la fotoquímica extremadamente activa de la ZMVM. Estos vehículos de la ZMVM producen cantidades abundantes de partículas primarias, carbono elemental, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) adheridos a partículas, monóxido de carbono y una gran variedad de contaminantes atmosféricos tóxicos, tales como formaldehído, acetaldehído, benceno, tolueno y xilenos.
- Varios estudios demostraron que las emisiones de los vehículos a gasolina en la ZMVM han disminuido en los años recientes, el CO en particular, pero todavía los vehículos son los principales contribuyentes de emisiones de la ZMVM.
- La contribución relativa de los vehículos a diesel en los niveles generales de NO<sub>x</sub> es mayor, parcialmente, debido al incremento del consumo de diesel y a la introducción de tecnologías efectivas para el control de las emisiones en los

vehículos a gasolina, la cual ha ido mejorando más rápidamente que las tecnologías de control de emisiones en los vehículos a diesel.

- Algunas diferencias identificadas entre las observaciones durante MILAGRO y las estimaciones de emisiones móviles del inventario incluyeron: una leve sobre estimación de CO y NO, (<30% y <20%) y una probable subestimación de entre 1.4 a 1.9 en los COV en el inventario de emisiones. Existe evidencia observacional y de modelación de que las estimaciones actuales de emisiones de partículas se encuentran severamente subestimadas.
- Las mediciones directas en la torre de flujo del sitio SIMAT, ubicado en el centro de la ciudad sugieren que los estimados de emisiones de CO<sub>2</sub> en el inventario, olefinas, COV aromáticos y algunos compuestos oxigenados, son correctas para las emisiones de fuentes de combustión, pero sobreestiman las emisiones evaporativas de fuentes de área en la escala de varios kilómetros que comprenden las mediciones. En contraste, las mediciones realizadas por aeronaves indican una subestimación de emisiones de tolueno y benceno en el inventario de emisiones para el sector industrial en el noreste de la ZMVM.
- Las mediciones de flujo realizadas en la superficie y desde el aire demostraron que las técnicas de covarianza turbulenta en combinación con sensores de respuesta rápida pueden ser utilizados para evaluar directamente los inventarios de emisiones que de otra manera no sería posible con otro método de evaluación indirecto, haciendo de éstas técnicas, herramientas importantes para mejorar los procesos de manejo de la calidad del aire.
- Debido a las incertidumbres en las estimaciones actuales de las emisiones de PM en los inventarios de emisiones, es importante caracterizar de una mejor forma las contribuciones de partículas de las fuentes de emisiones móviles (diesel y gasolina) en la ZMVM.
- Las fuentes de emisión tales como el comercio informal y la preparación de alimentos en la calle necesitan caracterizarse. Los resultados muestran que existe el potencial de impactos severos locales en la calidad del aire por la preparación de alimentos y la quema de basura, ya que éstos pueden ser una fuente importante de gases reactivos y partículas finas.
- Las emisiones provenientes de múltiples fuentes urbanas e industriales pueden tener una influencia importante en los niveles de mercurio (Hg) en la atmósfera de la ZMVM. Sin embargo, otras especies no tratadas en esta revisión (e.g., NH<sub>3</sub>, polvo, metales) justifica la realización de estudios adicionales en la ZMVM.

### *c) Compuestos orgánicos volátiles: fuentes y concentraciones*

- Los estudios han proporcionado una mejor comprensión de las fuentes y las cargas atmosféricas de COV, incluyendo la primera detección espectroscópica de glioxal en la atmósfera y un análisis de la fracción alta de formaldehído en aire ambiente proveniente de fuentes de emisión primarias.
- La evaporación de combustible y las emisiones industriales son fuentes importantes de COV aromáticos en la cuenca.
- El uso de GLP continúa siendo una fuente importante de alcanos de bajo peso molecular.
- Las emisiones de varios hidrocarburos son mayores en la ZMVM que en las principales ciudades de los Estados Unidos de Norteamérica, debido al amplio

uso de GLP y a las altas emisiones industriales y evaporativas de compuestos aromáticos en la ZMVM.

- La reactividad total de los radicales hidroxilo (OH) formados a partir de COV en la ZMVM continúa siendo muy parecida a los resultados del estudio realizado en 2003; sin embargo, la distribución por especies es un poco diferente: el estudio más reciente encontró que el formaldehído y el acetaldehído son las dos especies más importantes de COV medidas en cuanto a la reactividad del radical OH.
- Los aldehídos son los componentes más importantes de la reactividad en las masas de aire expedidas por la ZMVM. Estos compuestos son producidos por la oxidación de los COV en la atmósfera, y algunos también son emitidos directamente. A pesar de su importancia, estos compuestos no se miden aún rutinariamente.
- Las variaciones diurnas de las concentraciones sugieren que la formación fotoquímica de COV secundarios es muy importante en la ZMVM.
- Los incendios forestales son una fuente modesta de COV en cuanto a mediciones a nivel de superficie.
- La fotoquímica rápida transforma la distribución de la reactividad COV/OH, de ser dominada en la ZMVM en un principio por los hidrocarburos no-metano durante la mañana, a ser dominada por COV oxigenados a cierta altura y viento abajo.
- Existen fuentes muy grandes de metanol en la cuenca de la ZMVM que no son de origen biogénico.

#### *d) Fotoquímica urbana y regional*

- Las concentraciones medidas de radicales OH y HO<sub>2</sub> en la ZMVM fueron más altas que las simuladas durante la mañana cuando los NO<sub>x</sub> son altos, lo que sugiere que posiblemente existen fuentes significativas de radicales que no se han tomado en cuenta en los modelos actuales de química de la atmósfera.
- La fotólisis del ácido nitroso (HONO) y del formaldehído (HCHO) así como la ozonólisis de alquenos son fuentes importantes de radicales en la ZMVM, mientras que la fotólisis de ozono contribuye en menor medida a la producción total de radicales. Al incluir las fuentes heterogéneas de HONO mejora substancialmente la comparación entre las concentraciones medidas y observadas de HONO y HO<sub>x</sub> y se incrementa la producción de O<sub>3</sub> y aerosoles orgánicos secundarios (SOA).
- La tasa neta instantánea de producción de ozono a partir de radicales HO<sub>2</sub> así como la tasa observada de producción de ozono por todos los mecanismos conocidos se encuentran dentro de las más altas observadas en otras regiones.
- Diversos modelos químicos de transporte y análisis de mediciones indican que la producción de ozono en la ZMVM es generalmente limitada por COV.
- A escala regional, los incrementos significativos de O<sub>3</sub> sobre niveles de fondo fueron observados en plumas que pudieron ser originadas en la ZMVM, con indicaciones de que la producción de O<sub>3</sub> ocurrió durante el tiempo de transporte de la pluma.



- La producción regional de O<sub>3</sub> parece ser sensible a NO<sub>x</sub> así como a COV y CO, con la reactividad regional de radicales OH dominada por compuestos orgánicos oxigenados y CO.
- Se encontró que la exportación a escala regional de nitrógeno reactivo de la ZMVM se lleva a cabo principalmente a través de la formación de nitratos de peroxiacetilo (PANs), los cuales pueden descomponerse térmicamente, llevando a la regeneración de NO<sub>x</sub> y contribuyendo a la formación regional de O<sub>3</sub>.
- La quema de biomasa tiene una influencia significativa en la química regional, contribuyendo con más de la mitad del aerosol orgánico y alrededor de un tercio del benceno, nitrógeno reactivo y monóxido de carbono, de las emisiones de la región.
- En Tenango del Aire, los indicadores del impacto de ozono en la salud humana y en ecosistemas, se excedieron de manera significativa durante la campaña MILAGRO. Las excedencias a la Norma Oficial Mexicana, NOM-020-SSA1-1993, en sus valores de una hora y de ocho horas, así como el índice acumulativo AOT40, indican el alcance regional de la contaminación atmosférica de la ZMVM hacia la región centro del país y la producción de ozono fuera de las áreas de emisión de contaminantes primarios.
- El paso de montaña hacia Tenango del Aire juega un importante papel en la calidad del aire en la ZMVM y la región. La sensibilidad de las parcelas de aire en Tenango con base en el indicador fotoquímico O<sub>3</sub>/NO<sub>x</sub> fue en general hacia los NO<sub>x</sub> indicando el paso de parcelas envejecidas típicas de ambientes rurales en las que el procesamiento de los NO<sub>x</sub> fue prácticamente completo.
- Las áreas agrícolas en la región Chalco-Ameca Ameca-Cuautla actúan como fuente de partículas PM<sub>10</sub>, cuya intensidad e impacto en la ZMVM, también depende de las interacciones sinópticas y de mesoescala.

#### e) *Partículas en el aire ambiente*

- Durante el estudio, las concentraciones de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> en el área urbana fueron alrededor del doble de las concentraciones encontradas en áreas rurales circundantes a la ZMVM.
- Las partículas PM<sub>2.5</sub> constituyeron cerca de la mitad de las concentraciones de PM<sub>10</sub>, con pequeñas cantidades de masa en el rango PM<sub>2.5</sub> - PM<sub>1.0</sub>.
- La materia mineral contribuyó aproximadamente con el 25% de las PM<sub>10</sub> y 15% y 28% en promedio a las partículas PM<sub>2.5</sub> en áreas urbanas y rurales, respectivamente. Aproximadamente 25% de las partículas PM<sub>2.5</sub> son iones orgánicos secundarios, con el remanente de la masa de PM<sub>2.5</sub> formada principalmente de aerosoles carbonáceos.
- Durante este estudio, excepto por mediciones a nivel de superficie en sitios de muestreo en el centro de la ZMVM, la eficiencia de absorción de la masa de carbón elemental fue relativamente constante en mediciones realizadas en plataformas aéreas y a nivel de superficie.
- Aunque existen diferencias entre los diferentes métodos de atribución de fuentes, los resultados fueron consistentes en las conclusiones sobre las fuentes dominantes de aerosoles carbonáceos, que fueron los aerosoles orgánicos secundarios (SOA), la quema de biomasa y las emisiones vehiculares (hollín).

- El efecto de la quema de biomasa sobre el flujo de aerosoles desde la región hacia afuera, fue mucho mayor que sobre las concentraciones superficiales dentro de la ZMVM.
- Durante la Campaña MCMA-2003 y de nuevo en 2006, se observó que durante las horas con radiación solar, los aerosoles orgánicos secundarios crecen mucho más rápidamente de lo que los modelos atmosféricos actuales o experimentos de simulación en el laboratorio pueden explicar con los precursores esperados.
- La formación de SOA a partir de precursores primarios semivolátiles y compuestos volátiles intermedios, tiene el potencial de explicar la diferencia entre las mediciones y predicciones de SOA. Sin embargo, estas predicciones se encuentran limitadas por los datos y mediciones, por lo que son necesarias mediciones más específicas en campañas futuras.
- Los SOA biogénicos transportados desde las regiones costeras contribuyen con alrededor de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a las concentraciones en la ZMVM.
- Los alquenos antropogénicos contribuyen poco a la masa de SOA, pero contribuyen indirectamente al reaccionar para producir radicales que también reaccionan con otros COV precursores de SOA.
- Es necesario realizar estudios adicionales para cuantificar las fuentes de carbono recientemente emitido en aerosoles orgánicos durante períodos de baja quema de biomasa.
- Se encontró que el aerosol orgánico primario (POA), proveniente de fuentes antropogénicas y de la quema de biomasa, era semivolátil, mientras que el aerosol orgánico secundario era menos volátil que el POA, y que el SOA envejecido era básicamente no-volátil, en discrepancia con los modelos actuales.
- Las tasas de formación de partículas formadas en la ZMVM fueron muy altas y se encontró que estaban formadas de compuestos orgánicos nitrogenados, ácidos orgánicos, y ácidos orgánicos hidroxilados, con sólo una fracción pequeña de sulfatos en los aerosoles.
- Se pueden hacer buenas predicciones de los núcleos de condensación de partículas (CCN) suponiendo un mezclado interno después de algunas cuantas horas de envejecimiento fotoquímico, lo cual ocurre en escalas más pequeñas que las de los modelos globales.

*f) Propiedades ópticas y mediciones remotas en superficie de aerosoles*

- En los sitios a nivel de superficie, los albedos de dispersión simple estuvieron frecuentemente en intervalos de 0.7-0.8 con algunos valores matutinos mucho menores. Esto es consistente con la presencia de concentraciones de aerosoles altamente absorbentes provenientes de la quema de combustibles fósiles y de biomasa.
- La contribución de los aerosoles provenientes de la quema de biomasa contienen tanto hollín como compuestos orgánicos oxidados, lo que aumentó la absorción de radiación UV. Esta observación indica que actividades de quema de biomasa pueden tener impactos importantes en la absorción o calentamiento por aerosoles carbonáceos en escalas urbanas (de megaciudades) así como regionales.

- Los compuestos orgánicos oxidados de incendios forestales y aquellos de formación secundaria tuvieron una absorción fuerte en la región del espectro de 300-400 nanómetros, lo que lleva a un aumento de la absorción óptica por estos aerosoles, por encima de lo anticipado por el carbono negro exclusivamente.
- Las mediciones del albedo de la superficie y de la reflectividad en la ZMVM mostraron que muchas de las superficies urbanas son más reflejantes que lo asumido en algoritmos de recuperación de satélites, y que el uso de una reflectividad visible de la superficie más grande en los algoritmos puede utilizarse para obtener una estimación exacta de la profundidad óptica de aerosoles (AOD).

#### *g) Estudios de salud*

- Estos estudios indican que las fuentes locales de contaminación atmosférica juegan un papel predominante en los efectos agudos observados en las poblaciones estudiadas y en los efectos tóxicos evaluados in vitro. Sin embargo, todavía existen huecos para entender la participación relativa que tienen las interacciones entre los contaminantes localmente emitidos y aquellos que son transportados de fuentes más lejanas, en los efectos crónicos sobre la salud de las poblaciones expuestas.

#### *h) Investigaciones futuras*

- La fracción de contribución de polvo a las partículas debido a la resuspensión en carretera no está clara, en contraste con las fuentes naturales. Existe la necesidad de caracterizar las fuentes regionales de polvo y las características del suelo para estas regiones, no sólo para el Valle de México, sino para toda la meseta central de México.
- Es importante el impacto de las reacciones químicas de las partículas con compuestos en fase gaseosa, por ejemplo, para el consumo de nitrato en forma de polvo grueso, pero se requiere seguir investigando éste aspecto para alcanzar un entendimiento cuantitativo, incluyendo la modelación en tres dimensiones.
- La identificación de las fuentes industriales de metales y aerosoles orgánicos y de las fuentes de cloruro urbanas sigue siendo poco clara.
- El análisis cuantitativo de alta resolución temporal para el análisis de polvo y de metales puede proporcionar información muy útil para la identificación del origen de las partículas.
- Se encontró que el inventario de emisiones 2006 de la ZMVM subestima las PM<sub>2.5</sub> primarias y se recomienda ser actualizado con la información proveniente de MILAGRO y otros estudios.
- Las PM<sub>2.5</sub> provenientes de incendios forestales parecen ser subestimadas por un orden de magnitud en el inventario oficial un inventario basado en satélites usando modelación en 3 dimensiones sobreestima las emisiones alrededor de dos veces al parecer por los incendios ocurridos fuera de la ZMVM.
- El impacto de algunas fuentes de aerosoles orgánicos primarios, tales como cocinar alimentos, el uso de biocombustibles y la quema de basura a cielo abierto puede ser importante, por lo cual se recomienda realizar estudios para su caracterización.

- Algunas diferencias en la distribución de las partículas de la quema de biomasa entre las diferentes aproximaciones fueron observadas y requieren de mayor investigación, ya que estas técnicas en conjunto representan técnicas avanzadas en el aporte de las fuentes.
- Las diferencias en la oxidación relativa de aerosoles orgánicos en las zonas urbanas frente a las muestras de fondo, obtenidas mediante técnicas diferentes, requieren de mayores investigaciones.

*i) Impactos de la región de Tula y del volcán Popocatepetl en la calidad del aire de la ZMVM*

La zona de Tula-Tepeji se localiza a una distancia de aproximadamente 60 kilómetros al norte de la ZMVM y se encuentra diametralmente opuesta al volcán Popocatepetl. Entre las grandes industrias que existen en la zona se incluyen la refinería Miguel Hidalgo, la Termoeléctrica Francisco Pérez Ríos y la industria cementera. Existen además otras industrias como la de alimentos y la textil. Existen en la zona también minas a cielo abierto y actividades agrícolas que pueden ser fuentes importantes de material particulado y de contaminantes gaseosos en la región. Las actividades industriales de la zona de Tula-Tepeji generan una carga importante de emisiones contaminantes a la cuenca atmosférica que pueden impactar la calidad del aire de la región. Los contaminantes emitidos tienen también el potencial de impactar tanto localmente como regionalmente a la población expuesta y a los ecosistemas circundantes.

Los análisis de los datos obtenidos durante las Campañas MCMA-2003 y MILAGRO/MCMA- 2006 han mostrado que las emisiones industriales en la región de Tula pueden llegar a impactar los niveles de calidad del aire de la ZMVM. En particular, los impactos pueden ser significativos en parte porque las emisiones de algunas de las fuentes emisoras más importantes de la región pueden llegar a ser mucho más elevadas que las que se encuentran dentro de la ZMVM. Sin embargo, la cuantificación precisa de la magnitud y de la extensión espacial de los impactos depende fuertemente de los patrones de transporte y condiciones meteorológicas (e.g., los campos de viento y su interacción con la topografía, deposición húmeda, mezclado vertical, etc.) antes, durante y después de la ocurrencia de los eventos de emisión.

En el estudio, las mediciones de SO<sub>2</sub> y los datos meteorológicos obtenidos durante MILAGRO en marzo de 2006 y una campaña en octubre-diciembre 2008, junto con las mediciones de largo plazo obtenidas por el SIMAT y las observaciones satelitales, fueron evaluadas para identificar las fuentes de las plumas de SO<sub>2</sub> observadas en la ZMVM y su transporte. Se utilizaron simulaciones numéricas y análisis estadísticos para estimar la magnitud y las características de los impactos de las emisiones de SO<sub>2</sub> del complejo industrial de Tula y del volcán Popocatepetl en la calidad del aire de la ZMVM. Ambos procedimientos, la modelación y los análisis estadísticos, son complementarios y permiten estudiar los impactos tanto en forma episódica como en largo plazo.

Los hallazgos más importantes del estudio de las emisiones de la región de Tula fueron los siguientes:

- El corredor industrial Tula se encuentra a lo largo de la trayectoria donde durante la noche hay flujos de salida que transportan los contaminantes atmosféricos hacia la ZMVM. Estos flujos de aire tienen bajas velocidades y bajas alturas de mezclado, lo que significa que pueden causar grandes impactos en la contaminación de la ZMVM. Esto es importante tanto en términos de impactos

regulares de la contaminación atmosférica y en términos de planeación y prevención de desastres.

- Los flujos de las emisiones de  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$  y de  $\text{NO}_x$  provenientes de algunas de las fuentes industriales más importantes en la región de Tula han sido estimados por varios grupos recientemente. En general, los resultados concuerdan con la magnitud de los flujos de emisión estimados entre los varios métodos utilizados. Sin embargo, parte de las diferencias encontradas en los resultados reportados pueden explicarse con: 1) las incertidumbres asociadas con las técnicas de estimación utilizadas; y, 2) la variabilidad de corto plazo intrínseca de los procesos de producción en las fuentes industriales de emisión. Además, es importante mencionar que los flujos de emisión durante la noche no han sido estimados por dichos estudios. Todo esto sugiere que hay que tomar con cautela la extrapolación de los flujos estimados para la evaluación de los inventarios anuales de emisiones.
- Aunque existen evidencias de variabilidad de largo plazo que sugieren que las emisiones de  $\text{SO}_2$  de la zona industrial de Tula han decrecido paulatinamente en los últimos años; está también claro que en la región de Tula existen fuentes industriales importantes que pueden potencialmente contribuir a deteriorar la calidad del aire regionalmente. Por ello, es importante mantener un programa constante de mediciones de contaminantes clave en la región.
- Las simulaciones que incluyeron tanto las emisiones de Tula como las del volcán Popocatepetl mostraron que los impactos en los niveles en superficie de  $\text{SO}_2$  en la ZMVM están fuertemente ligados a los patrones de los vientos predominantes. En ese sentido, la habilidad para cuantificar con precisión los impactos en sitios receptores dentro de la ZMVM depende en gran medida en la capacidad de los modelos meteorológicos para simular adecuadamente las características de dispersión y de transporte de contaminantes dentro de la cuenca. En general, se encontró que durante los periodos de simulación, alrededor de la mitad de los impactos en las concentraciones de  $\text{SO}_2$  en la ZMVM se debieron a las emisiones originadas en el complejo de Tula y menos del 10% proveniente del volcán, con el balance remanente debido a las fuentes locales.
- Los resultados de modelación de los datos de superficie sugieren que Tula fue una fuente más significativa de impactos de  $\text{SO}_2$  en la ZMVM que el volcán Popocatepetl durante los periodos de simulación seleccionados. Los modelos muestran que en algunos casos donde la pluma del volcán se transportó encima de la cuenca en el modelo, la estratificación vertical previno impactos en la superficie.
- Los resultados indican que el número de eventos con concentraciones extremas de  $\text{SO}_2$  es de alrededor del 18%, mientras que su contribución a la concentración total de  $\text{SO}_2$  observada se incrementa en alrededor del 60%. El porcentaje más alto es debido a la magnitud de las concentraciones de  $\text{SO}_2$  registradas durante los eventos.
- Tanto las simulaciones numéricas como los análisis estadísticos aplicados a las bases de datos de emisión del volcán Popocatepetl sugieren que la contribución de largo plazo de las emisiones volcánicas de  $\text{SO}_2$  a los impactos en la ZMVM es pequeña, aunque tal vez sean un poco más significativos en el sureste de la zona. Este resultado no excluye que dada las condiciones apropiadas de transporte sea posible una influencia muy grande sobre la ZMVM en el corto plazo para un evento de emisión volcánico determinado. También,

esto sugiere fuertemente que los impactos a largo plazo del volcán tienen un alcance espacial mucho mayor que a una escala local (~60 a 100 km), subrayando la importancia del impacto de las emisiones volcánicas del estudio del Popocatepetl a escala regional y global.

*j) Estudios de modelación de los impactos potenciales del cambio climático en la ZMVM*

El fenómeno del cambio climático y la calidad del aire han emergido como dos de los aspectos ambientales más importantes a escala regional y global. El cambio climático es inequívoco y en el futuro puede causar una degradación significativa de la calidad del aire regional y ésta a su vez contribuir también al cambio climático.

Estos dos aspectos están intrínsecamente acoplados a través de procesos de química atmosférica, radiativos y dinámicos. Es decir, los cambios en el clima pueden alterar parámetros meteorológicos, tales como temperatura, campos de viento, cobertura de nubes, humedad, el mezclado vertical, precipitación y patrones de viento sinópticos, y modificar por tanto las emisiones biogénicas que dependen en parte de estos parámetros. Dichas alteraciones pueden afectar en forma integral la calidad del aire en los procesos de formación de ozono superficial y la formación de material particulado. Además, la contaminación del aire puede afectar el clima a través de la modificación de las propiedades físicas y químicas de los aerosoles y de las nubes, así como de la capacidad oxidativa de la atmósfera y, por tanto, modificar el tiempo de vida de los gases de efecto invernadero.

Las observaciones recientes, las simulaciones con técnicas de modelación y la química atmosférica básica, sugieren la posibilidad de que dichos impactos sean significativos. Por ejemplo, existen análisis que muestran que los cambios en los patrones climatológicos juegan un rol mayor en establecer las condiciones que conducen a la formación y la acumulación de ozono troposférico.

En la ZMVM la temperatura del aire a nivel de superficie se ha incrementado unos pocos grados Celsius y la mayoría del incremento en la región urbana ha ocurrido en el último siglo debido en parte al efecto de la isla de calor urbana. Este fenómeno se ha manifestado en la ZMVM en un aumento de la temperatura de 6 a 8 °C como consecuencia del crecimiento de la urbanización y los cambios consecuentes del uso de suelo.

El impacto del aumento de temperatura en las concentraciones de ozono en la ZMVM fue investigado utilizando el modelo de calidad del aire CAMx, mediante un aumento sistemático y homogéneo de la temperatura. Los escenarios utilizados incluyeron casos bien validados de la calidad del aire para la ZMVM. Los resultados muestran que el máximo de ozono aumenta linealmente con la temperatura. El efecto de la temperatura varía espacialmente, con mayor sensibilidad en regiones donde ocurren concentraciones elevadas de ozono y con una menor sensibilidad en regiones con bajas concentraciones de ozono.

La sensibilidad estimada para la concentración horaria de O<sub>3</sub> con respecto a la temperatura es menor que las obtenidas en otros estudios en Europa y los Estados Unidos, particularmente en áreas urbanas, mientras que la sensibilidad a los promedios de 8 horas de las concentraciones de O<sub>3</sub> es mayor que la estimada en otras áreas urbanas.

Adicionalmente, el efecto de incrementos de emisiones biogénicas debido a incrementos de temperatura (representando un 30%), muestra aumentos adicionales a

la formación de ozono. Sin embargo, este efecto por sí solo es menor que el efecto de la temperatura solamente.

El modelo MCCM de calidad del aire puede describir la meteorología y la calidad del aire en la región y con ello se pueden evaluar escenarios de cambio climático; asimismo, un modelo acoplado puede describir mejor los procesos físicos y químicos en la zona de estudio. De los resultados de los escenarios futuros se observa que existe un incremento en la temperatura en la ZMVM de 4 °C y en las ciudades aledañas de 2 °C, para el caso de la capa de mezclado, ésta se incrementa entre 70 a 450 m en la ZMVM con respecto al caso base utilizado en 1980.

La concentración de ozono es menor en el escenario de 2070 en comparación con el caso de 1980 y puede deberse al incremento en la altura de la capa de mezcla. Con lo anterior se pudo obtener el efecto del cambio climático en las concentraciones de contaminantes ambientales, observándose que pueden existir variaciones desde -20 a 20 ppb teniéndose reducciones en la concentración de ozono en la ZMVM de cerca de un 10%.

*k) Implicaciones de política pública para el mejoramiento de la calidad del aire en la ZMVM utilizando los resultados clave de las campañas MCMA-2003 y MILAGRO 2006*

Los avances científicos en temas como la meteorología, la caracterización de fuentes de emisión, y los mecanismos de formación del ozono y de las partículas finas secundarias, obtenidas de las Campañas MCMA 2003 y MILAGRO 2006, tienen implicaciones importantes para el diseño de las nuevas políticas de mejoramiento de la calidad del aire y de mitigación del cambio climático en la ZMVM.

Muchos de los resultados de las Campañas MCMA 2003 y MILAGRO 2006 tienen implicaciones en las estrategias relacionadas con el abatimiento de la congestión del tráfico, el control del crecimiento de la flota vehicular, la eficiencia energética en los sectores de transporte privado y público, industrial, comercial y residencial.

Finalmente, dada la importancia de los inventarios de emisiones como herramientas claves para la evaluación y el diseño de los programas de manejo de la calidad del aire, los resultados de estas campañas subrayan la importancia de continuar los esfuerzos para mejorar la precisión y confiabilidad de los inventarios de emisiones de gases y partículas (particularmente del hollín).

En la Tabla 3.7.1 se presentan las recomendaciones emitidas por el conjunto de investigadores y científicos participantes en los estudios MCMA 2003 y MILAGRO 2006, las cuales han sido consideradas y analizadas con el fin de enriquecer el presente PROAIRE.

**Tabla 3.7.1. Implicaciones para la elaboración de políticas públicas en el mejoramiento de la calidad del aire en la ZMVM utilizando resultados clave de las campañas MCMA-2003 y MILAGRO 2006**

Política recomendada	Justificación
<b>A. Políticas relacionadas con la meteorología y dinámica</b>	
1. En la planeación de políticas públicas considerar el perfil temporal en el que se emiten los contaminantes	Los picos altos de contaminación por la mañana son afectados fuertemente por los flujos de ventilación con muy poco mezclado vertical antes de la salida del sol. La reducción de emisiones nocturnas y durante las primeras horas en la mañana tendría un gran impacto en los altos niveles de contaminantes en esas horas.
2. Incluir los flujos de ventilación nocturnos en las evaluaciones de impacto ambiental para el corredor industrial de Tula y el volcán Popocatepetl	Existen vientos estables y ligeros de la región de Tula hacia la ZMVM antes del amanecer y en algunas ocasiones después de la puesta del sol. Estos flujos pueden transportar y elevar las concentraciones de contaminantes en el aire de la ZMVM. Estos eventos de transporte deberían ser considerados tanto desde la perspectiva de calidad del aire como del análisis de riesgos. En contraste, se encontró que el volcán Popocatepetl tiene en general poca influencia en los niveles de la calidad del aire en la ZMVM en superficie. Sin embargo, los eventos en donde la influencia es significativa ocurren durante periodos de altos mezclados verticales de la pluma debido a la altura de la capa de mezclado y la fuerte dilución. Sin embargo, a escala regional, los resultados indican que las emisiones volcánicas sí pueden llegar a tener una influencia importante en la calidad del aire.
3. Desarrollar planes de contingencia con base en los procesos de ventilación de la cuenca	Se ha encontrado que los días con mala calidad del aire en la ZMVM pueden ser el resultado de contaminantes emitidos en un día previo con poca ventilación. Por lo tanto, las acciones de respuesta rápida deberían ser enfocadas a las emisiones nocturnas y de la mañana.
<b>B. Políticas relativas a mejorar el inventario de emisiones</b>	
4. Mejorar la cuantificación de las emisiones de vehículos a diesel	En comparación con los vehículos a gasolina, los vehículos a diesel contribuyen desproporcionadamente a las emisiones de NO <sub>x</sub> y especialmente en PM <sub>2.5</sub> . Estudios recientes de las emisiones de las fuentes móviles subrayan la importancia de tener una mejor cuantificación de las emisiones gaseosas y de partículas de vehículos a diesel en la ZMVM. Se sugiere: (a) Llevar a cabo una campaña de mediciones específicamente diseñada para caracterizar las emisiones de vehículos a diesel en circulación en la ZMVM; (b) Mejorar las bases de datos de los inventarios en cuanto a la clasificación y el número de vehículos a diesel locales y no-locales que circulan en la ZMVM; (c) Desarrollar factores de emisión locales de vehículos a diesel; y, (d) como parte del desarrollo del inventario de emisiones, llevar a cabo cálculos de



Política recomendada	Justificación
	balance de masa del combustible consumido por los vehículos a diesel en la ZMVM.
5. Investigar las fuentes generadoras de los altos niveles de metanol en la ZMVM	Las concentraciones de metanol son particularmente altas en la ZMVM. Aunque el metanol puede tener un origen industrial, la quema de biomasa puede también contribuir a los altos niveles de concentración de este compuesto y esto debería ser investigado.
6. Investigar a fondo las fuentes de partículas primarias en la ZMVM	Las mediciones recientes y los estudios de modelación sugieren que las emisiones de partículas pueden estar subestimadas en las estimaciones actuales del inventario de emisiones. Esto puede deberse a las incertidumbres en las bases de datos durante el desarrollo de los inventarios de emisiones para varias fuentes de emisión claves. Estas incluyen las emisiones de vehículos a diesel, la resuspensión de partículas en carreteras, las emisiones industriales, y otras. Las incertidumbres en las estimaciones de emisiones de otras categorías de fuentes pueden impactar adicionalmente en las discrepancias actuales identificadas para varios compuestos de COV, incluyendo el benceno y el tolueno. En general, estos resultados tienen implicaciones importantes en el desarrollo de inventarios de emisiones.
7. Análisis de incertidumbres en el inventario de emisiones	Las técnicas denominadas "de abajo-hacia-arriba" introducen varios grados de incertidumbre para las diferentes categorías de fuentes de emisión consideradas durante el desarrollo de un inventario de emisiones. Sin embargo, el desarrollo del inventario de emisiones se puede beneficiar considerablemente con la aplicación consistente de métodos estándar de estimación de incertidumbres durante los procedimientos de estimación de emisiones. La aplicación formal de técnicas de estimación de incertidumbres puede tener grandes beneficios porque puede ayudar a identificar problemas y prioridades para mejorar el inventario.

<b>Política recomendada</b>	<b>Justificación</b>
8. Cuantificación de la distribución de la volatilidad de las emisiones de los aerosoles orgánicos	Los avances recientes en las investigaciones de emisiones de las partículas, han mostrado que en los procesos físicos que ocurren justo después de que las emisiones se mezclan con el aire ambiente, se produce una transferencia de masa entre las fases de gas y de partículas en una forma mucho más dinámica que lo que anteriormente se creía. Los resultados de las campañas en la ZMVM han provisto información importante sobre la composición de las partículas y el grado de oxidación en varias edades. Esta información puede ser utilizada para ayudar a desarrollar un inventario local de las partículas con una distribución de sus constituyentes basada en mediciones. La reducción de las incertidumbres en la distribución de los constituyentes de las partículas es un paso importante en la utilización de modelos de calidad del aire para la evaluación de las estrategias para controlar la formación secundaria de aerosoles.
9. Actualizar los perfiles y factores de emisión locales de COV para la ZMVM	Estos dos tipos de información son críticos para el desarrollo de un inventario de emisiones. Sin embargo, debido a que dependen fuertemente de la tecnología y condiciones locales, cambian continuamente con el tiempo. La estimación de las emisiones en el inventario de emisiones se beneficiaría mucho, actualizando las bases de datos de factores de emisiones y los perfiles de COV. Los esfuerzos en este sentido se han dirigido históricamente hacia las fuentes móviles; sin embargo, las bases de datos para fuentes biogénicas, industriales y otras basadas en datos de población, pueden también beneficiarse.
<b>C. Políticas de control de emisiones</b>	
10. Incentivar o hacer obligatorio el uso de pinturas de bajos COV	La aplicación de pinturas es responsable del 20% de las emisiones de tolueno, y emite además xilenos. El tolueno y los xilenos contribuyen significativamente a la reactividad de los COV y por tanto, a la formación de ozono además de ser los contribuyentes aromáticos más relevantes para la formación de aerosoles orgánicos secundarios. Las nuevas regulaciones ambientales y la demanda del consumo han llevado al desarrollo de pinturas y acabados de bajo y nulo contenido de COV. La mayoría de los fabricantes producen ahora una o más variedades de pinturas sin COV. Estas nuevas pinturas son además durables, costo-efectivas y menos dañinas al ambiente y a la salud humana.

Política recomendada	Justificación
11. Programa para la verificación/prueba de mantenimiento en carretera para taxis y otros vehículos altamente contaminantes	Tales programas han sido considerados en el pasado como muy costosos o difíciles en su ejecución. Sin embargo, si es dirigido a taxis y vehículos altamente contaminantes solamente, y utilizado en combinación con un programa de microfinanciamiento, este tipo de programas crearían incentivos eficientes para algunos de los vehículos más contaminantes (en comparación con otros vehículos en la ZMVM, los taxis tienen mucho más kilómetros recorridos por día) para cambiar a una tecnología menos contaminante.
12. Reducir la emisión de aldehídos de fuentes móviles	Las concentraciones ambiente de aldehídos y otros oxigenados medidos en la ZMVM sugieren que estos compuestos contribuyen significativamente a la reactividad de COV. Las fuentes móviles (tanto de vehículos a diesel como a gasolina) contribuyen significativamente a estos compuestos en la ZMVM. Las reducciones de las emisiones de fuentes móviles pueden ayudar a reducir la contribución de la reactividad de COV por los compuestos oxigenados. El uso de mezclas de etanol en las gasolinas, puede incrementar las emisiones de carbonilos. A la fecha no se conoce el incremento en las emisiones de carbonilos por uso de estas mezclas bajo condiciones de operación características de las ZMVM, ni su efecto en la reactividad del smog fotoquímico en la región. Se recomienda realizar estudios en estos temas antes de implementar el uso de estas mezclas.
13. Incentivar la renovación de la flota vehicular y la remoción de vehículos altamente contaminantes	Los análisis de correlación entre los cambios en la flota vehicular y las tendencias en las emisiones han mostrado que a pesar de los grandes incrementos en el tamaño de la flota vehicular, las emisiones asociadas no se han incrementado en la misma proporción. Esto es el resultado del efecto combinado de la remoción de los vehículos con mayor edad de la flota y de las tecnologías mucho más limpias incorporadas en los vehículos nuevos. Esto también sugiere fuertemente que incrementando la tasa de renovación de la flota vehicular de la ZMVM, puede tener grandes beneficios en términos de masa de COV y reducción de emisiones de NO <sub>x</sub> .
14. Incentivar el uso del transporte público sobre el vehículo privado en la planeación urbana	Las preferencias de modos de transportación de baja capacidad deberían ser cambiadas hacia modos de alta capacidad con un diseño integral y organizado del desarrollo de la ZMVM y la planeación urbana. Lo más importante es que los modos de transporte público deberían ser favorecidos sin comprometer la comodidad, la eficiencia y la seguridad durante el transporte.

<b>Política recomendada</b>	<b>Justificación</b>
15. Programa de apoyo para la implementación de controles de emisiones en la flota vehicular a diesel	La flota vehicular a diesel en la ZMVM tiende a ser antigua, tener tasas de renovación lentas y no contar con sistemas de control de emisiones. Esto sugiere que un programa de apoyo para la implementación de controles de emisiones en la flota vehicular a diesel puede tener beneficios significativos para reducir los impactos de sus emisiones.
16. Control de fugas en la distribución y en el uso del gas licuado de petróleo	La concentración de COV totales en la ZMVM continúa dominada por alcanos de bajo peso molecular, particularmente propano. Esta situación no ha cambiado desde hace por lo menos 15 años, cuando Blake y Rowland (1995) reportaron altos niveles de estos compuestos en la ZMVM debido al uso extensivo del gas licuado de petróleo (GLP) como el combustible más utilizado en la cocción de alimentos y en calentadores de agua. Por lo tanto, es necesario un programa para el control de fugas durante la distribución y uso de GLP.
17. Reducir las emisiones de SO <sub>2</sub> y NH <sub>3</sub>	Los niveles de SO <sub>2</sub> se han reducido continuamente en la ZMVM como resultado de varias políticas de control de emisiones. Entre ellas, la introducción de gasolinas y diesel con bajo contenido de azufre ha jugado un papel importante en la reducción de los niveles de SO <sub>2</sub> . No hay mediciones continuas de sulfatos en la ZMVM, pero debido a que los niveles de amoníaco son relativamente altos, es posible que la formación de sulfatos ha sido disminuida en comparación con hace una década o más. Sin embargo, debido a que las tasas de formación de estos compuestos inorgánicos son relativamente lentas, la reducción de las emisiones de ambos SO <sub>2</sub> y NH <sub>3</sub> puede tener beneficios al reducir los niveles de PM inorgánicos vientos abajo en escalas regionales.
18. Control y manejo de emisiones de quema abierta de biomasa	La contribución de los incendios forestales a los niveles ambientales de varios contaminantes (incluyendo las partículas) en la ZMVM puede ser significativa durante la temporada seca cálida. La contribución de la quema de biomasa en actividades de agricultura puede también ser muy importante, pero su cuantificación ha sido menos estudiada. Es claro, sin embargo, que políticas de control hacia la reducción y el control de las emisiones de la quema de biomasa tendrá beneficios substanciales en los impactos a escala regional.
19. Control de emisiones provenientes del uso de biocombustibles sólidos	El uso de combustibles sólidos puede ser una fuente de contaminación importante en la periferia de la ZMVM y las áreas rurales adyacentes. Las mejoras tecnológicas relativamente baratas pueden llevar a reducciones significativas en las emisiones de las partículas y otros contaminantes.

Política recomendada	Justificación
20. Control de emisiones provenientes de la quema de basura	La quema de basura ha sido poco caracterizada todavía, pero puede ser potencialmente una fuente importante de emisiones en la ZMVM. La prohibición de la quema de basura y otras políticas relacionadas tales como incentivos para el reciclamiento de desperdicios y basura pueden por tanto tener beneficios importantes en la reducción de emisiones.
21. Control de emisiones por buen manejo del uso de suelos	El manejo sustentable del uso de suelos agrícolas, forestales y del ex-lago de Texcoco, puede ayudar a reducir las emisiones por resuspensión de partículas que afectan la calidad del aire en la ZMVM.
22. Control regional de emisiones	Las diferentes fuentes de emisiones en la ZMVM pueden contribuir significativamente a los impactos en los niveles de contaminación a escala regional. De igual manera, las emisiones generadas en la región central del país, pero fuera de la ZMVM, pueden también contribuir a altos niveles de contaminación. En particular, beneficiaría la homologación del control de emisiones vehiculares en los estados de la región central del país, al igual que el contar con una red regional de monitoreo de la calidad del aire.
23. Implementar políticas que estimulen la evaluación del impacto de la contaminación atmosférica en la salud humana	Estos estudios apoyan el hecho de que las fuentes locales de contaminación atmosférica juegan un papel predominante en los efectos agudos observados en las poblaciones estudiadas y en los efectos tóxicos evaluados in vitro. Sin embargo, todavía existen huecos para entender la participación relativa que tienen las interacciones entre los contaminantes localmente emitidos y aquellos que son transportados de fuentes más lejanas, en los efectos crónicos sobre la salud de las poblaciones expuestas.

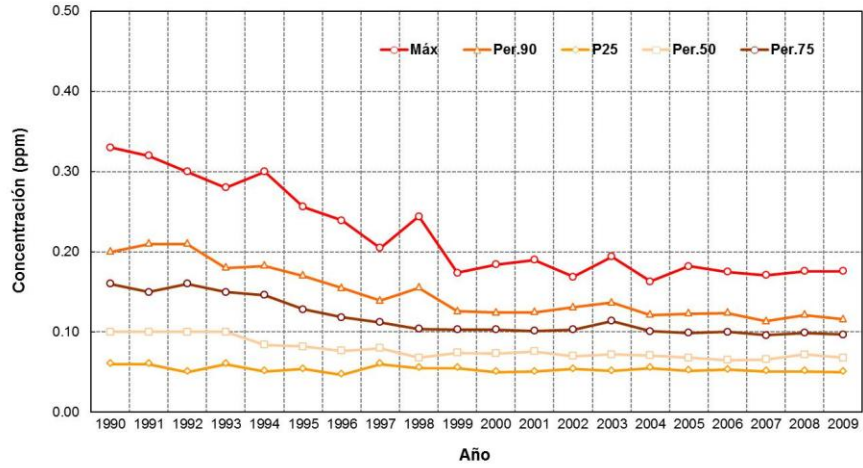
### **Análisis comparativo de la ZMVM y Los Ángeles, EUA**

En el año 2010 se realizó un análisis comparativo de las concentraciones máximas diarias de ozono en la ZMVM y la ciudad de Los Ángeles, California, para el período 1990 – 2009 (SMA-DF, 2010). La delimitación del área considerada para el caso de la ciudad norteamericana es la correspondiente a la Cuenca Aérea de la Costa Sur (SoCAB por sus siglas en inglés).

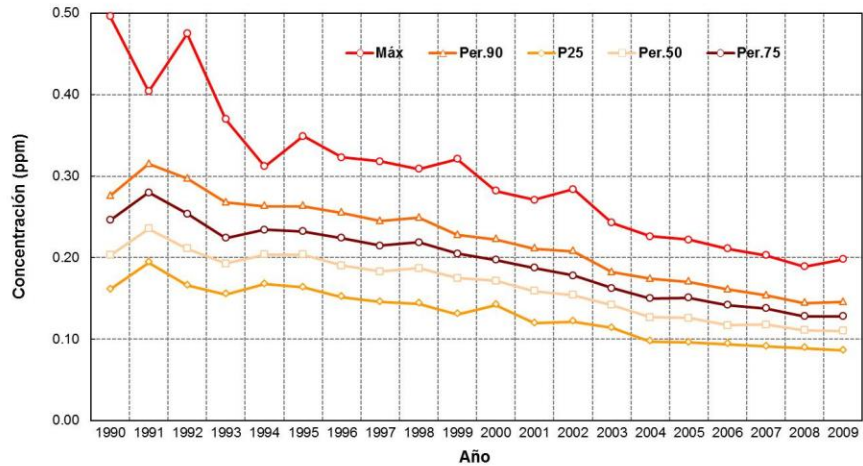
Como se puede observar en las Gráficas 3.7.1.a-b, 3.7.2 y 3.7.3, tanto las concentraciones máximas del ozono como las tasas de cambio correspondientes, han ido a la baja en ambas zonas metropolitanas. Sin embargo, las tasas de cambio de la ZMVM han sido ligeramente mayores a lo largo del período considerado.

**Gráficas 3.7.1.a-b. Comportamiento del ozono en el período 1990-2009 (Concentración máxima diaria)**

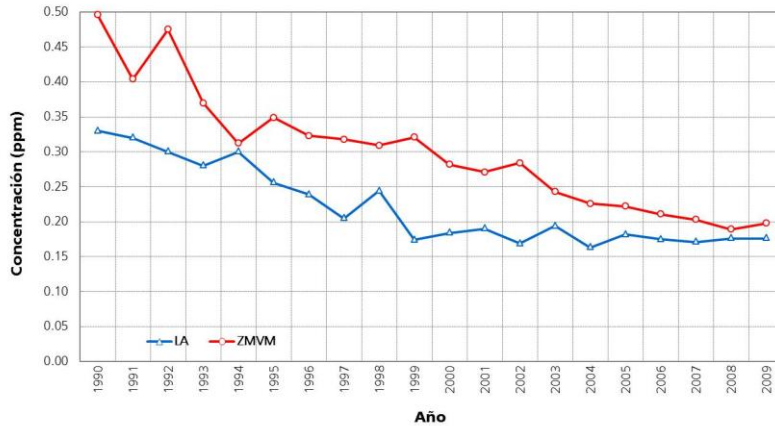
**a. Cuenca Aérea de la Costa Sur – SoCAB**



**b. Zona Metropolitana del Valle de México – ZMVM**

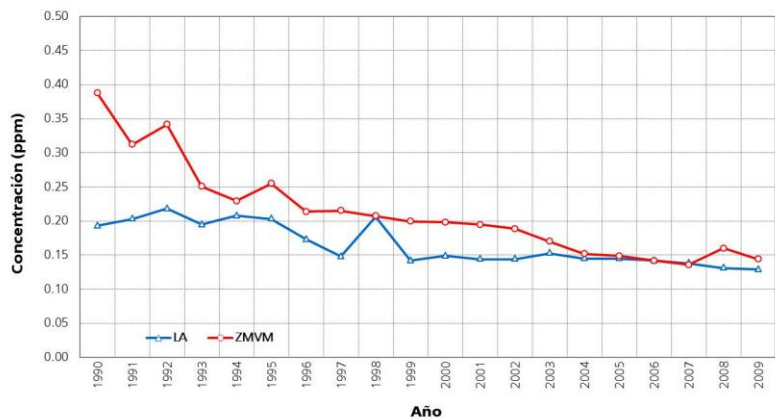


**Gráfica 3.7.2. Tendencia de la concentración máxima anual de ozono en la SoCAB y ZMVM, 1990-2009**



Región	Tasa de cambio (ppm/año)
SoCAB	0.0086
ZMVM	0.0139

**Gráfica 3.7.3. Tendencia de la concentración máxima anual del promedio de 8 horas de ozono en la SoCAB y ZMVM, 1990-2009**



Región	Tasa de cambio (ppm/año)
SoCAB	0.0044
ZMVM	0.0105

### **Relación entre las concentraciones de PM<sub>10</sub> y áreas verdes**

Con el propósito de explorar una posible relación entre las concentraciones medidas de PM<sub>10</sub> y la masa vegetal del entorno, se hizo un ejercicio en el que se evalúa la relación entre la magnitud de las concentraciones registradas en las estaciones con equipos automáticos del Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT) y las áreas verdes de sus áreas de influencia (Muñoz, PAOT, 2010).

Las concentraciones analizadas correspondieron al año 2009 y provienen de los equipos automáticos y equipos de alto volumen (Tabla 3.7.2); se procesaron como promedios diarios de 24 horas y posteriormente se obtuvieron indicadores al promedio y al percentil 90 (P90)<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Para el cálculo de las áreas verdes se empleó la información del inventario de las áreas verdes del Distrito Federal elaborado por la PAOT en 2009 y que tiene como líneas base de información los inventarios realizados por la PAOT y por la Secretaría de Medio Ambiente (SMA) en 2006.

**Tabla 3.7.2. Indicadores de PM<sub>10</sub> obtenidos con información de equipos automáticos (µg/m<sup>3</sup>)**

Estación de monitoreo	Época seca-fría		Época seca-caliente	
	media	P95	Media	P95
La Villa (LVI)	68	113	62	89
Tlalnepantla (TLA)	67	115	63	87
Xalostoc (XAL)	108	164	82	118
Merced (MER)	58	102	61	89
Pedregal (PED)	38	65	45	65
Cerro de la Estrella (CES)	54	85	56	77
Tultitlán (TLI)	67	99	Sin datos	
Villa de las Flores (VIF)	85	142	76	109
Tláhuac (TAH)	55	97	62	90
Santa Úrsula (SUR)	47	78	51	75
ENEP Acatlán (EAC)	49	83	55	78
Plateros (PLA)	46	66	48	67
San Agustín (SAG)	66	116	65	96
Taxqueña (TAX)	56	85	56	79
Iztacalco (IZT)	56	89	56	78

Las áreas verdes del suelo urbano fueron identificadas con imágenes de satélite obtenidas por el sensor multiespectral denominado *QuickBird02*<sup>3</sup> con resolución espacial de 60 cm, lo que permite visualizar de forma detallada la cobertura arbórea, pastos, arbustos y áreas deportivas. Éstas últimas se incluyen por primera vez en este tipo de inventarios debido a que solían confundirse con áreas arboladas. En el inventario 2009 también se incluyó la información de una imagen de satélite multiespectral proveniente del sensor *Spot5*<sup>4</sup>, con una resolución espacial de 10 m. El resultado del proceso de estas imágenes fueron áreas mínimas cartografiables<sup>5</sup> de 50 m<sup>2</sup>, a través de las cuales se pudo identificar el arbolado susceptible de manejo y corredores de vegetación. En el caso del suelo de conservación, las áreas verdes se identificaron de forma general por medio de una clasificación espectral con una imagen *Spot* de diciembre de 2008, por lo que no se identificaron tipos de bosques o especies.

<sup>3</sup> Sistema de detección a distancia empleado desde un satélite, con el cual se obtiene información de la superficie de la Tierra. Pueden ser activos (que transmiten sus propias emanaciones electromagnéticas a un objeto y registra la energía reflejada o refractada de regreso al sensor), o pasivos (usan la porción visible del espectro electromagnético).

<sup>4</sup> Imágenes proporcionadas por SPOT Image, S.A., a través del Convenio ERMEX-PAOT con la Secretaría de Marina.

<sup>5</sup> Es el tamaño de área mínima que debe aparecer en un mapa temático, cuando se aplica en percepción remota.



Los resultados obtenidos del proceso de imágenes se ajustaron por medio de fotointerpretación, usando como referencia las imágenes QuickBird y el Atlas de uso de suelo y vegetación del 2006 (SEDEREC, 2006). Con este método se discriminan las áreas sin cobertura vegetal y sólo se exponen las áreas con cualquier tipo de vegetación viva, incluidas las áreas agrícolas de temporal y de riego, mismas que posteriormente fueron re-clasificadas como áreas agrícolas, de tal manera que el producto final es un mapa complementario con el de la zona urbana con tres categorías para el suelo de conservación: árboles, pastos/arbustos y zona agrícola.

**Tabla 3.7.3. Extracción de cobertura vegetal para cada tipo de vegetación**

<b>Estación</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>		<b>Estación</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>
<b>CES</b>	<b>10'201,352.71</b>		<b>PLA</b>	<b>18'986,740.88</b>
Áreas Deportivas	705,211.05		Áreas Deportivas	391,101.75
Arbolado	4'783,578.30		Arbolado	14'935,454.22
Pastos/Arbustos	6'508,222.78		Pastos/Arbustos	3'660,184.90
Vaso regulador	60,459.98			
<b>EAC*</b>	<b>2'025,591.11</b>		<b>SUR</b>	<b>18'876,207.06</b>
Áreas Deportivas	141,247.13		Áreas Deportivas	836,509.83
Arbolado	1'536,662.54		Arbolado	14'168,989.59
Pastos/Arbustos	347,681.43		Pastos/Arbustos	3'870,707.64
<b>IZT</b>	<b>10'242,902.90</b>		<b>TAX</b>	<b>12'288,832.68</b>
Áreas Deportivas	772,854.65		Áreas Deportivas	686,349.10
Arbolado	7'536,267.72		Arbolado	8'946,344.75
Pastos/Arbustos	1'933,780.53		Pastos/Arbustos	4'107,513.77
<b>LVI</b>	<b>9'295,193.67</b>		<b>TLA*</b>	<b>2'301,624.96</b>
Áreas Deportivas	909,690.26		Áreas Deportivas	243,560.26
Arbolado	6'320,213.45		Arbolado	1'693,088.77
Pastos/Arbustos	2'065,289.96		Pastos/Arbustos	364,975.93
<b>MER</b>	<b>9'611,668.78</b>		<b>XAL*</b>	<b>465,833.89</b>
Áreas Deportivas	688,224.93		Áreas Deportivas	23,499.45
Arbolado	6'695,957.38		Arbolado	249,137.21
Pastos/Arbustos	2'227,486.47		Pastos/Arbustos	193,197.22
<b>PED</b>	<b>24'666,337.39</b>		<b>TAH</b>	<b>1'559,896.65</b>
Áreas Deportivas	374,558.49		Áreas Deportivas	115,100.73
Arbolado	20'013,348.35		Agrícola	38'264,852.41
Pastos/Arbustos	4'278,430.55		Arbolado	653,994.69
			Pastos/Arbustos	7'391,314.99

\*Estimación correspondiente al área del Distrito Federal

Las estaciones de monitoreo del SIMAT tienen una altura que oscila entre 3 y 12 metros y sus alrededores están libres de obstáculos, características físicas que las definen como estaciones de tipo urbano y se asume que la medición que hacen de las PM<sub>10</sub> son representativas espacialmente; técnicamente se reconoce que la representatividad alcanza un radio de 5 kilómetros. El resultado de la extracción de la cobertura vegetal total y para cada tipo de vegetación se muestra en la Tabla 3.7.3.

Los resultados indican que en las dos etapas climáticas estudiadas se aprecia una relación identificable entre la cobertura vegetal y las concentraciones de PM<sub>10</sub>: a mayor cobertura vegetal menor es la concentración de PM<sub>10</sub>. El suroeste del Distrito Federal con una mayor cobertura se asocia con las menores concentraciones de estas partículas, ya sea como promedio o como eventos extraordinarios.

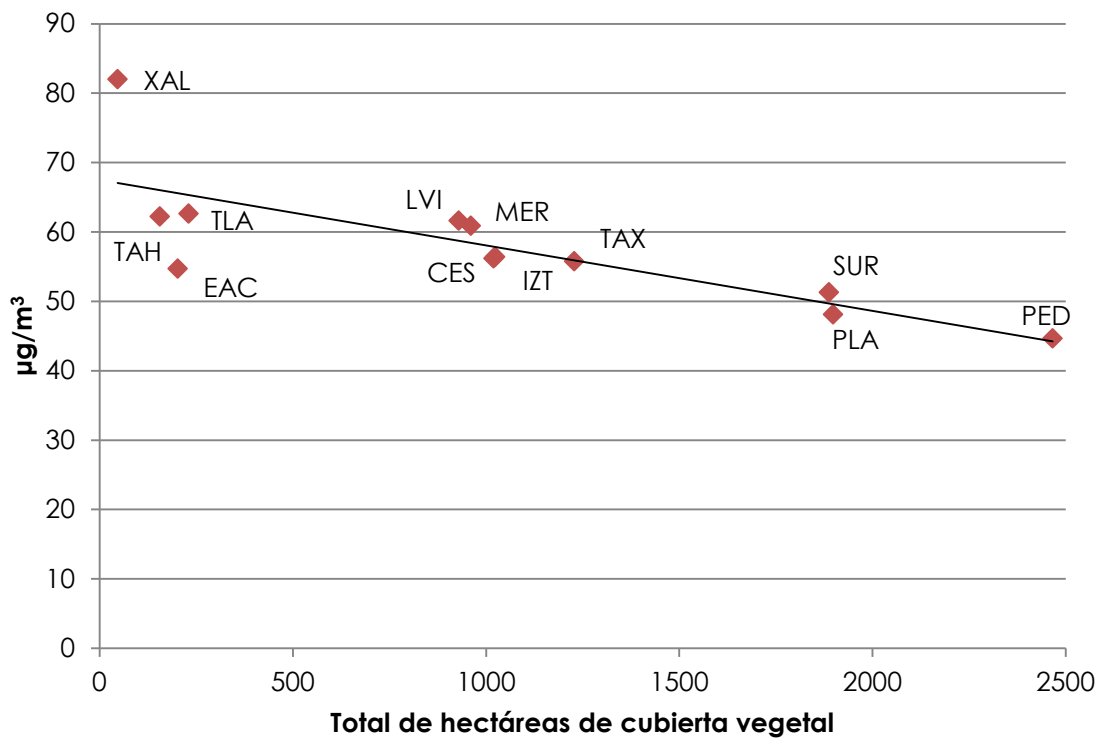
En la estación de monitoreo La Villa (LVI) ubicada al norte de la ZMVM, así como en estaciones del centro y el oriente, con áreas de cobertura vegetal que fluctúan entre 9.2 y 10.2 millones de m<sup>2</sup>, se presentan concentraciones de PM<sub>10</sub> intermedias con respecto de las concentraciones del suroeste y con estaciones del norte, como son Xalostoc (XAL), Tlalnepantla (TLA) y ENEP Acatlán (EAC).

El caso de Tláhuac (TAH) es notable por la magnitud que presentan las concentraciones de PM<sub>10</sub> en ambas épocas. Hay que señalar que la cobertura vegetal estimada de 1.5 millones de m<sup>2</sup> contempló 35,397 m<sup>2</sup> de suelo agrícola y que no se incluyó la superficie del suelo de conservación. Es posible que las concentraciones altas de este tipo de partículas se deban a la erosión del suelo de los campos de cultivo o de otro tipo dentro del área de suelo de conservación.

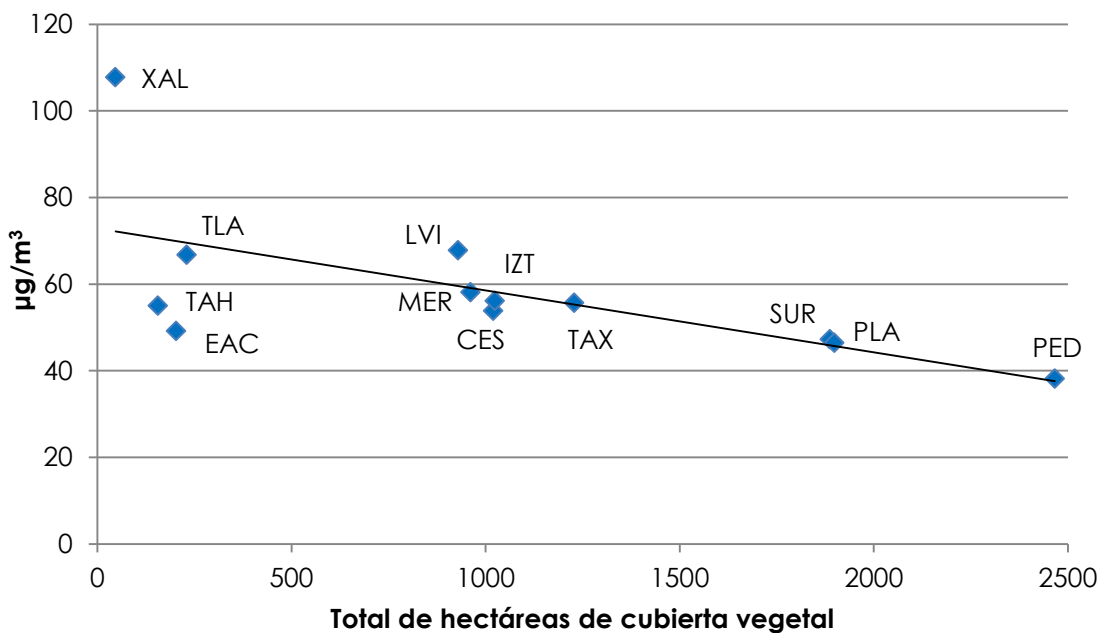
Como consecuencia de la similitud del comportamiento entre los registros de PM<sub>10</sub> obtenidos con equipos automáticos y con equipos manuales, es plausible suponer que las partículas provienen de fuentes naturales.

A continuación se muestran las Gráficas 3.7.4 y 3.7.5:

**Gráfica 3.7.4. Época seca – caliente: PM<sub>10</sub> promedio vs cobertura vegetal total**



**Gráfica 3.7.5. Época seca – fría: PM<sub>10</sub> promedio vs cobertura vegetal total**



## Segunda parte

---

### Experiencia nacional y referencias internacionales de gestión de la calidad del aire

---

Capítulo 4. Avances logrados en los últimos 20 años en materia de política de calidad del aire en la ZMVM

Capítulo 5. Experiencias internacionales en gestión de la calidad del aire

---



# Capítulo 4

## Avances logrados en los últimos 20 años en materia de política de calidad del aire en la ZMVM

---

Los logros alcanzados en materia de calidad del aire en la ZMVM son el resultado de los esfuerzos de coordinación mantenidos por los gobiernos que integran la Comisión Ambiental Metropolitana y por la continuidad que se le ha dado a las políticas públicas de gestión ambiental en los tres órdenes de gobierno. Este capítulo resume los programas elaborados y las acciones aplicadas de 1990 a la fecha.

### **4.1 Introducción**

Con el fin de proteger la salud de los habitantes, la entonces Secretaría de Salubridad y Asistencia publicó por primera vez los criterios de la Calidad del Aire en el Diario Oficial de la Federación el 29 de noviembre de 1982. Se contaba desde 1971 con una Red Manual de Monitoreo, pero fue hasta el año de 1986 que se instaló la Red Automática de Monitoreo Atmosférico para tener un registro sistemático de los niveles de contaminación del aire en la ZMVM. Con dicha Red, fue posible dar seguimiento a las "21 Acciones para reducir la Contaminación del Aire" y a las "100 Medidas Necesarias" que se pusieron en marcha en 1986 y 1987 respectivamente. Estas acciones y medidas marcaron el inicio de la sustitución de los combustibles con alto contenido de azufre, la reducción de plomo en gasolinas, se estableció en 1988 el "Programa de Contingencias Ambientales" y el "Programa de un Día sin Auto" que posteriormente se transformó en el "Programa Hoy No Circula" en el año de 1989.

El primer programa formal con la intención de combatir la contaminación atmosférica se denominó "Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica" (PICCA) que se instrumentó en octubre de 1990. Este programa fue el primer esfuerzo sistemático para abatir los niveles de contaminación, con la participación de dependencias federales y gobiernos locales. Posteriormente, en 1992, se creó la Comisión para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en la Zona Metropolitana del Valle de México.

En 1996 la hoy SEMARNAT, el entonces Departamento del Distrito Federal y el Gobierno del Estado de México acordaron la instrumentación del Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000 (PROAIRE) para reforzar y dar continuidad a las medidas de combate a la contaminación atmosférica. En septiembre de 1996, se fortaleció aún más el trabajo metropolitano con la creación de la Comisión Ambiental Metropolitana (CAM), con la participación de los Gobiernos del Distrito Federal y del Estado de México, así como de todas las secretarías federales y los organismos paraestatales de Pemex y CFE.

Los resultados y experiencias obtenidas en los dos programas anteriores fueron la base para la elaboración del PROAIRE 2002-2010, en el cual se realizó la evaluación de escenarios para los años 1998 y 2010, considerando y simulando el crecimiento de la población y la mancha urbana, el transporte, la industria y los servicios con la finalidad de contar con una estimación sobre el incremento en los niveles de la contaminación atmosférica en caso de no llevar a cabo las acciones conducentes para abatirla. En este programa, hubo un esfuerzo de planeación participativa para la elaboración del programa, en el cual, además de la participación de autoridades federales y locales, se contó con la participación de diversos sectores de la sociedad.

El PROAIRE 2002-2010 se convirtió en el instrumento de gestión más importante de la última década para abatir los niveles de la contaminación atmosférica en la ZMVM.

Los programas de calidad del aire, han sido en los últimos 20 años los instrumentos de gestión más importantes para lograr la disminución de la contaminación atmosférica de la ZMVM. En estos programas se incorporaron un gran número de diferentes medidas para controlar la emisión de los contaminantes a la atmósfera a partir de sus fuentes, de forma tal que se ha disminuido el impacto a la calidad del aire y los efectos en la salud de los habitantes.

#### **4.2 El Programa Integral contra la Contaminación Atmosférica (PICCA)**

En el periodo 1988-1990 la contaminación ambiental había alcanzado niveles críticos, la velocidad de ascenso de los contaminantes resultaba alarmante y el número de días al año que se excedió la norma de ozono llegó a los 286 días. Es en este contexto que se elaboró el PICCA (1990-1995).

##### **Estrategias del PICCA**

El PICCA contempló cuatro estrategias con énfasis en las opciones tecnológicas disponibles en ese momento:

- Mejoramiento de la calidad de los combustibles.
- Reducción de emisiones en vehículos automotores.
- Modernización tecnológica y el control de emisiones en industrias y servicios.
- Restauración ecológica de las áreas boscosas que circundan el Valle de México.

##### **Compromisos del PICCA**

- Industria Petrolera. PEMEX formuló un Paquete Ecológico que consistía principalmente en la mejora de combustibles y el control de emisiones en la Refinería 18 de Marzo.
- Transporte. Relacionados principalmente con mejora en la eficiencia energética y control de emisiones, así como ampliación del sistema de transporte público limpio.
- Industria privada y establecimientos de servicios. Modernización tecnológica, mayor eficiencia energética y en el control de emisiones.
- Termoeléctricas. Relacionados con el uso de combustibles más limpios al ser las mayores consumidoras.

- Reforestación y restauración ecológica de los suelos deforestados, zonas sin drenaje, reservas ecológicas ocupadas y tiraderos a cielo abierto.
- Investigación, educación ecológica y comunicación social. A realizarse por las entidades encargadas del monitoreo, de la investigación en instituciones y de la comunicación social a través de campañas e impartición de cursos.

### **Metas del PICCA**

El PICCA se planteó las metas que se enuncian a continuación y las acciones concretas, las más relevantes, se presentan en la Tabla 4.2.1.

- No rebasar las normas internacionales de plomo.
- Lograr que no se rebasaran en forma permanente las normas nacionales e internacionales de bióxido de azufre.
- Frenar el incremento de los niveles de partículas por erosión, la destrucción de bosques y los tiraderos de basura.
- Reducir en forma significativa los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno, precursores de la formación de ozono.

**Tabla 4.2.1. Acciones relevantes realizadas en la instrumentación del PICCA**

<b>Año</b>	<b>Acciones</b>
1990	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Introducción de convertidores catalíticos de dos vías.</li> <li>• El programa de verificación vehicular se hizo obligatorio para todos los vehículos.</li> <li>• Inicia suministro de gasolina sin plomo con compuestos oxigenados.</li> <li>• Elaboración de diesel y combustóleo con bajo contenido de azufre.</li> <li>• En la industria sustitución de combustóleo por gas natural.</li> </ul>
1991	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cierre de la Refinería 18 de Marzo.</li> <li>• Emisión de la Ley de Protección al Ambiente del Estado de México.</li> <li>• Creación de la Secretaría de Ecología del Estado de México.</li> <li>• Establecimiento de estándares de emisión más estrictos a los vehículos por la introducción de convertidores catalíticos.</li> <li>• Implementación del Sistema de Vigilancia Epidemiológica.</li> <li>• Inicio del Estudio Global de la Calidad del Aire.</li> </ul>
1992	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Creación de la Comisión para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en la ZMVM.</li> <li>• Creación del Fideicomiso Ambiental del Valle de México.</li> <li>• Creación del Instituto Nacional de Ecología.</li> <li>• Ampliación del Metro.</li> <li>• Introducción de gas LP para vehículos incluyendo camiones distribuidores y de carga.</li> </ul>
1993	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se introduce el Diesel Sin con bajo contenido de azufre.</li> <li>• Incorporación del convertidor catalítico de tres vías e inyección electrónica para todos los autos nuevos.</li> </ul>
1994	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Publicación de las Normas Oficiales Mexicanas de Calidad del Aire.</li> </ul>
1995	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Creación de la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal.</li> <li>• Se activa el Fideicomiso Ambiental del Valle de México, estableciendo el sobreprecio al consumo de gasolina para contar con un fondo de recursos que apoyen proyectos ambientales.</li> </ul>



### **Logros más importantes del PICCA**

1. Se mejoró la calidad de los combustibles.
  - Anterior al año 1986, el contenido de tetraetilo de plomo (TEP) en las gasolinas Nova y Nova Plus era de 0.9 ml/l, el cual se redujo para el año 1991 a 0.079-0.14 ml/l, para 1992 a 0.05-0.08 ml/l y para 1994 a 0.03-0.05 ml/l.
  - Se introdujeron las gasolinas oxigenadas con los compuestos MTBE y TAME para mejorar la eficiencia en la combustión.
  - Se introdujo el diesel de bajo azufre con 0.05% en peso.
  - En 1991 el combustóleo pesado (3.8% S) se sustituye por combustóleo ligero (3% S), el cual fue sustituido a la vez por gasóleo (2% S) en 1995.
2. Se introdujo la instalación de 4 tipos de dispositivos anticontaminantes a los vehículos.
  - Convertidores catalíticos de tres vías.
  - Sistemas de reducción de emisiones evaporativas de combustibles.
  - Turbocagadores.
  - Aditamentos electrónicos de encendido e inyección de combustibles.
3. Se establecieron normas más estrictas de emisión de contaminantes vehiculares.
4. Se redujeron las emisiones a la atmósfera de plomo en más del 98%, partículas atmosféricas, bióxido de azufre, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno.
  - Se redujeron los niveles atmosféricos de los contaminantes ambientales. Como consecuencia de la disminución del TEP en gasolinas, disminuyeron significativamente los niveles de plomo en la atmósfera, lo cual se consideró un gran logro en beneficio de la salud pública.
  - Desde 1992 los niveles de bióxido de azufre quedaron por debajo de la norma y el monóxido de carbono solamente la rebasaba esporádicamente.

### **4.3 El Programa para Mejorar la Calidad del Aire, PROAIRE 1995-2000**

A diferencia del PICCA, el Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000 (PROAIRE) planteó por primera vez objetivos cuantitativos en materia de calidad del aire a través de un horizonte de tiempo definido, que se basó en un conjunto de metas, estrategias e instrumentos orientados a la industria, los vehículos, la planeación del desarrollo urbano y al transporte público. Incluyó algunos fundamentos de análisis económico, complementario a los enfoques normativos tradicionales, sobre 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 1995-2000 estuvo enfocado 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 de 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 los hidrocarburos, las medidas implementadas fueron dirigidas a la reducción de las emisiones de estos contaminantes.

### **Objetivos del PROAIRE 1995-2000**

- Lograr gradualmente menores niveles de contaminación durante el día y tener menos contingencias al año, por el abatimiento del 50% de las emisiones de hidrocarburos, 40% de óxidos de nitrógeno y 45% de partículas suspendidas de origen antropogénico, para el año 2000.
- Esto se traduciría en desplazar hacia la izquierda la distribución de frecuencias del IMECA, logrando que la media de esta distribución se reduzca de 170 puntos en 1995 a un nivel de entre 140 y 150 puntos para el año 2000.
- Abatir en un 75% la probabilidad de ocurrencia de contingencias por encima de los 250 puntos, para el año 2000.
- Minimizar el número de días en que efectivamente el índice IMECA supere los 250 puntos.
- Duplicar el número de días en que se cumple la norma de ozono.
- Lograr importantes beneficios para la salud de la población de la ZMVM, esperando para el año 2000, una disminución de más de 300,000 casos de enfermedades respiratorias agudas.

Para lograr este objetivo se definieron las siguientes estrategias y metas.

### **Estrategias del PROAIRE 1995-2000**

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

**Tabla 4.3.1. Acciones relevantes realizadas en la instrumentación del PROAIRE 1995-2000**

Año	Acciones
1995	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PEMEX refinación incorporó sistemas de recuperación de vapores (fase 0), en cuatro terminales de distribución y almacenamiento de gasolina.</li> </ul>
1996	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se creó la Comisión Ambiental Metropolitana.</li> <li>• Se publicó el "Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000".</li> <li>• En la termoeléctrica Valle de México se modificó el diseño del sistema de aire y gases en la combustión de los generadores de vapor.</li> <li>• Se modificó el programa Hoy No Circula, introduciendo los hologramas "1" y "2".</li> <li>• Se aplicó una nueva regulación de gasolinas, limitando de manera importante la presión de vapor, el contenido de olefinas aromáticas, benceno y azufre, para lo cual PEMEX introdujo la gasolina PEMEX Premium.</li> <li>• Se concluyó la instalación de Sistemas de Recuperación de Vapores en tanques de almacenamiento y descarga de combustibles (Fase 0 y 1).</li> <li>• Entra en vigor la Ley Ambiental del Distrito Federal.</li> <li>• Se establecieron los planes de manejo de las áreas naturales protegidas Parque Nacional Bosque de los Remedios y del Parque Estatal Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla.</li> </ul>
1997	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PEMEX puso a la venta la nueva gasolina PEMEX Magna reformulada menos reactiva que sustituyó a la PEMEX Magna.</li> <li>• Se moderniza el Programa de Verificación Vehicular con la medición de 5 gases, incluyendo los NO<sub>x</sub>.</li> <li>• El diesel industrial de 0.5 % de azufre es sustituido por el diesel industrial de bajo contenido de azufre de 0.05 % de azufre.</li> <li>• PEMEX deja de distribuir la gasolina NOVA en la ZMVM.</li> <li>• En diciembre de 1997, PEMEX-Refinación sustituyó en la ZMVM el gasóleo industrial con 2% de contenido de azufre por un combustible industrial cuyo contenido máximo en peso era del 1%.</li> <li>• El Instituto Mexicano del Petróleo emprende la campaña de monitoreo de aerosoles, enfocada a la especiación de partículas PM<sub>10</sub>.</li> <li>• Se pone en marcha el programa de detención y retiro de la circulación de vehículos ostensiblemente contaminantes en la ZMVM.</li> <li>• La Comisión Metropolitana de Transporte y Vialidad (COMETRAVI) presenta la Estrategia Integral de Transporte y Calidad del Aire en la ZMVM.</li> <li>• La Comisión Nacional del Agua efectúa la estabilización de salitres de carbonato de sodio en el ex Lago de Texcoco.</li> <li>• Introducción de transporte eléctrico dedicado a la distribución de refrescos y alimentos perecederos en el primer cuadro de la Ciudad de México.</li> <li>• En el Estado de México se publicó la norma ambiental para la restauración de bancos de materiales pétreos no consolidados.</li> <li>• La CAM da a conocer el Programa Metropolitano de Recursos Naturales.</li> <li>• Se incorpora el holograma "0" al Programa de Verificación Vehicular.</li> <li>• Entra en vigor la Ley de Protección al Ambiente para el Desarrollo Sustentable del Estado de México.</li> </ul>
1998	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se consolida la instalación de sistemas de recuperación de vapores.</li> <li>• Entró en vigor para el sector industrial la aplicación de la segunda etapa de los límites de emisión de la NOM-085-ECOL-1994, los cuales son más estrictos.</li> <li>• Inicia el programa piloto de Gas Natural Comprimido (GNC), para vehículos de pasajeros y de carga de la ZMVM.</li> <li>• El contenido de azufre del combustible industrial que se distribuye en la ZMVM es menor del 1%.</li> </ul>

Año	Acciones
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La RAMA se integra con 32 estaciones automáticas, 19 estaciones manuales, 10 estaciones meteorológicas y 2 unidades móviles.</li> <li>• Se inician las actividades para instalar el sistema de medición de radiación solar UV.</li> <li>• Se fortalece la inspección y la vigilancia de las fuentes industriales de la ZMVM para el cumplimiento de las disposiciones ambientales establecidas en la normatividad.</li> <li>• La Termoeléctrica "Valle de México" disminuye sus emisiones de NO<sub>x</sub> a la atmósfera.</li> <li>• La Central Termoeléctrica "Jorge Luque" deja de consumir combustóleo.</li> <li>• Se impulsó el Programa de Educación Ambiental para la ZMVM con recursos del FIDAM 1490.</li> <li>• Se Inició con recursos del FIDAM 1490 el Programa para el control de la contaminación generada por la actividad artesanal de producción de tabique en los municipios del Valle Cuautitlán – Texcoco.</li> <li>• En el Estado de México se ponen en marcha los programas Creación de Áreas Verdes Urbanas y Manejo de Áreas Naturales.</li> <li>• Se da a conocer el programa de manejo del Parque Estatal Sierra de Guadalupe.</li> <li>• En la zona federal del ex Lago de Texcoco entran en operación sistemas de control hidráulico, dos plantas de tratamiento, se reforestan 500 ha y se da mantenimiento a 200 ha de cortinas rompevientos.</li> </ul>
1999	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se modifica el Programa Hoy No Circula, introduciendo el holograma doble cero.</li> <li>• El GDF hizo entrega de 100 nuevos autobuses que se incorporan al transporte público de pasajeros.</li> <li>• Inicia el Programa Integral de Reducciones de Emisiones Contaminantes (PIREC), para sustituir los convertidores catalíticos.</li> <li>• Se pone en funcionamiento el segundo tramo de de la línea B del Sistema de Transporte Colectivo (METRO), en el tramo Buena Vista a Villa de Aragón.</li> <li>• Se publicó el Programa para Contingencias Ambientales Atmosféricas en la ZMVM.</li> <li>• Se instrumentó el procedimiento para exentar a la industria manufacturera del Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas.</li> <li>• Se implementa el mecanismo para exentar de la verificación vehicular y de las restricciones a la circulación, emitiendo 2 tipos de hologramas doble cero "00" con una vigencia de 2 y 1 año, respectivamente, en función de si se trata de un vehículo particular o de uno de uso intensivo.</li> <li>• De 1996 a 1999 la Secretaría de Comunicaciones y Transportes del Estado de México en el marco del Programa de Renovación del Parque Vehicular de Transporte Público, realiza la renovación de 58,620 unidades.</li> <li>• La Secretaría de Ecología da a conocer el Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio del Estado de México.</li> <li>• En el Estado de México se concluyen las siguientes obras de infraestructura vial: Ampliación de la autopista México-Querétaro a 12 carriles, ampliación de la carretera Lechería-Cuautitlán a 6 carriles, distribuidor Ceylán, distribuidor Hidalgo-San Rafael, ampliación de las avenidas Toluca y Central; puentes vehiculares Benito Juárez, Rosario Castellanos y Carlos Fuentes, la avenida Palo Solo, distribuidor vial 1º de Mayo y Alcanfores.</li> <li>• Se realizó un estudio de evaluación al programa de Verificación Vehicular de la ZMVM.</li> </ul>
2000	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El Gobierno Francés otorgó recursos al D.F. para que 860 microbuses (año modelo 1992 y 1993) del transporte público usaran GNC.</li> <li>• Se amplió el sistema de trolebuses de la Ciudad de México con 200 nuevas</li> </ul>

Año	Acciones
	unidades. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se pone en funcionamiento el segundo tramo de la línea B del Sistema de Transporte Colectivo (METRO), que va de Continentes a Ciudad Azteca.</li> <li>• Se concluyó la instalación de 5 nuevas estaciones meteorológicas de la RAMA: Villa de las Flores, Cuajimalpa, Tlalpan, Chapingo y Tláhuac.</li> <li>• Se instrumentan acciones encaminadas a otorgar incentivos fiscales a fuentes fijas que adquieran, instalen y operen tecnologías, sistemas, equipos y materiales o realicen acciones que acrediten prevenir o reducir las emisiones contaminantes, establecidas por las NOM y las normas ambientales locales.</li> <li>• Se inició la operación de las primeras estaciones de gas natural en la ZMVM.</li> <li>• La Secretaría de Salud opera el Sistema de Vigilancia Epidemiológica en la ZMVM.</li> <li>• Se aprueba el Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal.</li> </ul>
2001	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se ponen en circulación 3,200 unidades vehiculares de uso intensivo con gas natural.</li> <li>• El Gobierno del D.F. incorporó 881 autobuses a la Red de Transporte de Pasajeros y retiró de la circulación 361 autobuses viejos.</li> <li>• Se elaboraron tres estudios de ordenamiento ecológico de la Región del Volcán Popocatepetl y su Zona de Influencia.</li> <li>• El Gobierno del Estado de México inició la recuperación de suelos de la Subcuenca del Río La Compañía.</li> <li>• Se fortalecieron las capacidades técnicas de Inspección de las Secretarías del Medio Ambiente locales.</li> </ul>

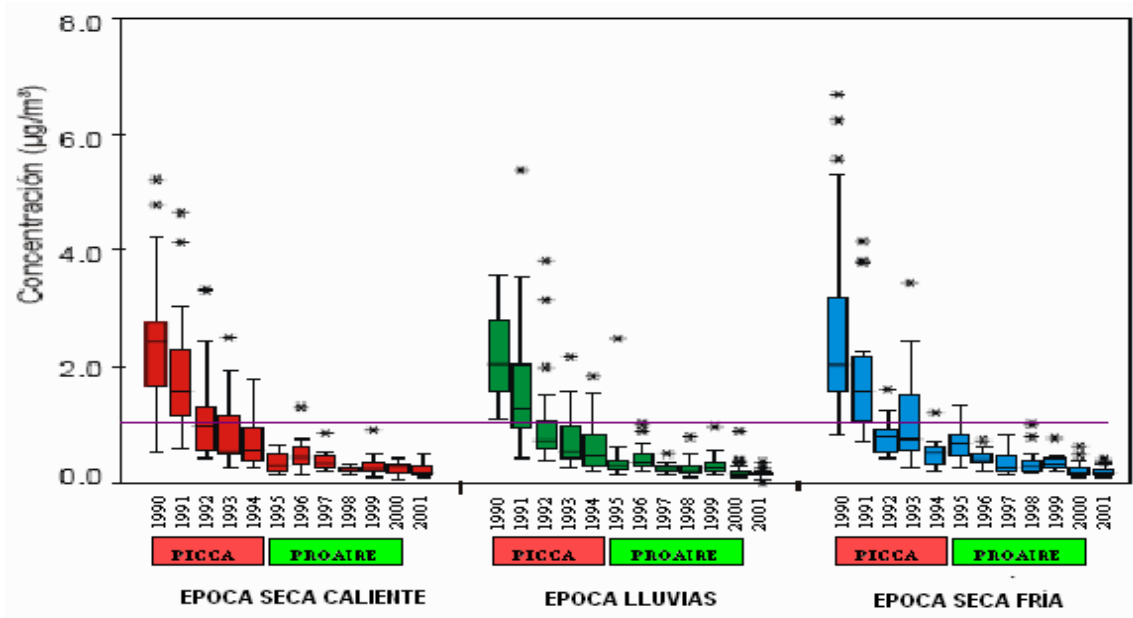
A finales del siglo XX como resultado de las acciones emprendidas por el PICCA y el PROAIRE 1995-2000, se había logrado abatir la concentración del plomo a niveles que cumplieran las normas nacionales e internacionales con reducciones de más del 99% de las registradas en 1988; una situación similar se presentaba para el bióxido de azufre aunque aún se registraban picos de alta concentración en algunas estaciones de monitoreo. Los niveles de monóxido de carbono se habían reducido significativamente y los niveles de ozono dejaron de aumentar, en contraste con la tendencia de principios de la década de 1990.

Como ejemplo, la Gráfica 4.3.1 muestra las concentraciones de plomo en partículas suspendidas totales (Pb-PST) durante los períodos del PICCA y el PROAIRE 1995-2000 para las tres épocas del año, donde es posible observar la reducción de este contaminante por la eliminación del tetraetilo de plomo en gasolinas y el cumplimiento de la norma de 1.5 µg/m<sup>3</sup> aún en la época seca-fría al término de la aplicación del PROAIRE 1995-2000.

De acuerdo con la tendencia de Mann-Kendall para ozono en el período 1995-2000, en un promedio de las cinco estaciones de monitoreo, el porcentaje de decremento de la concentración era del 16.4%.

Los resultados indicaban que a lo largo de la década de los 90, en la ZMVM, se logró un decremento del número de días con concentraciones máximas críticas de O<sub>3</sub> que motivaban la aplicación del Programa de Contingencias Ambientales. Durante la aplicación del PROAIRE 1995-2000, se logró reducir el número de precontingencias por O<sub>3</sub> de 147 en 1995 a 24 en el año 2000. Sin embargo, la norma de O<sub>3</sub> en el año 2000 se rebasaba en más del 80% de los días del año.

**Gráfica 4.3.1. Concentración de Pb-PST en la ZMVM por época climática**



Fuente. SMA-GDF. Informe de la Calidad del Aire de la ZMVM, 2002.

Asimismo, los niveles de partículas atmosféricas también excedían con frecuencia las normas de calidad del aire por lo que se requerían nuevos programas que incorporaran los nuevos conocimientos y técnicas desarrolladas en los últimos años.

#### **4.4 El Programa para Mejorar la Calidad del Aire, PROAIRE 2002-2010**

Al término del PROAIRE 1995-2000 se realizó una recopilación de estudios y se realizaron otros para obtener mayores datos que pudieran ser de utilidad para la elaboración de un nuevo Programa de Calidad del Aire. Entre los estudios realizados durante el PROAIRE 1995-2000, se reportaba que por cada aumento de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en los niveles de ozono se podría 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  $\text{PM}_{10}$  podría 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. Asimismo, se reportaba que 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.

Una de las investigaciones llevadas a cabo fue el "Proyecto para el Diseño de una Estrategia Integral de Gestión de la Calidad del Aire en el Valle de México" donde se destaca la información sobre la naturaleza y magnitud de los efectos a la salud debidos a la exposición de contaminantes atmosféricos (MIT, 2004).

Los gobiernos que integran la Comisión Ambiental Metropolitana asumieron 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.

### **Metas del PROAIRE 2002-2010**

Para cumplir los objetivos del PROAIRE 2002-2010 se establecieron metas relacionadas con las disminuciones que podrían alcanzarse para cada uno de los contaminantes de acuerdo con los compromisos de la CAM y los diversos actores involucrados (Tabla 4.4.1).

**Tabla 4.4.1. Metas establecidas para los contaminantes atmosféricos en el PROAIRE 2002-2010**

<b>Contaminante</b>	<b>Metas</b>
Ozono (O <sub>3</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminar las concentraciones de ozono superiores a 200 IMECA.</li> <li>• Reducir el número de días en que las concentraciones de ozono se encuentren en el intervalo de 101 a 200 IMECA.</li> <li>• Aumentar el número de días con concentraciones de ozono dentro del límite establecido por la norma (100 puntos IMECA o menos).</li> </ul>
PM <sub>10</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar el número de días en que las concentraciones diarias de PM<sub>10</sub> se encuentran dentro del límite establecido por la norma.</li> <li>• Reducir el promedio anual de las concentraciones de PM<sub>10</sub>.</li> </ul>
PM <sub>2.5</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecer oficialmente un límite a la concentración de partículas con un diámetro menor a 2.5 micrómetros.</li> </ul>
Bióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducir las concentraciones promedio diario de bióxido de azufre.</li> <li>• Reducir la concentración promedio anual de SO<sub>2</sub>.</li> <li>• Evitar la ocurrencia de picos extraordinarios asociados con el uso indebido de combustibles de alto contenido de azufre.</li> </ul>
Monóxido de Carbono (CO)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminar las concentraciones de CO que excedan el límite de 9 ppm (promedio de 8 horas).</li> <li>• Reducir las concentraciones de CO.</li> </ul>

Las estrategias que se formularon para cumplir con las metas se integraron en ocho rubros principales, cada uno de ellos con sus respectivas medidas:

1. Reducción de emisiones generadas por el transporte. A través de la modernización y mejoramiento tecnológico, de la capacidad de transporte de pasajeros y carga, de la vialidad y la reducción de la tasa de crecimiento de viajes por persona y distancias recorridas por viaje. Con 38 medidas.
2. Reducción de emisiones en la industria y los servicios. A través de la modernización de la gestión para el control de emisiones y el mejoramiento de la competitividad y la gestión ambiental. Con 16 medidas.

3. Preservación y restauración de los recursos naturales y prevención de la expansión de la mancha urbana. Con 15 medidas.
4. Prevención de la exposición de la población a la contaminación, mediante la evaluación y comunicación de riesgos. Con 8 medidas.
5. Fortalecimiento de la educación ambiental, investigación y desarrollo tecnológico. Con 4 medidas.
6. Fortalecimiento institucional para la gestión de la calidad del aire. Con 8 medidas.

La Tabla 4.4.2 muestra un listado cronológico de las acciones más importantes realizadas durante el período.

**Tabla 4.4.2. Cronología de las acciones más importantes realizadas en el PROAIRE 2002-2010**

Año	Acción
2002	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inicia el Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010.</li> <li>• Se inicia la renovación de la flota vehicular de taxis y sustitución de microbuses.</li> <li>• Se modificó el esquema operativo del programa de sustitución de convertidores catalíticos (PIREC).</li> <li>• Las Secretarías del Medio Ambiente inician el diseño del Sistema de Verificación Vehicular (SIVEV) de la ZMVM.</li> <li>• Se instala el Consejo Asesor del Sistema de Monitoreo Atmosférico.</li> <li>• Inicia la operación del laboratorio de transferencia de estándares para los equipos de monitoreo atmosférico.</li> <li>• Se crean los Comités de Normalización de las Secretarías del Medio Ambiente de los Gobiernos del Distrito Federal y del Estado de México.</li> <li>• Se establece como área natural protegida al parque estatal "Ing. Gerardo Cruickshank García", en Chimalhuacán.</li> <li>• Se implementa el Programa de Manejo del Parque Estatal Sierra Hermosa, en Tecámac.</li> <li>• Con recursos provenientes del Fideicomiso Ambiental del Valle de México se impulsa la instrumentación del RETC.</li> </ul>
2003	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se concluyó el distribuidor vial de San Antonio.</li> <li>• Se construyeron 4 puentes vehiculares que forman parte del Eje troncal Metropolitano Lorenzo Boturini, Fray Servando, Avenida del Taller y el distribuidor vial Zaragoza.</li> <li>• Se reforestaron y rehabilitaron 45 áreas verdes urbanas en los Municipios conurbados de la ZMVM.</li> <li>• Se implementa el Programa de Manejo del Parque Estatal Sierra de Tepozotlán.</li> <li>• Se continúa con el programa para mitigar la emisión de partículas suspendidas en el Valle de México. De manera particular, en la zona federal del ex Lago de Texcoco se construyen 23.8 km de terraplén, se plantaron 360 mil árboles y se construyó un sistema de riego en 400 ha. Anexo al lago de Churubusco se construyeron 3.9 km de terraplenes y se plantaron siete mil árboles.</li> <li>• Se concluyó la primera ciclopista del D.F. a lo largo de 75 kilómetros.</li> <li>• Se realizó el proyecto Diseño de una Estrategia Integral de Gestión de la Calidad del Aire en el Valle de México 2001-2010. "Desarrollo de Información Científica y Sistematización de Metodologías de Evaluación Integrada de Políticas y Opciones para el Mejoramiento de la Calidad del Aire".</li> </ul>



Año	Acción
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se inaugura el Parque Ecológico Arcos del Sitio localizado en el Parque Estatal Sierra de Tepozotlán.</li> </ul>
2004	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se actualizó el Programa Hoy No Circula, haciendo más estrictos los criterios de exención.</li> <li>• Se adquieren 100 unidades nuevas de RTP además de que el 70% fueron renovadas en los últimos cuatro años.</li> <li>• Se realizan cambios al software de verificación con el objeto de evitar la manipulación de los motores por parte de los preverificadores y para identificar convertidores catalíticos en mal estado.</li> <li>• Se concluye la implantación del Sistema de Verificación Vehicular (SIVEV) en el D.F.</li> <li>• Se inauguró la red de monitoreo de partículas menores a 2.5 micrómetros PM<sub>2.5</sub>.</li> <li>• Se publica la norma técnica NTEA-002-SEGEM-AE-2004, que regula la exploración, explotación y transporte de materiales pétreos; instrumento que coadyuva en la prevención y recuperación de suelos erosionados del Estado de México.</li> <li>• Se establece como área natural protegida, con la categoría de "parque estatal santuario del agua" a la Presa Guadalupe, ubicada en los municipios de Cuautitlán Izcalli y Nicolás Romero; y a las Lagunas de Xico, en Valle de Chalco.</li> </ul>
2005	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se construyó el corredor confinado para el transporte de pasajeros sobre la vialidad de Avenida Insurgentes (Metrobús).</li> <li>• Se sustituyeron en todas las líneas de verificación, parte de los sistemas de análisis de gases contaminantes, para incluir mecanismos de seguridad.</li> <li>• Se publicó la NOM 042 para asegurar que los vehículos nuevos que se comercialicen en México presenten niveles de emisión hasta 4 veces más bajos a los actuales, equivalentes a las normas de EUA (TIER 2) y Europeas (EURO IV).</li> <li>• Finalizó la renovación de los autobuses de la RTP, con la cual el 100% de los vehículos actuales son unidades con tecnología anticontaminante disponible en el país.</li> <li>• Con apoyo de la EPA se realizó el proyecto piloto de RETROFIT en autobuses de la RTP, para reducir más del 90% en las emisiones de partículas utilizando filtros de partículas y diesel de ultra bajo contenido de azufre.</li> <li>• Para la recuperación de suelo se construyeron 49 presas de infiltración, gavión y mampostería en 2 áreas naturales protegidas en la ZMVM: Sierra de Guadalupe y Sierra de Tepozotlán.</li> <li>• Se da a conocer el Programa de Desarrollo Forestal Sustentable del Estado de México 2005-2025, del cual a su vez se derivan los programas "Reforestación y Recuperación de Microcuencas" y "Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos", los cuales inciden en la creación, el cuidado y mantenimiento de los reservorios para la captación de los GEI.</li> </ul>
2006	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se concluyó el segundo piso de San Antonio a San Jerónimo.</li> <li>• Se inauguró el distribuidor vial Ermita Iztapalapa– Eje vial 3 Oriente.</li> <li>• Se publicó la NOM-086, que establece las condiciones fisicoquímicas que deberán cumplir los combustibles en la ZMVM.</li> <li>• Se publicó la Norma NADF-008-AMBT-2005, para el aprovechamiento de la energía solar.</li> <li>• PEMEX inicia en la ZMVM el suministro de gasolina Premium UBA, de ultrabajo contenido de azufre.</li> <li>• Se publicó la norma NADF-001-RNAT-2006 que establece los requisitos que se deben cumplir para la poda, derribo trasplante y restitución de árboles en el D.F.</li> <li>• Se realizó la campaña y estudios MILAGRO para caracterizar los contaminantes atmosféricos.</li> <li>• Se ajustaron y disminuyeron los niveles IMECA para la aplicación del Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas para ozono y PM<sub>10</sub>.</li> </ul>

Año	Acción
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se publicaron las normas locales que establecen los requisitos para elaborar el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA).</li> <li>• Se realizó el Estudio Integral Metropolitano de Transporte de Carga y Medio Ambiente para el Valle de México.</li> <li>• Se construye el Centro de Capacitación para la Sustentabilidad Ambiental de la Sierra Nevada: Incalli Ixcahuicopa en el oriente del Valle de México.</li> <li>• La SMAGEM rehabilita 45 áreas verdes urbanas en 15 municipios conurbados de la ZMVM.</li> <li>• Se expide el Código para la Biodiversidad del Estado de México.</li> <li>• Se publica la norma técnica NTEA-005-SMA-RN-2005, que establece las especificaciones y criterios que deben observarse para el desarrollo de acciones y usos compatibles sustentables en las áreas naturales protegidas del Estado de México.</li> <li>• Se concluyó la primera etapa de saneamiento de los sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos Neza II y Neza III en Nezahualcóyotl, así como el de Chimalhuacán.</li> <li>• Se incentiva el uso de vehículos híbridos gasolina-eléctricos en el Valle de México.</li> <li>• Se publica la norma técnica estatal NTEA-004-SMA-DS-2006, que establece las especificaciones de protección al ambiente que deberán seguir las estaciones de servicio.</li> <li>• En el Valle de México se decretaron 7 ANP como santuarios del agua con una extensión de 140,572 ha.</li> <li>• Se realizó la construcción de 45 presas filtrantes en los parques estatales Sierra de Guadalupe y Sierra de Tepoztlán.</li> <li>• Se pone en operación el tramo de la vialidad del Arco Norte que abarca el entronque de Jilotepec, Estado de México hasta Tula, Hidalgo.</li> </ul>
2007	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entró en vigor la norma NOM-041-SEMARNAT-2006 que establece límites de emisión más estrictos a los vehículos en circulación.</li> <li>• Se publicó la NOM-045-SEMARNAT, referente a la opacidad de humo de vehículos a diesel.</li> <li>• Se firma convenio de la primera etapa para el Tren Suburbano Sistema I y II.</li> <li>• Se terminó el distribuidor vial Zaragoza.</li> <li>• Entran en operación tres nuevas estaciones de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico: Acolman, Chalco e Iztacalco.</li> <li>• A partir del segundo semestre del 2007 se modificó el esquema de asignación de hologramas a vehículos eliminándose el holograma de verificación número 1.</li> <li>• Los gobiernos que integran la Comisión Ambiental Metropolitana implementaron un mecanismo para la regulación de emisiones de vehículos con placas de otras entidades que circulan en la ZMVM.</li> <li>• Se obtuvo financiamiento de parte del Banco Mundial para la realización del plan estratégico para la creación de una red de ciclovías en la Ciudad de México.</li> <li>• Se inició el proyecto "Muévete en Bici", como parte del Programa de Movilidad no Motorizada.</li> <li>• Se publicó la norma local NADF-010-AMBT-2006 que establece el método de prueba para determinar la eficiencia de los sistemas de recuperación de vapores de gasolina.</li> <li>• La SMA del Distrito Federal fortaleció el programa ostensiblemente contaminante con 30 patrullas.</li> <li>• Se publicaron la Agenda Ambiental y el Plan Verde de la Ciudad de México.</li> <li>• El Metrobús recibió el primer pago por reducciones de las emisiones de CO<sub>2</sub>.</li> <li>• Se inició la formación de 8 cuerpos de agua en el Parque Estatal Cerro Gordo en el oriente del Valle de México para la mitigación de partículas suspendidas.</li> <li>• Con recursos del Fondo Metropolitano, se reparó el puente vehicular Monte</li> </ul>

Año	Acción
	<p>Líbano. Asimismo, se inició la construcción de un distribuidor en el Bordo de Xochiaca, en Nezahualcóyotl, y un puente vehicular en el municipio de La Paz.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se realiza la construcción, modernización y ampliación de carreteras destacando las de Romero-Villa del Carbón-Jilotepec, Chalco-Tláhuac, Chalco-Huitzilzingo, Tlalnepantla-Villa del Carbón y Zumpango-Los Reyes.</li> <li>• Se publica el Programa Especial de Transporte Masivo del Estado de México, el cual incluye 3 líneas de trenes suburbanos y 4 de corredores con vehículos de alta capacidad.</li> <li>• Se establece el acuerdo para crear el corredor Ciudad Azteca-Tecámac, atendido por vehículos de alta capacidad y en carriles exclusivos.</li> <li>• Se instrumenta el Programa de Eficiencia Energética y bajas emisiones para vehículos nuevos en la ZMVM, con el refrendo del holograma "00" hasta por dos ocasiones.</li> <li>• Inicia la operación del Circuito Exterior Mexiquense.</li> <li>• Se celebra el convenio entre la SMAGEM y la Cámara Regional de la Industria Arenera para el control de las partículas.</li> </ul>
2008	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se publicó la NADF-011-AMBT-2007 que establece límites máximos permisibles de emisiones de COV por fuentes fijas en el Distrito Federal.</li> <li>• Se realizaron actualizaciones y modificaciones al PCAA en el que se establecen la reducción gradual de los límites de activación de precontingencia y contingencia por ozono y PM<sub>10</sub> en la ZMVM.</li> <li>• Inicia operaciones el Tren Suburbano Buenavista-Cuautitlán.</li> <li>• Se inaugura la Línea 2 del Metrobús, Tacubaya-Tepalcates.</li> <li>• Se implementan siete medidas para reducir la contaminación del aire: Extensión del HNC a los sábados, se reduce la edad máxima a 8 años para que los vehículos obtengan el holograma "0", reforzamiento de verificación vehicular a transporte de carga y a operativos de retiro a vehículos contaminantes, auditorías a verificadores y restricción de circulación a vehículos de otras entidades o del extranjero que no porten holograma "0" o "00" y ajuste a los niveles de activación de las contingencias y precontingencias ambientales atmosféricas de la ZMVM.</li> <li>• Los gobiernos del Distrito Federal y del Estado de México acuerdan la homologación del programa de verificación vehicular.</li> <li>• Se inicia la generación de electricidad a pequeña escala con energía solar.</li> <li>• Se establece el programa de mejoramiento y recuperación de espacios públicos y adopción de espacios verdes.</li> <li>• Se presentó el Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2008-2012.</li> <li>• Se publicó la Norma NADF-013-RNAT-2007, que establece las especificaciones técnicas para la instalación de sistemas de naturación.</li> <li>• Se inició el Plan Estratégico para la Creación de una Red de Ciclovías en la Ciudad de México.</li> <li>• Se construyó el vivero regional tecnificado "Los Insurgentes Bicentenario" en el parque estatal Sierra Hermosa.</li> <li>• Se construyó el Centro Ecoturístico y Educación Ambiental Sierra de Guadalupe en el municipio de Coacalco.</li> </ul>

**2009**

- Pemex inicia el suministro a la ZMVM de gasolina Pemex Magna y Pemex Diesel de ultrabajo contenido de azufre.
- Se inicia construcción de ampliación del Metrobús en Insurgentes.
- Se inicia la construcción de la línea 12 del Metro que correrá de Mixcoac a Tláhuac 24 km.
- Se redujeron los límites de activación del PCAA por ozono y PM<sub>10</sub> en la ZMVM.
- Inició actividades la policía ambiental para proteger el suelo de conservación.
- Se otorga el holograma "0" a vehículos a diesel con tecnología Euro III o superior.
- Inicia el programa para sustitución de vehículos con placas federales.
- Se proponen 11 corredores para Mexibús en los municipios conurbados del Estado de México.
- Se inaugura el corredor Cero Emisiones en el Eje Central con trolebuses eléctricos, limitando la circulación de vehículos de carga de 7:00-22:00 hs y sacando de la circulación a los microbuses.
- Se inicia el servicio expreso en 10 rutas de autobuses del D.F.
- Se puso en marcha la primera etapa del Mexipuerto Ciudad Azteca Bicentenario.
- Se inauguró la primera etapa del Viaducto Elevado Bicentenario Toreo-Lomas Verdes en el Estado de México.
- Inició el programa de vivienda sustentable que contempla el calentamiento de agua con energía solar.
- Se publicó el acuerdo para el Programa de Transporte Escolar del Distrito Federal.
- Se conformaron los planes maestros de rescate integral de los ríos Magdalena y Eslava.
- Se puso en operación el primer tren suburbano Cuautitlán–Buenavista.
- La SMAGEM puso en marcha el proyecto de recuperación y fijación de suelo en sub-cuenca del río Papalotla.
- Se construyó un sistema de riego por goteo en la zona aledaña a "El Caracol" en el municipio de Ecatepec.
- Se fortaleció y puso en marcha el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes RETC en la ZMVM.
- Se implementó el Programa de Fortalecimiento de Capacidades Técnicas para la Prevención y Combate de Incendios Forestales en Áreas Naturales Protegidas de la ZMVM.
- Se publica la "Iniciativa ante el Cambio Climático en el Estado de México".
- Entra en operación la autopista urbana Naucalpan-Ecatepec, con 6 km.
- Se da a conocer el Programa de Conservación y Manejo del Parque Estatal y Santuario del Agua Presa Guadalupe, en el norponiente del Valle de México.
- Se pone en operación la estación de transferencia multimodal Ciudad Azteca, en Ecatepec.
- Se pone en operación el tramo de la vialidad del Arco Norte que abarca desde el entronque de Jilotepec – Tula – Pachuca – Tulancingo - Puebla.
- Se recuperan 46 hectáreas del tiradero de basura Neza 1, con la construcción de un centro de desarrollo económico, deportivo, cultural, y de servicios denominado Ciudad Jardín Bicentenario en el oriente del Valle de México.
- Se lleva a cabo la consolidación y renovación física del Circuito Interior del D.F.

**2010**

- Inicia el Sistema de Transporte Público Individual ECOBICI de la Ciudad de México.
- Inicia la operación de la línea 3 del Metrobús.
- Se crea el Centro Virtual de Cambio Climático de la Ciudad de México (CVCCCM).
- Se puso en operación un Sistema Telemático de Monitoreo Ambiental en las ANP ubicadas en los municipios conurbados del Valle de México.
- Se concluyeron los trabajos de recuperación y fijación de suelo en la sub-cuenca del río San Juan Teotihuacán que tiene un impacto en la reducción de partículas suspendidas en el Valle de México.
- Se concluyó la Evaluación Integral de los Programas de Verificación Vehicular Obligatoria de la Zona Metropolitana del Valle de México.
- La SMA del Estado de México fortalece el "Programa Vehicular de Reducción de Contaminantes" con la operación de 36 patrullas ecológicas de bajo consumo de combustible, equipadas con analizadores de gases.
- Se publica el acuerdo por el que se crea el corredor Chimalhuacán – Nezahualcóyotl – Pantitlán, atendido con autobuses de alta capacidad circulando en carriles exclusivos.
- Se inaugura el Parque Ambiental Melchor Ocampo, ubicado en el norte del Valle de México.
- Se inaugura el Parque Ecológico Ehécatl en el municipio de Ecatepec.
- En materia de salud ambiental, se publica la norma oficial mexicana NOM-022-SSA1-2010, que establece los criterios para evaluar la calidad del aire ambiente respecto al SO<sub>2</sub>.
- Inician actividades los centros de educación ambiental para el cambio climático en el Estado de México, los cuales forman parte de la red mundial de las "Casas de la Tierra".
- Inicia operaciones la primera línea de Mexibús Cd. Azteca-Tecámac en el Estado de México.
- La Secretaría de Transporte del Estado de México de 2005 al 2010, renueva 52,000 unidades de transporte público en sus distintas modalidades.
- Se inaugura la segunda etapa del Viaducto Elevado Bicentenario Lomas Verdes-Cuautitlán en el Estado de México.

#### **4.5 Evaluación del PROAIRE 2002-2010**

En términos de la mejora de la calidad del aire, el PROAIRE 2002-2010 arrojó los siguientes resultados:

1. Aunque el ozono sigue siendo el principal problema de contaminación atmosférica en la ZMVM, las tres metas establecidas en el PROAIRE 2002-2010 para este contaminante se alcanzaron: se eliminaron las concentraciones de ozono superiores a 200 IMECA; se redujo en forma considerable el número de días con concentraciones de ozono entre 101-200 IMECA y han aumentado paulatinamente los días con buena calidad del aire.
2. Para las PM<sub>10</sub> se registra una tendencia general decreciente en todos los indicadores de este contaminante. Sin embargo aunque ha disminuido el número de eventos extraordinarios registrados por PM<sub>10</sub> en la ZMVM, la meta de no rebasar el promedio anual de 50 µg/m<sup>3</sup> no se cumple en todas las estaciones.
3. Se cumplió la meta de implementar la norma para PM<sub>2.5</sub> en 65 µg/m<sup>3</sup> promedio de 24 horas y de 15 µg/m<sup>3</sup> promedio anual. Este contaminante ha tenido una reducción gradual en todos sus indicadores desde 2004 que se comenzó a medir y para fines del 2009, la norma de 24 horas se cumple todos los días del año, pero no se ha logrado el objetivo de alcanzar los 15 µg/m<sup>3</sup> de promedio anual.
4. Las metas de reducir las concentraciones promedio diario de dióxido de azufre y reducir la concentración promedio anual se alcanzaron desde el año 2003 ya que a partir del mismo no se ha presentado ninguna excedencia. Sin embargo, no se ha logrado eliminar la presencia en forma esporádica de picos horarios con concentraciones mayores a 0.2 ppm en las zonas industriales de la ZMVM.
5. Se cumplió la meta de reducir las concentraciones de CO ya que desde 2002 se ha tenido una reducción neta hasta 2008 de alrededor del 40% y una reducción acumulada desde 1989 superior al 70%.

Por lo que se refiere a la reducción de emisiones por la aplicación de acciones contenidas en el PROAIRE 2002-2010, se estimaron reducciones de 5,078 ton/año de partículas PM<sub>10</sub>, 506 ton/año de SO<sub>2</sub>, 817,132 ton/año de CO, 64,779 ton/año de NO<sub>x</sub> y 85,706 ton/año de COV.

#### **Recomendaciones**

En 2009 la SEMARNAT financió un estudio de evaluación del desarrollo de las acciones y medidas aplicadas en el PROAIRE 2002-2010 (Mugica, 2009), en el cual se hicieron las siguientes recomendaciones:

##### **a) Para el mejoramiento de la calidad del aire y protección de la salud**

- Seguir priorizando las reducciones de ozono, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>.
- 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 COV, hidrocarburos y NO<sub>2</sub> (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  $\text{NO}_x$  y  $\text{NO}_2$ .

- En cuanto a las  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$ , 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 el IMECA para  $\text{PM}_{2.5}$  y los métodos de referencia y equivalentes para ambos tamaños de partícula.
- Eliminar los eventos extraordinarios de  $\text{SO}_2$  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. Asimismo, 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. Asimismo, 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 de costo-beneficio que además de determinar el gasto asociado a servicios de salud, estimen la pérdida económica por inasistencias y pérdida de productividad.
- 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,  $\text{NO}_2$  y  $\text{SO}_2$  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.
- Los futuros programas de gestión de calidad del aire deben incluir programas de monitoreo de los contaminantes tóxicos presentes en la ZMVM.

#### **b) Para los vehículos y transporte**

- Es necesario seguir impulsando la renovación del parque vehicular, incluyendo la flota vehicular gubernamental.
- Se deberá continuar promoviendo la sustitución y chatarrización de taxis e insistir en la construcción de bases para evitar que estas unidades 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 en toda la ZMVM para que se puedan introducir vehículos con las últimas tecnologías anticontaminantes, por lo que se deberá insistir con PEMEX en cuanto al cumplimiento de esta medida.
- 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.
- Se debe seguir promoviendo la sustitución de los microbuses por transporte de alta capacidad. Se deberá continuar la realización de pruebas sobre nuevas tecnologías vehiculares menos contaminantes principalmente en vehículos de transporte público.
- Se debe continuar promoviendo los sistemas de transporte de alta capacidad, como el Metro y el tren suburbano que incentiven a los propietarios de autos privados y/o usuarios de microbuses a modificar su forma de transporte.
- 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 coordinación entre los gobiernos locales es fundamental para homologar el servicio y costo del transporte público de baja, mediana y alta capacidad para que la ZMVM 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.



- 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. Además 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.

### **c) Para la industria y los servicios**

- El incentivo actual de la exención de las industrias 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 de 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 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. Asimismo, 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 sobre sus sistemas de control de contaminantes, sus emisiones a la atmósfera y la forma en que están impactando a toda la ZMVM.
- De la misma forma en que se hizo la recomendación para la industria, es importante que los gobiernos que integran la CAM fomenten y promuevan 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 COV.
- 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. 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 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.

#### **d) Para la conservación de los recursos naturales**

- Es prioritario el cumplimiento estricto de la normatividad en cuanto al ordenamiento ecológico, uso de suelo y contención de la mancha urbana.
- Es necesaria la recuperación de una mayor superficie de áreas verdes en la ZMVM, tanto de zonas urbanas como de rurales y de áreas naturales protegidas.
- 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 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.

#### **e) Para la educación ambiental**

- La educación ambiental debe ser incluida formalmente en todos los niveles de educación escolar. Para ello, se debe diseñar una agenda de educación ambiental en la ZMVM con las instituciones educativas.
- 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 no formal, 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 alcanzar el desarrollo sustentable de la ZMVM.

- Se debe fomentar la participación de las empresas de 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.
- Es importante la promoción de campañas de uso de la bicicleta y la caminata, no solamente como una alternativa al transporte contaminante, sino porque promueve una actitud de protección al ambiente asociada a una vida saludable.

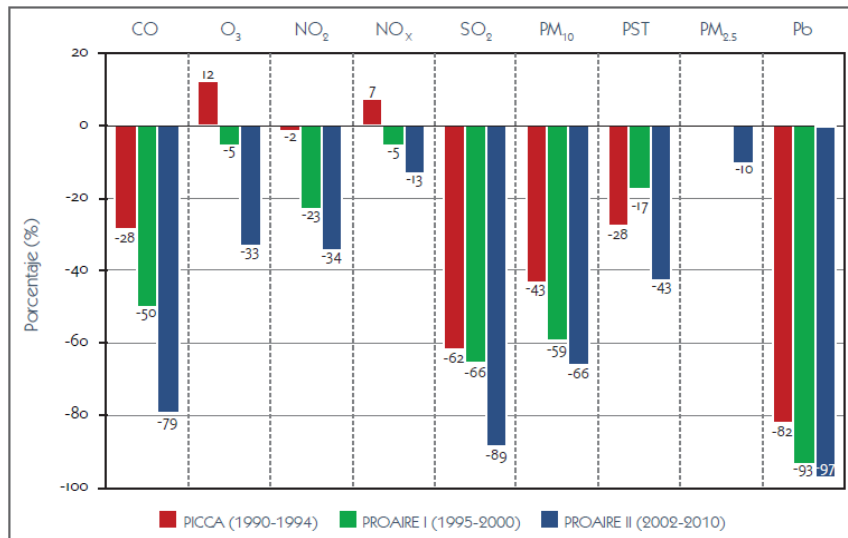
**f) Para el fortalecimiento institucional**

- El Sistema de Monitoreo Atmosférico deberá ampliar su cobertura en la ZMVM de tal forma que los 59 municipios conurbados queden cubiertos 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.
- El inventario de substancias tóxicas debe ampliarse en el número de compuestos químicos, de modo que se incluyan 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 COV, algunos de los cuales son tóxicos además de ser importantes precursores del ozono.
- En cuanto a la publicación bienal de los Inventarios de Emisión de Contaminantes Criterio, que constituye una herramienta 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 costo de las medidas ambientales 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.
- Se recomienda que se realicen 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.
- Reactivación del Fideicomiso Ambiental 1490.

#### 4.6 Tendencias en la calidad del aire durante la instrumentación de los Programas de Calidad del Aire PICCA, PROAIRE 1995-2000 y PROAIRE 2002-2010

La Gráfica 4.6.1 muestra la reducción porcentual efectiva de la concentración de los contaminantes al instrumentar los programas para mejorar la calidad del aire de la ZMVM, tomando como base el promedio anual de 1989 y su actualización al año 2009. Se puede observar que en ese periodo el monóxido de carbono (CO) disminuyó un 79%, el ozono (O<sub>3</sub>) 33%, el bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) 13%, los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) 13%, el bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) 89%, las partículas PM<sub>10</sub> 66%, las partículas PST 43%, las partículas PM<sub>2.5</sub> 10% y el plomo (Pb) 97%.

**Gráfica 4.6.1. Porcentaje de reducción efectiva de la concentración de los contaminantes al instrumentar los programas de calidad del aire, tomando como base la concentración promedio anual de 1989 y su actualización a 2009**



Fuente: Informe de la Calidad del Aire 2009, SMA-D.F., 2010.



# Capítulo 5

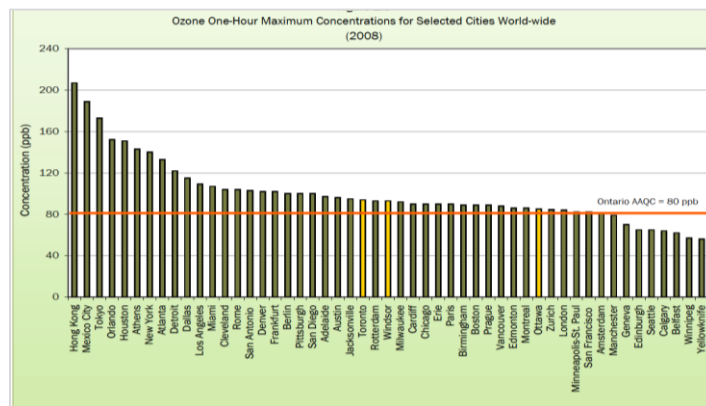
## Experiencias internacionales en gestión de la calidad del aire

Este capítulo resume algunos de los ejemplos y experiencias internacionales exitosas de gestión de la calidad del aire que fueron revisadas con el propósito de retomar algunas ideas que pueden ser de utilidad para la ZMVM. La exploración de las medidas aplicadas advierte de una amplia variedad de casos en la configuración de políticas y acciones locales, pues éstas responden a combinaciones particulares de las características fisiográficas y meteorológicas de las ciudades; al menú de tecnologías disponibles; a las diferencias culturales y de diseño institucional en materia de administración pública; al grado de desarrollo económico y a las variaciones en el tipo e intensidad de las diferentes actividades productivas y sociales. Esta revisión constata la importancia de continuar reforzando acciones convencionales como las planteadas en los PROAIRE anteriores y fortalece la necesidad de innovar con medidas que incidan sobre las relaciones estructurales existentes entre la organización de las actividades productivas, culturales y sociales de las ciudades y la generación de todo tipo de contaminantes atmosféricos, medidas que son todavía muy escasas a nivel internacional.

### 5.1 La calidad del aire de la ZMVM en el contexto internacional

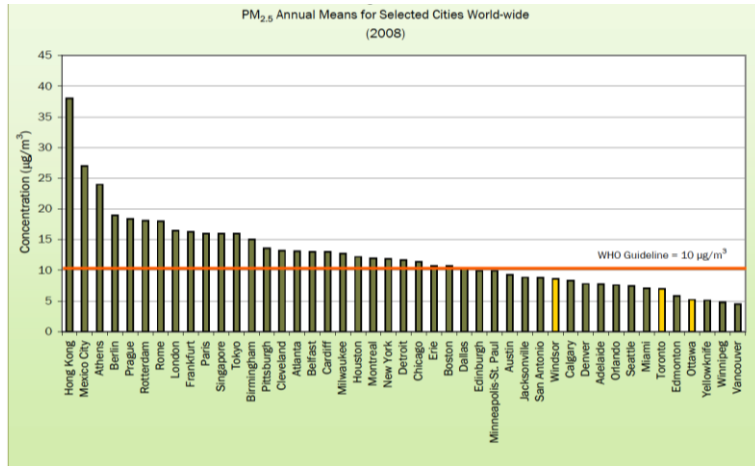
Para situar el estado de la calidad del aire de la ZMVM en el contexto internacional, se presentan las Gráficas 5.1.1 a 5.1.6 en las que se comparan las concentraciones de ozono, de  $PM_{2.5}$ , de dióxido de nitrógeno, de monóxido de carbono y de dióxido de azufre entre 51 ciudades seleccionadas que tienen programas de calidad del aire consolidados (Ontario, 2008).

**Gráfica 5.1.1. Máximas concentraciones horarias de ozono para algunas ciudades del mundo**



Fuente: Air Quality in Ontario, 2008 Report.

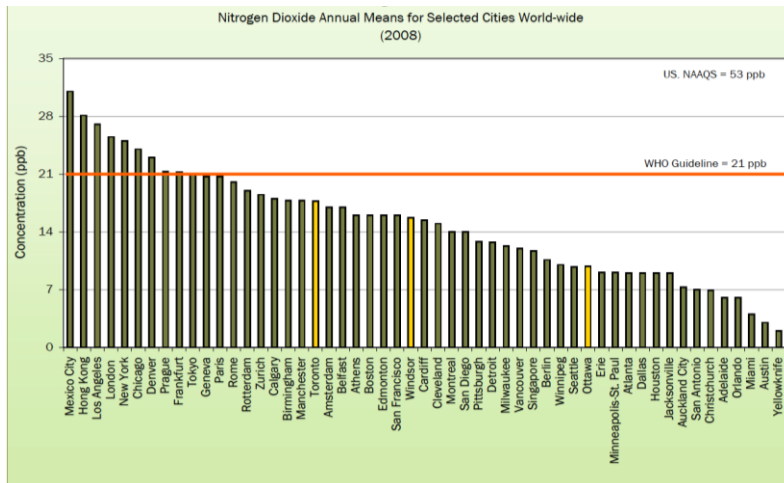
**Gráfica 5.1.2. Concentraciones medias anuales de PM<sub>2.5</sub> para algunas ciudades del mundo**



Fuente: Air Quality in Ontario, 2008 Report.

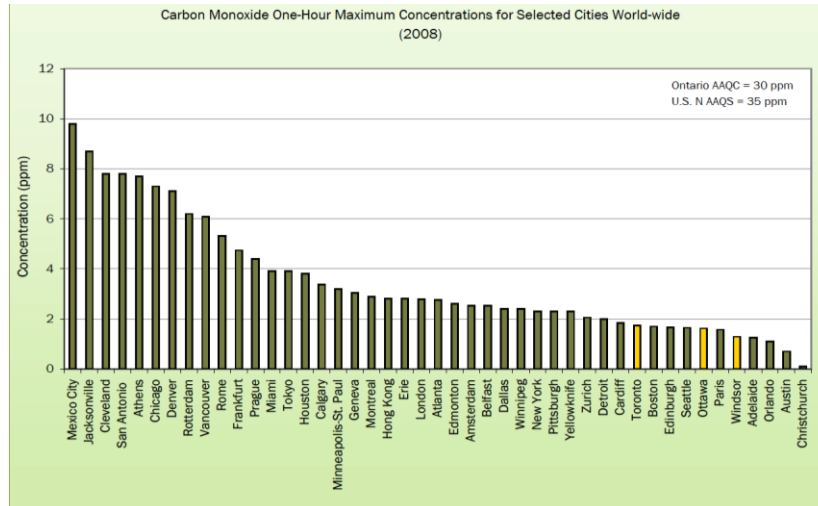
Se puede observar que la posición de la ZMVM, salvo en el caso del SO<sub>2</sub>, representa los índices de concentración más altos, o los segundos más altos, para el año 2008. Esto refuerza el argumento ya mencionado en el sentido de que si bien es cierto que las tendencias de los contaminantes criterio en la ZMVM han ido a la baja en los últimos años, las concentraciones siguen estando en niveles altos en el contexto internacional.

**Gráfica 5.1.3. Concentraciones medias anuales de NO<sub>2</sub> para algunas ciudades del mundo**



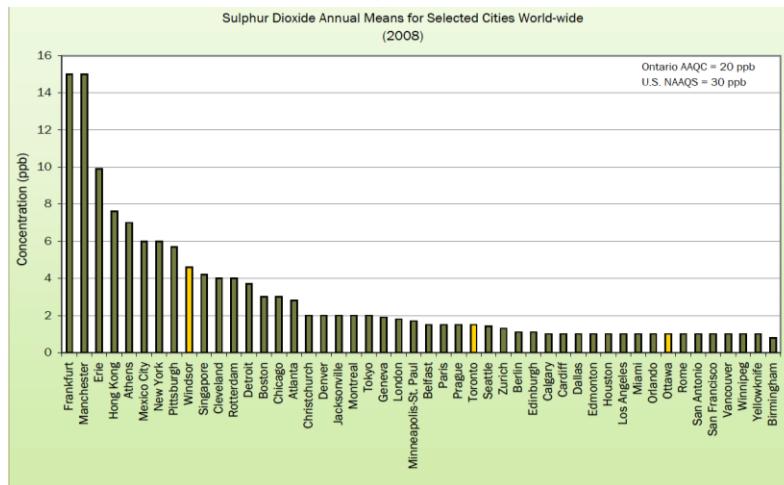
Fuente: Air Quality in Ontario, 2008 Report.

### Gráfica 5.1.4. Concentraciones medias anuales de CO para algunas ciudades del mundo



Fuente: Air Quality in Ontario, 2008 Report.

### Gráfica 5.1.5. Concentraciones medias anuales de SO<sub>2</sub> para algunas ciudades del mundo



Fuente: Air Quality in Ontario, 2008 Report.

## 5.2 La gestión de la calidad del aire en ciudades seleccionadas

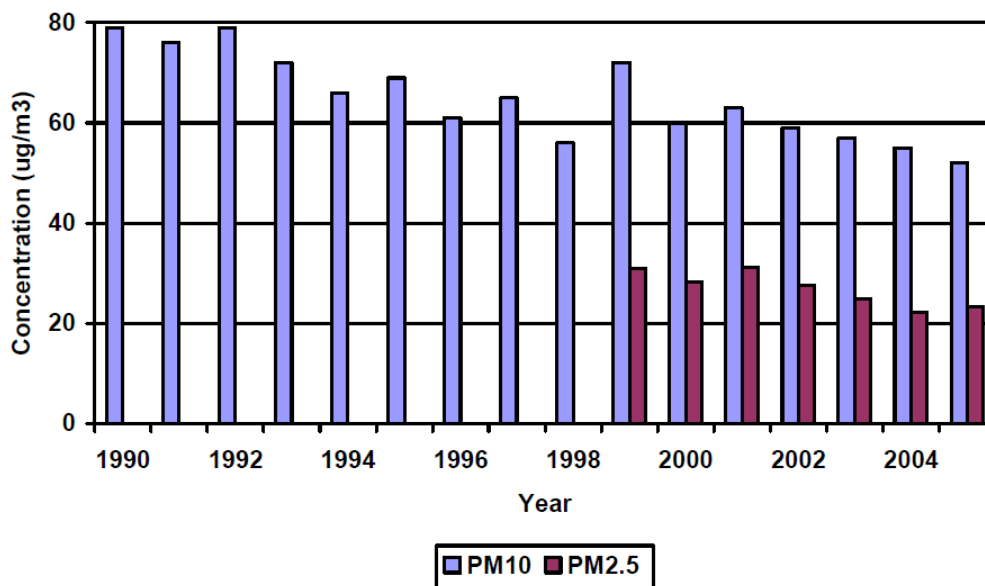
El menú de acciones y medidas aplicadas en otras ciudades es muy amplio y abarca aspectos relacionados con calidad de combustibles, regulación industrial, control de la circulación vehicular, normatividad, sistemas de información en tiempo real, sistemas de verificación vehicular, instrumentos económicos y medidas de promoción del transporte público, entre otros. En cuanto a las ciudades seleccionadas, se presentan los casos de Los Ángeles y Nueva York en los Estados Unidos, de Toronto en Canadá, de São Paulo, Brasil, de Santiago de Chile y de Berlín, Alemania.



## Los Ángeles, California

Desde el punto de vista de la gestión de la calidad del aire, a la gran zona metropolitana que rodea a la ciudad de Los Ángeles se le identifica como la Cuenca Atmosférica de la Costa Sur del estado de California (SoCAB, South Coast Air Basin). Si bien es una zona con problemas de contaminación atmosférica (circulan en ella más de 10 millones de vehículos a gasolina y 250 mil a diesel) la SoCAB se ha distinguido desde hace lustros por estar a la vanguardia internacional en gestión de la calidad del aire. Las partículas  $PM_{10}$  y el CO han disminuido durante la última década, el máximo de  $O_3$  disminuyó de 500 ppb en 1980 a menos de 200 ppb en el año 2000. Sin embargo, las concentraciones de  $O_3$  se han estabilizado recientemente y sus estimaciones indican que éstas podrían incrementarse como resultado del crecimiento poblacional y del aumento de kilómetros recorridos por el parque vehicular.

**Gráfica 5.2.1. Concentraciones máximas anuales de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  en la SoCAB**

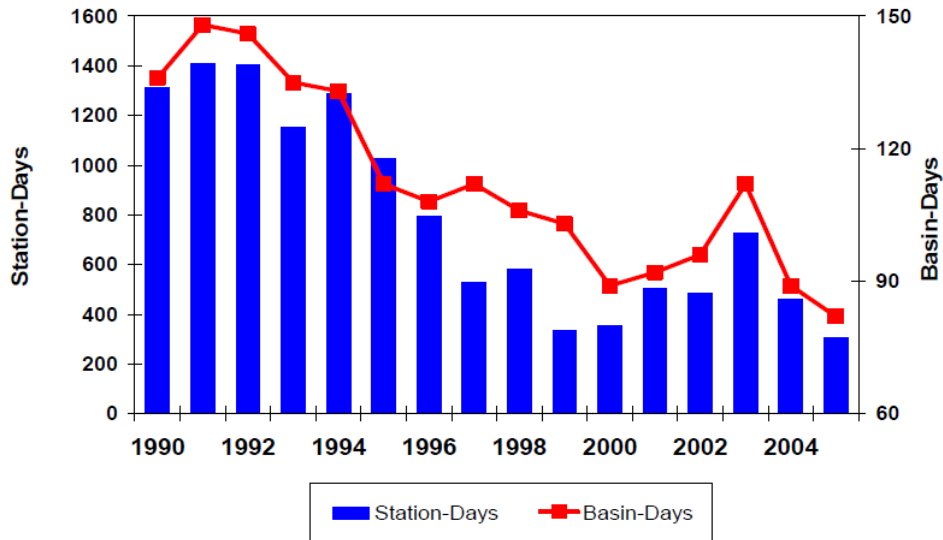


Fuente: Air Quality Management Plan, 2007, SoCAB.

Para hacer frente a los problemas de la contaminación atmosférica, la SoCAB publicó en 2007 su más reciente plan de gestión de la calidad del aire (Air Quality Management Plan). El plan establece que el cumplimiento de la norma de  $PM_{2.5}$  se deberá alcanzar en el 2015 y el de la norma de 8 horas de ozono en el 2024. Para lograr esas metas propone básicamente las medidas siguientes:

1. Modernización de plantas industriales ( $NO_x$ , COV,  $PM_{2.5}$ ).
2. Eficiencia y conservación energética
  - Atenuar la isla de calor urbana (todos los contaminantes).

**Gráfica 5.2.2. Número de días por arriba de la norma federal de ozono para 8 horas en la SoCAB**



Fuente: Air Quality Management Plan, 2007, SoCAB.

### 3. Gestión de buenas prácticas

- Mejorar la detección y reparación de fugas de COV
- Reducción de emisiones de COV de la transferencia y venta de gasolina
- Reducción de emisiones de COV en tuberías y en tanques de almacenamiento de desgasificación
- Dispositivos de control de partículas  $PM_{2.5}$  en industrias (casas de bolsas, lavadores húmedos, precipitadores electrostáticos y otros dispositivos)
- Reducción de emisiones de COV y  $PM_{2.5}$  en el compostaje de residuos vegetales
- Mejorar la puesta en marcha de equipos, paros y otros procedimientos (todos los contaminantes).

### 4. Incentivos de Mercado / Flexibilidad en Cumplimiento

- Programa de certificación de recubrimientos limpios(COV)
- Reducciones adicionales del programa de  $SO_x$  para el mercado regional de incentivos de aire limpio (RECLAIM) con la mejor tecnología de control disponible (BARCT)
- Programas de incentivos económicos (todos los contaminantes)
- Programa piloto para refinerías de petróleo (COV y  $PM_{2.5}$ ).

### 5. Programas de fuentes de área

- Reducción de COV emitidos por lubricantes
- Certificación de productos de consumo y de reducciones de emisiones de COV del uso de productos de consumo en instalaciones comerciales e institucionales

- Reducciones de emisión de COV debidas a la disminución del contenido de COV en productos de consumo no regulados por el estado de California
- Reducción de emisiones de COV del asfalto
- Reducción de NO<sub>x</sub> en hornos y secadores
- Reducción adicional de NO<sub>x</sub> en otros secadores
- Nuevas especificaciones del gas natural (todos los contaminantes)
- Programa de control localizado de fuentes críticas de emisiones de PM<sub>2.5</sub>
- Reducción de PM<sub>2.5</sub> en estufas y quemadores que usan madera
- Reducciones adicionales de emisiones de PM<sub>2.5</sub> de la norma 444 de quemas abiertas
- Reducciones de partículas de asados de carne en parrillas
- Reducción de emisiones de COV del estiércol
- Cuotas de emisiones del Acta de Aire Limpio para las principales fuentes fijas (COV, NO<sub>x</sub>).

#### 6. Gestión del crecimiento de emisiones

- Reducciones de emisiones de NO<sub>x</sub>, COV y PM<sub>2.5</sub> de proyectos nuevos o rediseñados
- Mitigación de emisiones de proyectos con permisos federales.

#### 7. Programas de fuentes móviles

- Cuotas de mitigación para fuentes federales (todos los contaminantes)
- Medidas para fuentes indirectas de emisiones de puertos e instalaciones relacionadas (todos los contaminantes)
- Reducción de emisiones del Programa Carl Moyer (NO<sub>x</sub>, PM<sub>2.5</sub>)
- Programa de identificación de vehículos de carga ligeros altamente contaminantes (NO<sub>x</sub>, COV)
- Programa de identificación de vehículos de carga medianos altamente contaminantes (NO<sub>x</sub>, COV)
- Reducciones asociadas a las estrategias de calentamiento global (todos los contaminantes).

### **Nueva York**

Posee el sistema de transporte público más largo de Norte América con cerca de 250 rutas y 14,000 estaciones y tiene el índice más bajo de automóviles per cápita. Su principal problema de contaminación es el de partículas, derivado del alto consumo de diesel. En los últimos años han bajado la cantidad de azufre en el diesel y se han enfocado en el desarrollo de tecnologías para reducir la cantidad de partículas y NO<sub>x</sub>. Las partículas suspendidas provienen en un 52% de la combustión del diesel.

El programa de control de emisiones más exitoso es el de diesel limpio para camiones de transporte público, cuyos logros se muestran en la Gráfica 5.2.3.

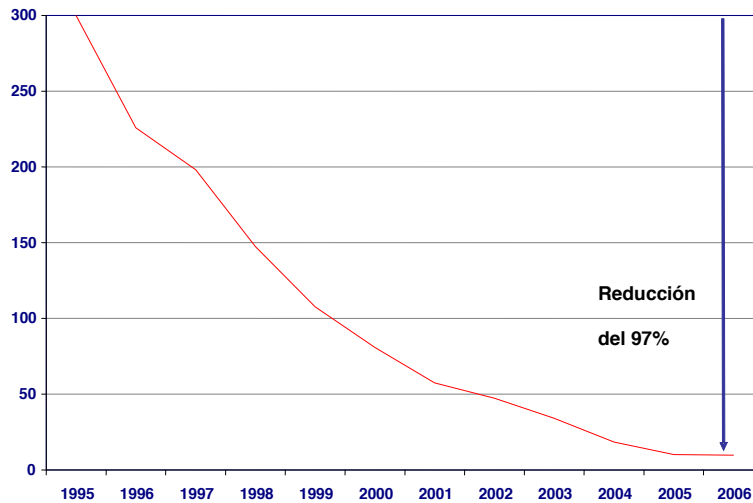
El programa fue planteado de la siguiente manera:

*Meta 1:* Establecer los objetivos tecnológicos y de rendimiento de combustible sin condicionamientos tecnológicos o de combustibles *a priori*, lo cual permitió desarrollar programas para todas las tecnologías de punta y los combustibles disponibles.

*Meta 2:* Reducir las emisiones de todo el parque de transporte público lo más rápido y de la manera más costo-efectiva posible, lo cual requirió evitar costos innecesarios de infraestructura y mejorar la eficiencia del sistema.

*Meta 3:* Crear un programa que fuese escalable y replicable en otros lugares y que sentara las bases para su aplicación a nivel nacional.

**Gráfica 5.2.3. Emisiones anuales de partículas suspendidas de la flota de camiones de transporte público de la ciudad de Nueva York, en ton/año**



Fuente: Kassel, 2009.

Los elementos clave del programa 2000-2004 fueron:

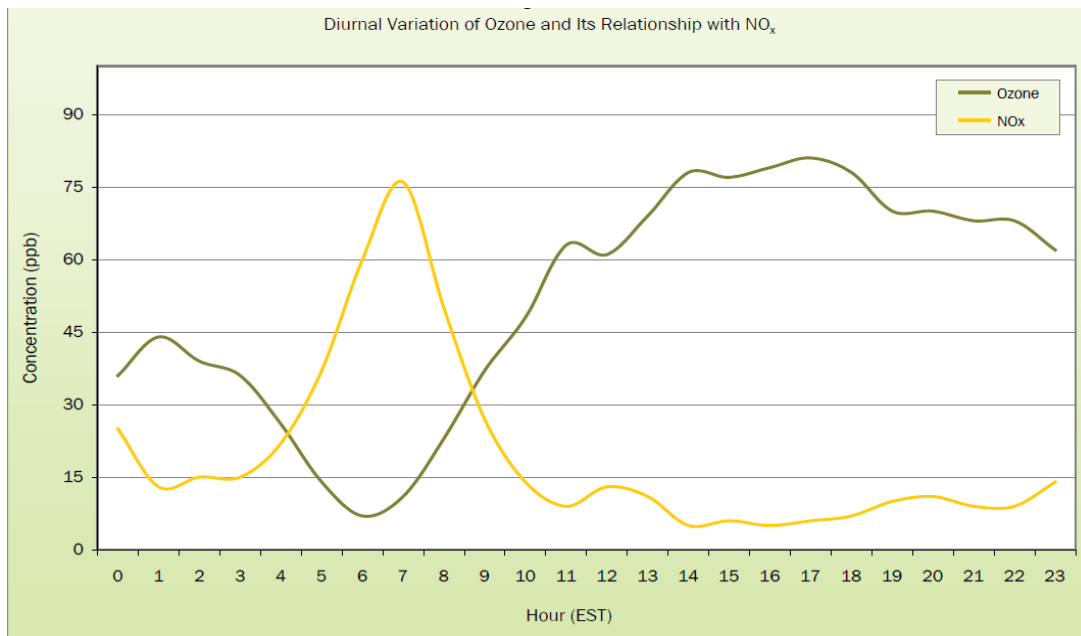
1. Retiro anticipado de operación de los motores a diesel de dos tiempos.
2. Diesel de ultra bajo azufre disponible en el otoño de 2000.
3. Más de 3,200 nuevos autobuses comprados (incluyendo 600 de GNC y 825 Híbridos-eléctricos).
4. Más de 4,000 reconversiones de filtros de partículas (retrofit).
5. Firma de un acuerdo de camiones limpios con los puertos de Nueva York y Nueva Jersey, que incluye a los 16,000 camiones que trabajan en las terminales. El acuerdo tiene dos fases:
  - Fase 1: A partir del 1º de Enero de 2011 no se permite el uso de vehículos anteriores a 1994.

- Fase 2: A partir del 1° de Enero de 2017 no se permitirá el acceso de vehículos que sean anteriores a 2007.
6. Se están creando incentivos financieros y operativos para ayudar a los propietarios de camiones, como préstamos a bajo interés y subsidios privilegiados para cambios fast-track.
  7. Aplicación de la ley de Nueva York sobre vehículos en ralentí: no más de 3 minutos en general y no más de 1 minuto en ralentí, si se está cerca de una escuela.

### Área Mayor de Toronto y Región Central de Ontario, Canadá

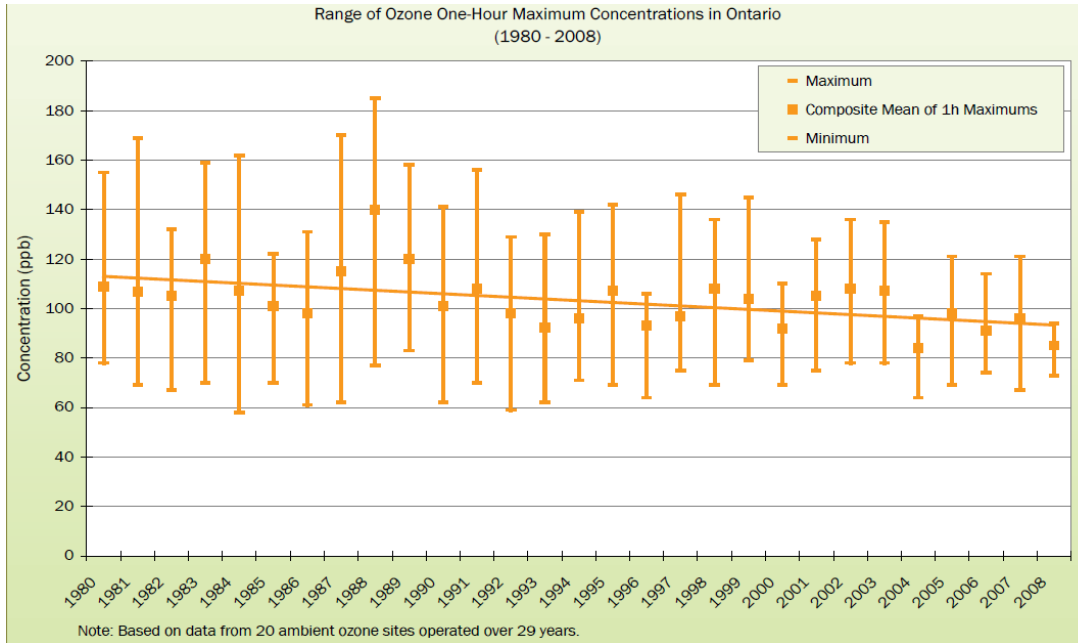
La Región Central de Ontario (COR, *Central Ontario Region*) está formada por la región metropolitana de Toronto. Su situación no es crítica en términos de calidad del aire, pero desde hace varios años aplican medidas estrictas para el combate de la contaminación atmosférica (Gráficas 5.2.4, 5.2.5 y 5.2.6).

**Gráfica 5.2.4. Relación horaria entre NO<sub>x</sub> y ozono en Ontario**



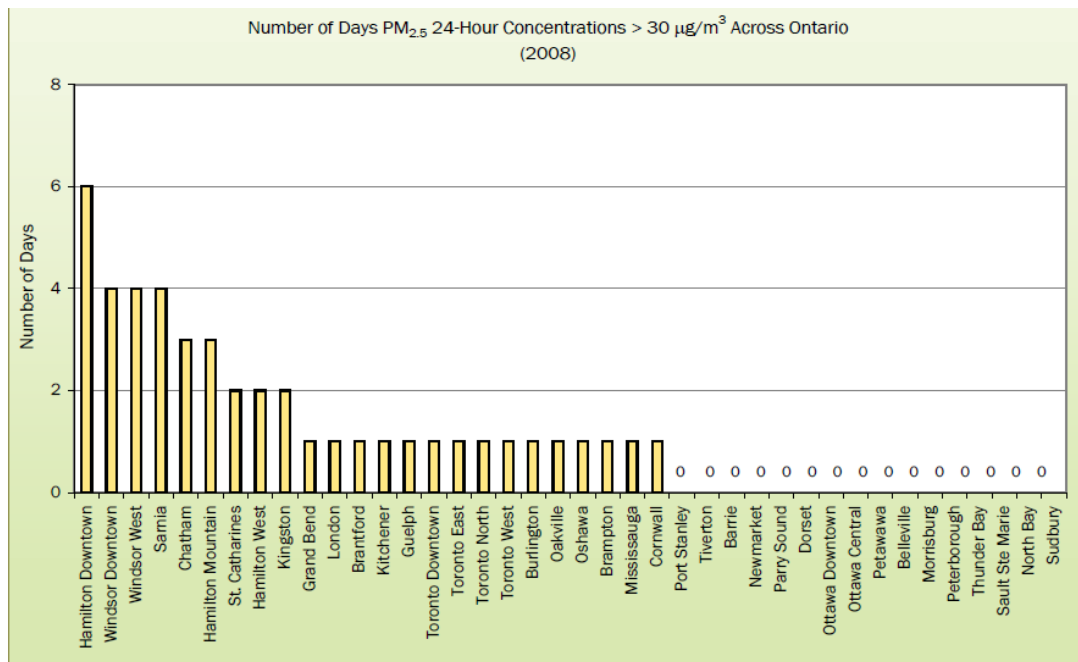
Fuente: Air Quality in Ontario, 2008 Report.

**Gráfica 5.2.5. Concentraciones horarias máximas de ozono en Ontario (1980-2008)**



Fuente: Air Quality in Ontario, 2008 Report.

**Gráfica 5.2.6. Número de días en los que las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> en 24 hrs. son mayores de 30 µg/m<sup>3</sup> en centros de población de Ontario, en 2008**



Fuente: Air Quality in Ontario, 2008 Report.

Los principales componentes de la estrategia para combatir la contaminación atmosférica de Ontario son:

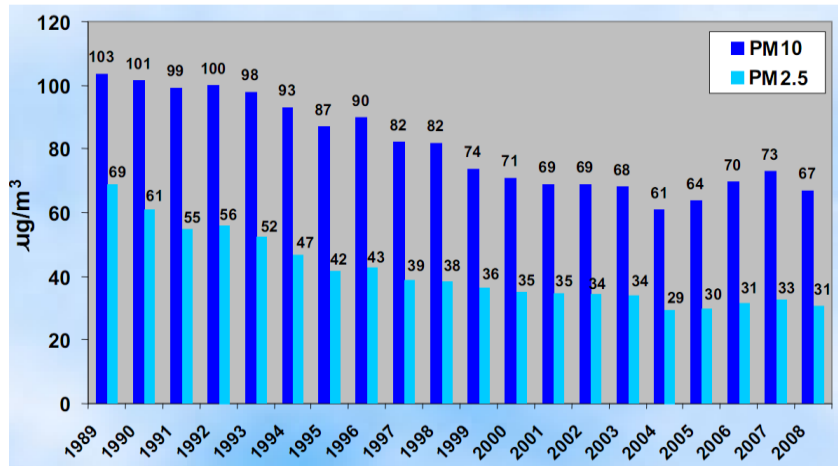
1. El artículo noveno de su instrumento legal de protección al ambiente (Ontario's Environmental Protection Act) requiere que todas las instalaciones que tienen el potencial de emitir contaminantes al medio ambiente tienen que solicitar autorización del Ministerio de Medio Ambiente para hacerlo.
2. Se ofrece información por internet en tiempo real del Índice de Calidad del Aire (AQI) y del Programa de Alerta de Smog.
3. Existe un programa de inspección de emisiones y de mantenimiento de vehículos.
4. El instrumento denominado Ontario Regulation 194/05 establece límites estrictos de emisiones de NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub> para la industria.
5. El instrumento denominado Ontario Regulation 419/05 establece las normas de calidad del aire para las sustancias tóxicas para proteger a las comunidades locales.
6. El instrumento denominado Ontario Regulation 397/01 establece techos de emisión de NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub> en el sector eléctrico.
7. El instrumento denominado Ontario Regulation 127/01 exige que las instalaciones con sede en Ontario que emiten ciertas cantidades de sustancias específicas deben notificar sus emisiones al gobierno y al público en general.

### **Santiago de Chile**

La capital de Chile ocupa aproximadamente 135 km<sup>2</sup> y tiene una población de más de 5.3 millones, que representa casi el 40% de la población del país. Se localiza en un valle, a una elevación de 520 metros sobre el nivel medio del mar. El clima en Santiago es mediterráneo: los veranos son cálidos y secos con temperaturas que alcanzan los 35 °C. Los patrones topográficos y meteorológicos restringen la ventilación y dispersión de los contaminantes dentro del valle, haciendo que Santiago sea particularmente susceptible a una calidad pobre de aire ambiente, especialmente durante el invierno (abril a septiembre).

Desde el principio de la década de 1990, el gobierno chileno ha tomado numerosos pasos para mitigar los niveles de contaminación del aire. Estos pasos incluyen un sistema de alerta de contaminación basado en la máxima concentración de partículas (Gráfica 5.2.7), un calendario rotatorio que restringe el número de vehículos permitidos en las calles y la modernización del sistema de transporte público de la región metropolitana. Santiago también ha participado en el programa internacional de ciudades limpias del Departamento de Energía de los Estados Unidos para incrementar el uso de combustibles alternativos en el transporte público.

**Gráfica 5.2.7. Evolución de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> en la ciudad de Santiago de Chile**



Fuente: Comisión Metropolitana de Santiago, 2009.

En 1998 se comenzó con un plan de gestión ambiental a largo plazo para reducir las emisiones de sustancias dañinas emitidas a la atmósfera y cumplir así con las normas de calidad de aire vigentes en Chile, al que se le llamó Plan de Prevención y Descontaminación para la Región Metropolitana (PPDA), el cual comprende las siguientes medidas:

1) Renovación en transporte

- Retiro de 2,700 buses sin sello verde al 2004.
- TranSantiago: Sistema de Transporte Público de Santiago.
- Norma Euro III avanzada y EPA98.
- Renovación de camiones, Norma Euro III y EPA98.
- Incorporación de sistemas de post-tratamiento.
- Nuevas normas de ingreso para vehículos livianos y medianos.

2) Mejoramiento de los combustibles

- Reducción de la cantidad de azufre en el diesel de 300 ppm a 50 ppm y mejora de la gasolina y gas licuado.

3) Nuevas normas para la industria

- Asignación de cuotas de emisión de PM<sub>10</sub> y NO<sub>x</sub> al sector industrial, correspondientes al 50% de las emisiones base 1997.
- Programa de reducción de óxidos de azufre en los procesos que más emiten.
- Norma de emisión de monóxido de carbono.
- Norma de emisión de óxidos de azufre.

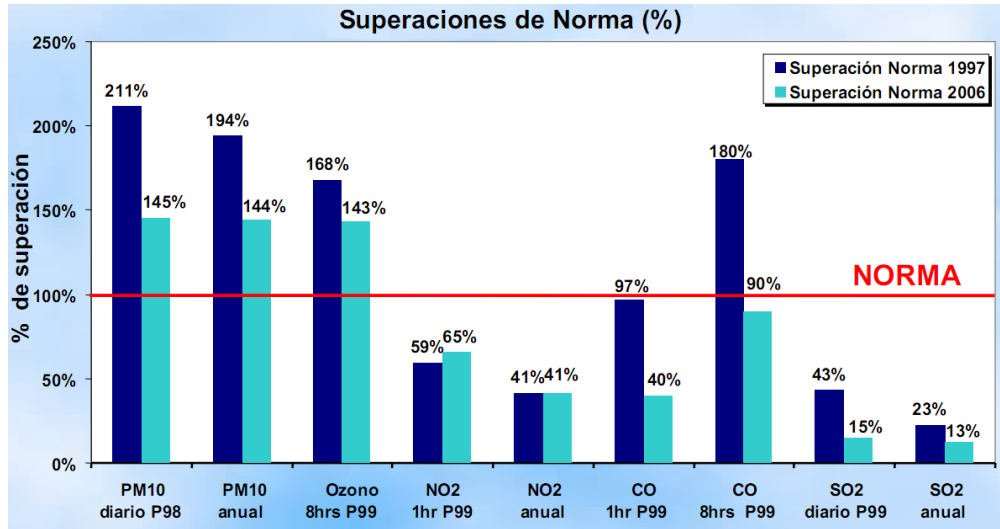
4) Control de polvo y manejo de áreas verdes.

5) Programas de medición para evaluar el PPDA.



En la Gráfica 5.2.8, se muestran los avances obtenidos a partir de la instauración del PPDA, en la ciudad de Santiago de Chile.

**Gráfica 5.2.8. Resultados de la aplicación del PPDA**

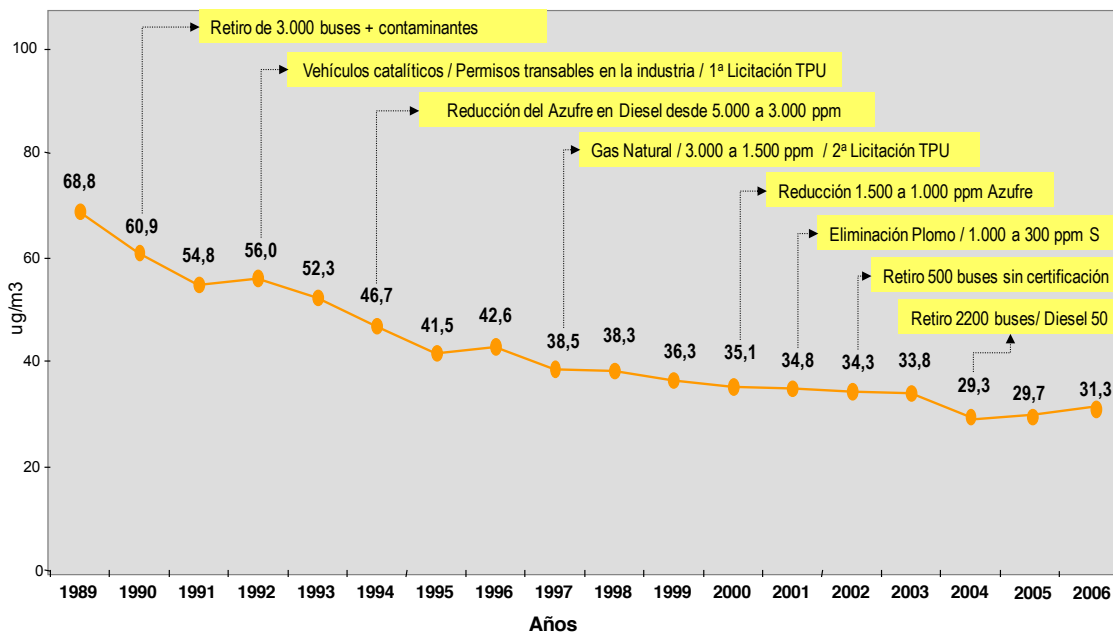


Fuente: Comisión Metropolitana de Santiago, 2009.

Logros principales del PPDA (ver Gráfica 5.2.9):

- Para PM<sub>10</sub>, se ha reducido un 57% del total requerido para el cumplimiento de la norma anual y de un 50% para el cumplimiento de la norma diaria.

**Gráfica 5.2.9. Medidas aplicadas para el control de PM<sub>2.5</sub> y evolución de las concentraciones en Santiago de Chile**



Fuente: Comisión Metropolitana de Santiago, 2009.

- Para el material particulado fino (PM<sub>2.5</sub>), desde el año 1990, se ha logrado una reducción desde 69 a 33 µg/m<sup>3</sup> promedio anual (52%).
- Para el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), la región metropolitana ya no se encuentra en estado de latencia.
- Para monóxido de carbono (CO), la situación de saturación en sus normas de 1 hora y de 8 horas, ya no se verifica; no obstante, se mantiene el estado de latencia para la norma de 8 horas.
- En ozono se ha logrado una reducción de un 32% del total requerido para alcanzar el cumplimiento de la norma de 8 horas vigente (datos al año 2006).
- Para el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), las concentraciones registradas se han mantenido en cumplimiento de norma, aunque registran una reducción significativa producto del PPDA.

### **São Paulo, Brasil**

El área mayor de São Paulo tiene más de 20 millones de habitantes repartidos en 39 municipalidades que cubren casi 8,000 km<sup>2</sup>, a una elevación de 800 metros sobre el nivel medio del mar. Posee una flota vehicular de alrededor de 9 millones de vehículos, de los cuales 7.4 millones son de ciclo Otto, repartidos en 70% gasohol (gasolina con 23% de etanol), 12% etanol y 18% flex fuel (vehículos que funcionan con gasolina o alcohol). La flota se completa con 490,000 vehículos a diesel y 1.2 millones de motocicletas.

El combustible más usado en Brasil es el gasohol y una fracción pequeña de la flota de automóviles funciona con etanol. Como consecuencia de ello en su atmósfera se encuentran altas concentraciones de aldehídos, particularmente de acetaldehído (entre 6 y 11 ppm) y de formaldehído (HCHO, 4-8 ppm) (Grosjean D., 1990), (Tanner P.L., 1988), además de los altos niveles que se suelen tener de O<sub>3</sub> y PM<sub>10</sub>.

El estándar de 24 horas de 150 µg/m<sup>3</sup> para PM<sub>10</sub> se excede frecuentemente, principalmente durante el invierno. En esta última temporada, capas poco profundas de inversión atrapan contaminantes dentro del rango de los 200-400 metros durante varios días, resultando en concentraciones elevadas de contaminantes. Las emisiones vehiculares son responsables de un 35% de PM<sub>10</sub>, mientras que las emisiones industriales son responsables del 25%, el polvo resuspendido del 20% y los sulfatos secundarios de otro 10%.

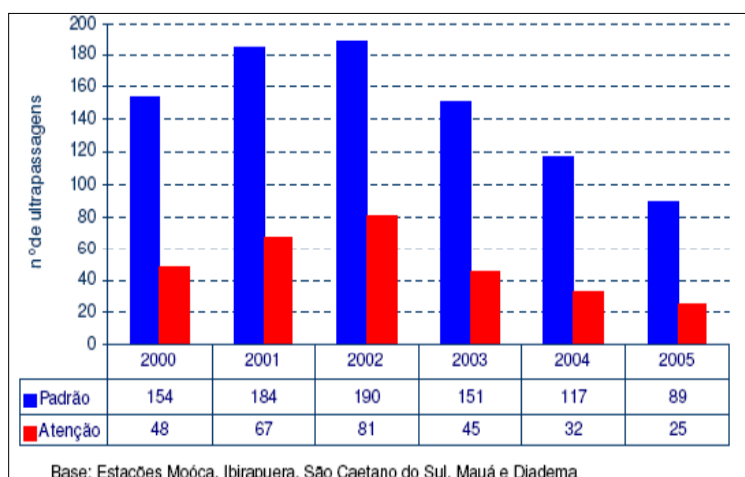
En la Gráfica 5.2.10, se muestra el número de días al año en los que se excedió la norma para ozono; las barras rojas indican el número de días críticos y las azules los días en los que los valores se excedieron poco.

Medidas adoptadas:

#### *A nivel federal*

- Normas para vehículos pesados: Euro V a partir de 2012
- Normas para automóviles: Euro V a partir de 2013/14
- Normas para motocicletas: Euro III a partir de Enero de 2009
- Inventario nacional de fuentes móviles, Marzo de 2010
- Mejora de la calidad de los combustibles
- Política nacional para el cambio climático.

**Gráfica 5.2.10. Número de días del año que exceden la norma de ozono en São Paulo**



Fuente: Ibsen, 2009.

A nivel estatal

- Inventario estatal de fuentes móviles y fijas, Marzo de 2010
- Proyecto "etanol verde" para reducir la quema de paja de caña de azúcar
- Política estatal para el cambio climático (20% de reducción en la emisión de GEI)
- Proyecto "Respira São Paulo":
  - ✓ Campañas de sensibilización para los conductores de vehículos
  - ✓ Verificación de motores para camiones y autobuses
  - ✓ Intensificación de la fiscalización de los vehículos diesel en las carreteras (humo negro)
  - ✓ Fiscalización de emisiones con opacímetro en las calles
  - ✓ Expansión de la red de monitoreo de la calidad del aire.

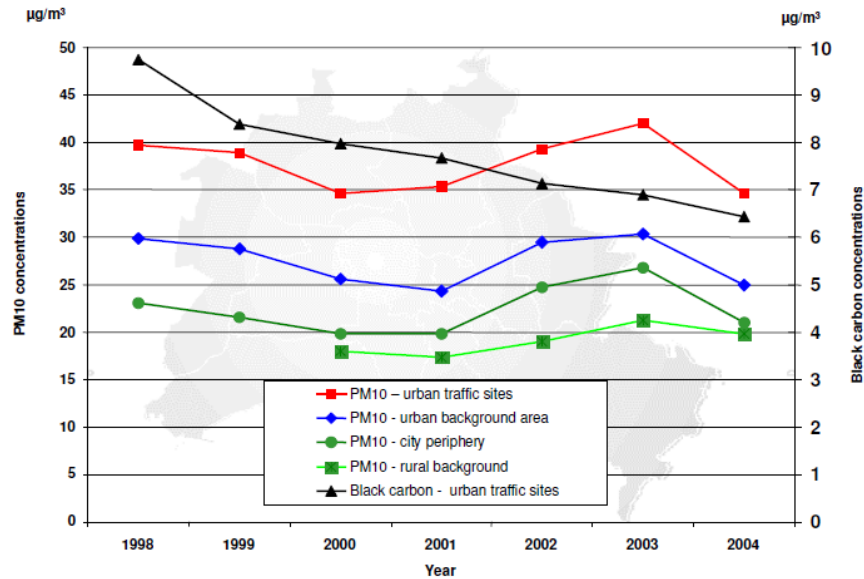
### **Berlín, Alemania**

El plan de calidad del aire de Berlín menciona, adicionalmente al grupo de medidas similares a las mencionadas en los apartados anteriores, un paquete de acciones incorporadas en el Plan de Desarrollo Urbano y de Transporte de Berlín (Stadtentwicklungsplan (StEP)-Verkehr) para apoyar el logro de las metas de reducción de emisiones contaminantes (Gráfica 5.2.11).

Publicado en 2003, el StEP se distingue por ser uno de los primeros planes que reconoce explícitamente las relaciones que hay entre el desarrollo urbano, el transporte y la emisión de contaminantes. Si bien sus propuestas son sencillas y no plantea grandes transformaciones estructurales, por lo menos establece la necesidad futura de limitar el aumento del tráfico a través de la planificación integral para la ciudad y la región, planear un transporte integrado a la política de asentamientos humanos, desarrollar el concepto de "ciudad compacta" orientada hacia el uso intensivo de trenes, mejorar

gradualmente la gestión de estacionamientos para reducir el gran número de vehículos en búsqueda de un lugar de estacionamiento y fomentar que los viajeros puedan hacer transferencias a modos de transporte no contaminantes. Sobre los estacionamientos sugiere la gestión de la demanda con tarifas diferenciadas.

**Gráfica 5.2.11. Tendencias en concentraciones de PM<sub>10</sub> y carbón negro en Berlín**

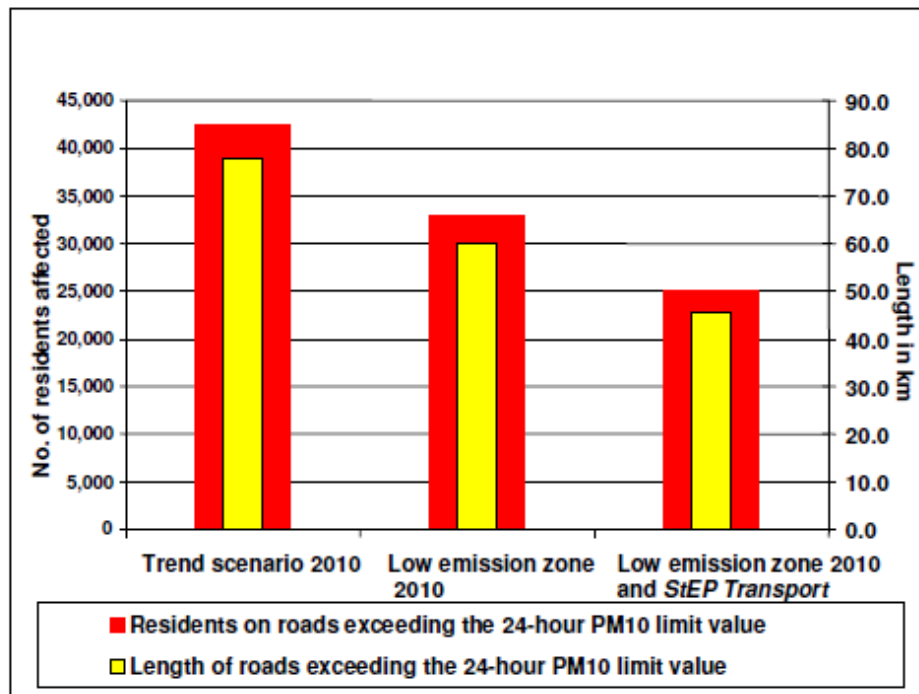


Fuente: Clean Air and Action Plan for Berlin 2005 – 2010.

La Gráfica 5.2.12 ilustra los beneficios estimados para tres escenarios en una zona modelada, denominada "Großer Hundekopf", en la que se mantiene un estado de baja emisión como consecuencia de dos condiciones: todos los vehículos deben cumplir al menos la norma Euro III y tener un retrofit con filtro de partículas. El primer escenario es el tendencial, el segundo es el resultado de la aplicación de las medidas tecnológicas mencionadas y el tercero es la combinación de este último más las medidas de desarrollo urbano propuestas.

La columna de la derecha corresponde a la suma de los efectos obtenidos de las medidas tecnológicas más los efectos estimados de la aplicación de las medidas de desarrollo urbano. Lo que muestran las barras se refiere, primero, a la reducción esperada del número de residentes afectados por valores de PM<sub>10</sub> que exceden la norma correspondiente, y segundo, la longitud de las vialidades en las que esto sucede. Comparada con el escenario tendencial, esta opción reduce en más de 15,000 el número de personas afectadas y aproximadamente 30 km de vialidades primarias. Esto es, los beneficios de este tipo de combinación de medidas pueden ser de más del doble que si aplican únicamente las medidas tecnológicas.

**Gráfica 5.2.12. Beneficios obtenidos de tres escenarios de reducción de emisiones de PM<sub>10</sub> en una zona de la ciudad de Berlín (tendencial, medidas tecnológicas y combinación de medidas tecnológicas con desarrollo urbano)**



Fuente: Clean Air and Action Plan for Berlin 2005 – 2010.

### 5.3 Observaciones finales

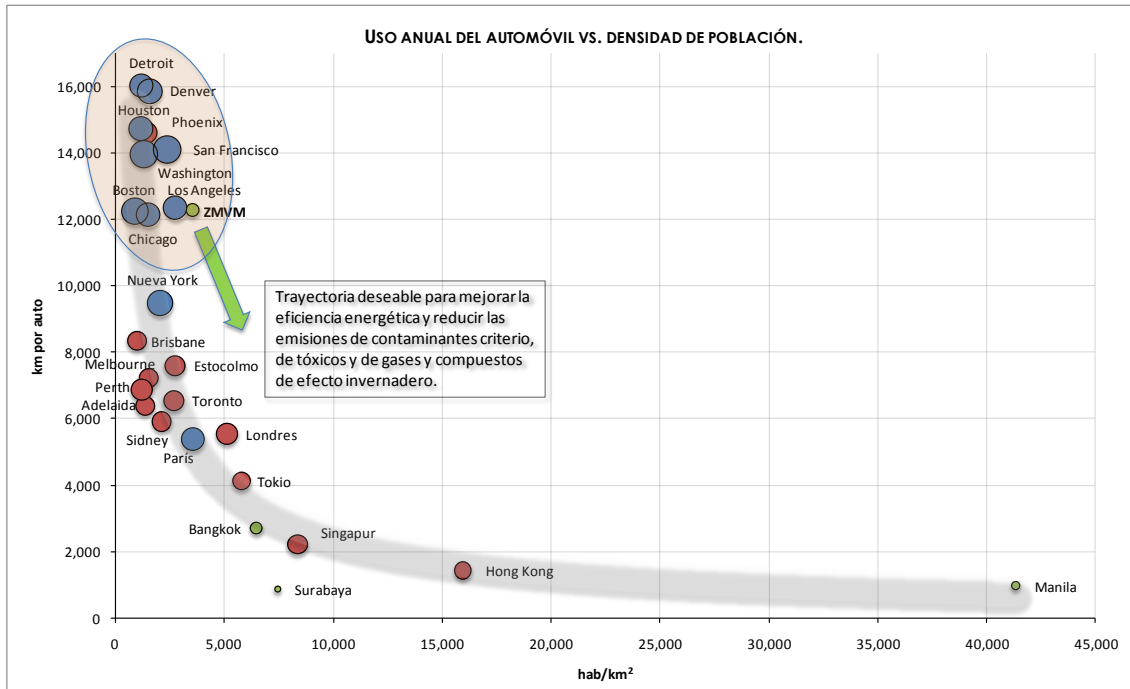
La exploración hecha de planes y programas de gestión de la calidad del aire incluyó un mayor número de ciudades que las que se mencionan en este capítulo, sin embargo y a pesar de la diversidad de énfasis y enfoques, en general el tipo de medidas encontradas no va más allá de las resumidas en los párrafos anteriores. Los esfuerzos están dirigidos básicamente a mejorar la calidad de los combustibles, hacer más estricta la normatividad ambiental, reforzar los programas de inspección y vigilancia, a la renovación del parque vehicular y en el caso específico de Berlín, también se mencionan estas medidas pero se incluye un componente que no aparece explícitamente en otros programas: la necesidad de planear la ciudad considerando los efectos del tipo de desarrollo sobre las emisiones contaminantes.

Este último enfoque corresponde a una nueva generación de medidas que pretende incidir sobre los aspectos estructurales de la contaminación atmosférica, principalmente de la que proviene de las fuentes móviles.

La importancia que puede tener este enfoque se muestra de manera sencilla en la Gráfica 5.3.1, en donde se grafica la relación existente entre los kilómetros recorridos en automóvil por año y la densidad de población medida en habitantes por km<sup>2</sup>, para 38 ciudades del mundo.

Nótese cómo las ciudades con menor densidad de población son las que más kilómetros recorridos en automóvil presentan, lo cual significa mayor consumo energético y más emisiones contaminantes. Si bien la densificación es solo uno de los instrumentos recomendados con estos nuevos enfoques, una vez que se combina con otros su contribución en la mejora de la calidad del aire puede ser de la mayor importancia.

**Gráfica 5.3.1. Comparación internacional de la relación entre kilómetros recorridos por automóvil y densidad de población urbana**



Nota: Las ciudades en rojo tienen un producto interno bruto per cápita (PIBPC) alto, las ciudades en azul tienen un PIBPC de nivel medio y las que tienen color verde tienen un PIBPC bajo.

Fuente: Elaborado con datos de fuentes de las ciudades seleccionadas y de sus correspondientes países.



## Tercera parte

---

### Concepción ecosistémica y simulación de emisiones contaminantes en la ZMVM

---

Capítulo 6. Concepción ecosistémica, dinámica  
estructural y simulación de emisiones  
en la ZMVM.

---





## Capítulo 6

# Concepción ecosistémica, dinámica estructural y simulación de emisiones en la ZMVM

---

El análisis ecosistémico desarrollado en este capítulo presenta nuevas alternativas para el manejo de la calidad del aire en la ZMVM. Explora la relación endógena entre la estructura urbana y el sistema de generación de contaminantes, introduce los índices de entropía urbana y de mezcla de usos del suelo, estima elasticidades espaciales que ayudan a entender el rol del desarrollo urbano en la emisión de contaminantes, presenta un modelo de simulación de emisiones contaminantes de los viajes en automóvil, simula la generación de emisiones al 2020 y modela la calidad del aire para el mismo año, que resulta de la aplicación de algunas medidas propuestas en este PROAIRE.

### **6.1 Concepción ecosistémica de la generación de contaminantes atmosféricos**

La Zona Metropolitana del Valle de México ha sido ampliamente descrita, medida y caracterizada para narrar la expansión de su área urbanizada, el tamaño y diversificación de su economía y los impactos ambientales asociados a las actividades de sus habitantes. Sin embargo, más allá de los diagnósticos descriptivos, la comprensión profunda del fenómeno metropolitano exige un análisis que integre los procesos fundamentales de la ZMVM con un enfoque sistémico y estructural.

El análisis de esta zona como un ecosistema espacial, abierto y complejo permite descubrir y entender las relaciones funcionales existentes entre las variables urbanas, económicas, ambientales, culturales y sociales. Así, la identificación de esas funciones es necesaria no sólo para ordenar y entender las maneras en la que una gran diversidad de procesos y variables de la ZMVM se relacionan, directa e indirectamente, sino para abrir una veta de creación de nuevos instrumentos de manejo y control de la calidad del aire que contribuyan, tanto al propósito de atender de raíz la generación simultánea de grupos de contaminantes, como a orientar el manejo integral de la calidad del aire hacia la obtención de cobeneficios en materia de productividad y competitividad metropolitanas.

En el marco de este programa, se entenderá por manejo ecosistémico al uso y aplicación de instrumentos y herramientas de análisis, planeación y gestión que relacionan endógenamente los diferentes aspectos que requiere la comprensión adecuada y completa del fenómeno de la calidad del aire en la ZMVM. Adicionalmente a los aspectos utilizados en el análisis convencional de la generación de contaminantes atmosféricos, como son los tecnológicos, los de calidad de los combustibles, el transporte, los de salud, los meteorológicos y los relativos a la físico-

química atmosférica, hay dos aspectos que no habían sido incluidos explícitamente y que resultan imprescindibles para completar la construcción de un enfoque ecosistémico de la gestión de la calidad del aire: la dimensión espacial de las actividades que generan la contaminación atmosférica y los fundamentos culturales de las mismas.

La dimensión espacial se refiere a la incorporación explícita de la estructura metropolitana, considerando aspectos físico-espaciales y funcionales. La dimensión cultural hace referencia a las formas de organización principalmente económicas y sociales que rigen y determinan las actividades cotidianas de los habitantes. Se trata de un conjunto de aspectos que contribuyen a dar identidad y personalidad propias a la ZMVM y que tienen que ver, por ejemplo, con los motivos específicos de realización de viajes; con las horas de entrada y salida de las actividades laborales, así como de atención a clientes y proveedores de todo tipo de entidades públicas y privadas; con la hora de comer y la hora de regresar al trabajo; con la logística familiar que determina quién o quiénes llevan o recogen a los niños de la escuela; con la cultura interna de las empresas privadas y las normas formales e informales del trabajo en oficinas; con la todavía escasa utilización de las tecnologías de comunicaciones que en países desarrollados ha permitido minimizar la presencia física de las personas en el intercambio de información, precios y servicios, y en la realización de trámites y reuniones de trabajo.

Los aspectos de referencia también dependen de los marcos jurídicos e institucionales que rigen las actividades cotidianas de los habitantes de la ZMVM, los cuales son reflejo, parte y consecuencia de la misma plataforma cultural. Todo ello es, en suma, el resultado de la interacción histórica de complejos procesos culturales, económicos y sociales que ayudan a explicar la forma funcional de un cierto tipo de actividades ubicadas en el corazón del planteamiento ecosistémico, a saber, las funciones de generación de emisiones contaminantes.

El mapa relacional (Mapa 6.1.1) es una representación general del ecosistema de generación de emisiones contaminantes, mismo que incluye las dimensiones mencionadas en los párrafos anteriores. El énfasis se ha puesto en el sistema de las fuentes móviles por la preponderancia que éste tiene en la emisión total de multicontaminantes atmosféricos, así como por lo importante de su participación en los costos económicos, ambientales y sociales del funcionamiento de la zona metropolitana.

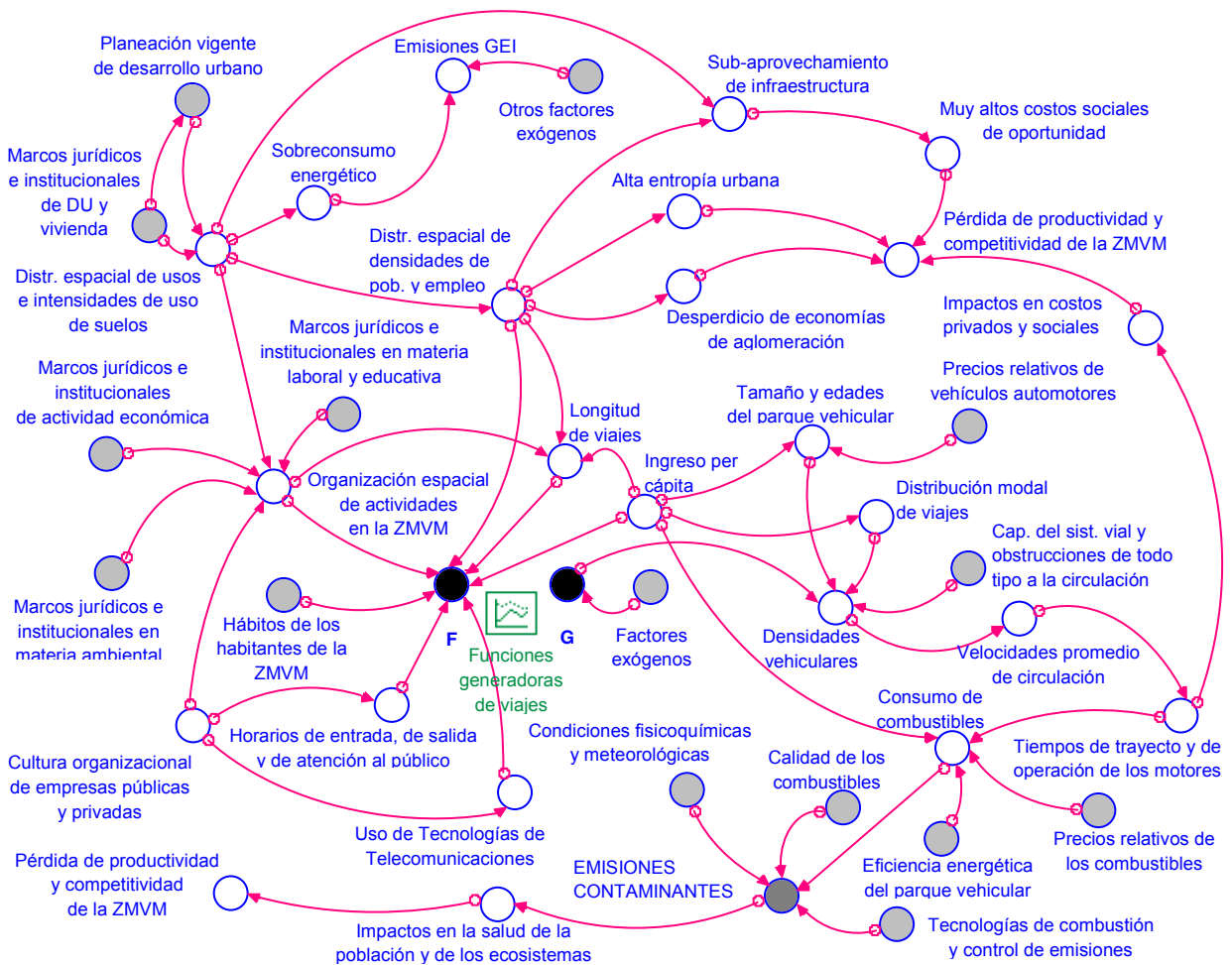
En este contexto la identificación y especificación de las funciones que generan los viajes cotidianos desde los orígenes hacia los destinos dentro de la ZMVM es un aspecto toral del análisis del funcionamiento ecosistémico, por partida doble: primero, porque como puede verse en el mapa éstas dependen de una multitud de variables sobre las que es necesario empezar a incidir para lograr un manejo integral de la calidad del aire, y segundo, porque los patrones y las consecuencias de la generación espacial y temporal de viajes son determinantes críticos y estrictamente urbanos de los niveles de productividad y competitividad de la ZMVM.

Si bien el mapa representa un sistema de relaciones de orden general, se considera que éste es un nivel de análisis adecuado para iniciar los estudios y el desarrollo de las herramientas que permitan avanzar en la comprensión cada vez más clara y completa de la dinámica estructural del fenómeno metropolitano.

Desde una perspectiva muy general, el análisis de las causas y los factores que determinan las emisiones atmosféricas contaminantes de las fuentes móviles se ha enfocado, principalmente, tanto en México como en otros países a tres grandes vertientes: la calidad de los combustibles, las diversas tecnologías asociadas a los vehículos de combustión interna y a la necesidad de modificar la estructura modal del transporte. La reducción del universo de explicaciones y de la mayoría de los esfuerzos realizados para mejorar la calidad del aire a este tipo de aspectos, ha propiciado que la sociedad construya una asociación lineal y automática entre el problema de la contaminación y el transporte, dejando fuera las otras dimensiones estructurales

La reflexión que anima este capítulo postula sin embargo que tanto para la reducción de contaminantes tóxicos o criterio, como para la mitigación de gases y compuestos de efecto invernadero, el cuerpo de medidas propuestas en este programa considera el potencial que en términos de diagnóstico y soluciones ofrece un enfoque ecosistémico. En este contexto dicho enfoque incluye la organización espacial de las actividades cotidianas de la ZMVM y se manifiesta básicamente a través de la distribución espacial de las densidades de los hogares, de los empleos y de los servicios públicos y privados.

**Mapa 6.1.1. Mapa Ecosistémico de la Generación de Emisiones Contaminantes**



El mapa ecosistémico permite constatar que está constituido por las dimensiones que fueron mencionadas anteriormente como necesarias para abordar integralmente la generación de emisiones contaminantes. La parte tecnológica está representada por variables como las incluidas en las tecnologías de combustión y control de emisiones, así como las relativas a la eficiencia energética y a las edades del parque vehicular; se incluye también a la de calidad de los combustibles y al transporte, con variables como el tamaño y las edades del parque vehicular y la distribución modal de viajes; los aspectos económicos entran vía el ingreso per cápita, los precios relativos de los vehículos y los combustibles, así como con la consideración explícita de los costos sociales, ambientales y de oportunidad derivados del funcionamiento del sistema metropolitano; la salud ambiental está representada por los impactos de la contaminación sobre la población y los ecosistemas; la físico-química atmosférica y la meteorológica, son dimensiones que inciden de varias y complicadas maneras sobre los procesos de combustión y la formación de compuestos y gases en la cuenca atmosférica; la cultura ha sido incorporada en su acepción más amplia, como un sistema de valores, hábitos y creencias que controla y determina las decisiones y conductas de los habitantes, lo cual se manifiesta a través de un vasto panorama de aspectos como la arquitectura del marco jurídico e institucional y el diseño de los procesos y procedimientos laborales, entre muchas otras cosas; finalmente la dimensión espacial ha sido incorporada vía la distribución espacial de varios aspectos totales: los usos e intensidades de uso del suelo, las densidades de hogares y por lo tanto de la población, las densidades de empleos y las formas en las que la sociedad organiza sus actividades cotidianas.

### **Entropía urbana**

El espacio no es económicamente neutro (Martínez, 1993), como tampoco lo es si se le aborda desde la óptica ambiental o social. Por ello los patrones de concentración y dispersión de las densidades mencionadas son aspectos críticos en la determinación de la entropía urbana y en el establecimiento de los niveles de eficiencias económicas, urbanas, ambientales y sociales con los que funciona el ecosistema metropolitano.

El concepto de entropía urbana que se ha utilizado para el análisis ecosistémico en este PROAIRE 2011-2020 permite medir a través de un índice el grado de concentración o dispersión de las densidades de población y empleo con un gradiente de valores que va del cero al uno. Matemáticamente, el concepto corresponde al de *entropía de Shanon* (Shanon, C.E., 1948) y su interpretación mantiene una analogía con la que tiene en termodinámica: a mayor entropía, mayor desorden urbano, más desperdicio energético y menos energía útil disponible. Este concepto es asimismo uno de los componentes del mapa conceptual propuesto, en el que se le relaciona con la mezcla de usos de suelo, con las eficiencias del sistema metropolitano y con las economías de aglomeración, de urbanización, de redes y de alcance.

El índice de entropía urbana ha sido calculado para datos de población, empleo, densidad de población y densidad de empleos a nivel de Área Geoestadística Básica (AGEB) para la ZMVM, y puede tomar valores que van de cero a uno<sup>1</sup>. Cuando el valor calculado está próximo de cero, se tiene un patrón de alta concentración de las

---

<sup>1</sup> En el Anexo 1 se presentan las expresiones matemáticas empleadas. Se han utilizado datos de los AGEB incluidos en 27 municipios conurbados del Estado de México y en las 16 delegaciones del Distrito Federal.

variables utilizadas; cuando el valor se aproxima a uno, se trata de un patrón en el que las variables presentan valores similares, próximos o equiparables<sup>2</sup>.

**Tabla 6.1.1. Índices de entropía urbana calculados para la ZMVM**

Población	Empleo	Densidad de población	Densidad de empleos
0.978	0.871	0.957	0.753

Fuente: Índices contruidos para este Proaire. Cálculos hechos con datos del INEGI.

Como se puede observar en la Tabla 6.1.1 los valores obtenidos son todos cercanos a uno, lo cual representa una estructura metropolitana altamente dispersa y extendida, con densidades homogéneas.

En términos de población y empleo, tomando en cuenta el enorme tamaño del área urbanizada, esto implica la conformación de una plataforma de orígenes y destinos que genera un número grande de viajes para el movimiento de personas y mercancías, con grandes distancias promedio de recorrido.

En términos de densidades de población y de empleo los valores obtenidos de los índices de entropía revelan una dispersión homogénea de las densidades consideradas, lo cual caracteriza a una estructura urbana de inmuebles bajos con poca intensidad de usos de suelo.

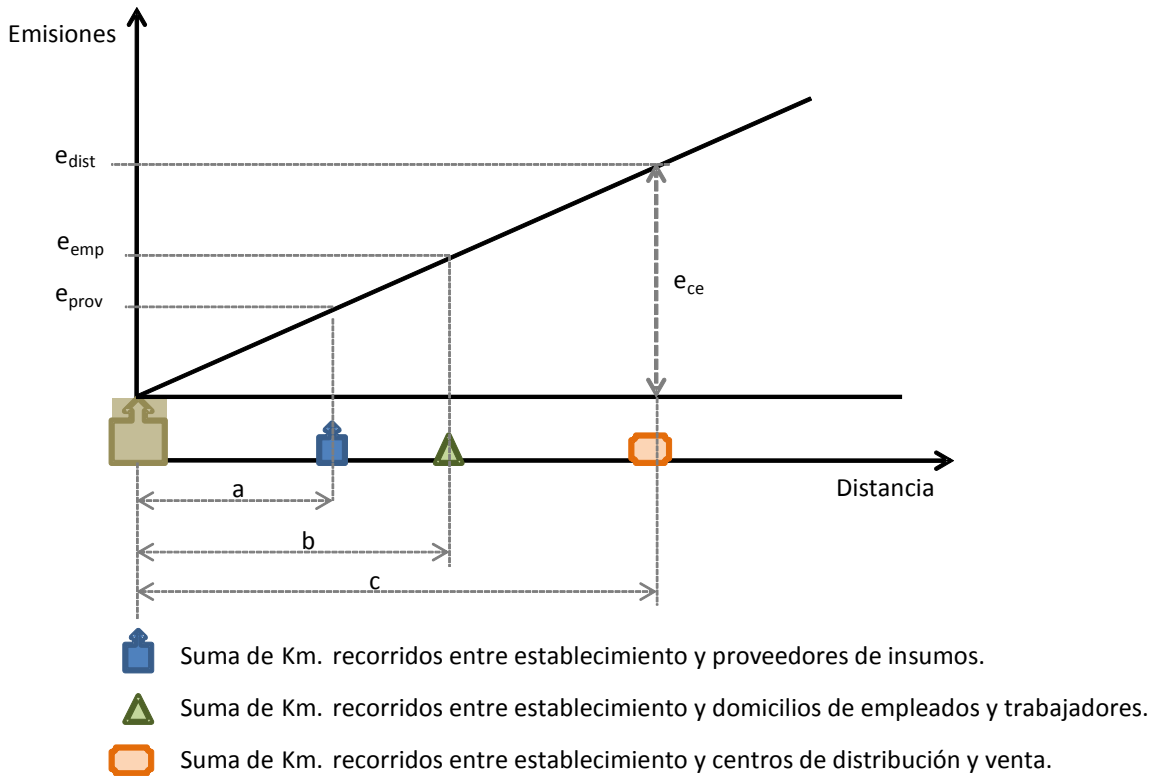
### **Estructura urbana y fuentes de emisión de contaminantes**

Como se mencionó en la primera parte de este capítulo, la relación entre la estructura urbana y las fuentes de emisión de contaminantes puede ser directa o indirecta. Las gráficas siguientes (Gráficas 6.1.1 y 6.1.2) muestran de manera sencilla y esquemática la forma en la que se da este tipo de relaciones.

El ícono que se encuentra en el origen representa un establecimiento cuyos procesos internos generan la cantidad de emisiones representada por la altura del mismo; esas son las emisiones directas del establecimiento que salen por los puntos de emisión ubicados intramuros. Los tres íconos colocados sobre el eje horizontal representan las sumas de los kilómetros recorridos por los vehículos cuyos desplazamientos son estrictamente necesarios para la operación del establecimiento: aquellos realizados por los proveedores de los insumos, los recorridos por los empleados, trabajadores y clientes, y los necesarios para distribuir a los productos del establecimiento en centros logísticos y de venta. La gráfica muestra esquemáticamente cómo es que las emisiones generadas por los vehículos utilizados se van sumando a las emisiones generadas intramuros, de manera creciente y en función del total de kilómetros recorridos. El punto que se quiere resaltar es que el total de emisiones asociadas a la operación ordinaria del establecimiento se compone, en efecto, de dos tipos de fuentes: las fijas y las móviles.

<sup>2</sup> No se encontraron referencias internacionales comparables de índices de entropía urbana, por lo que los valores calculados servirán de autorreferencia para la ZMVM.

**Gráfica 6.1.1. Componente espacial de las emisiones totales de una fuente fija**

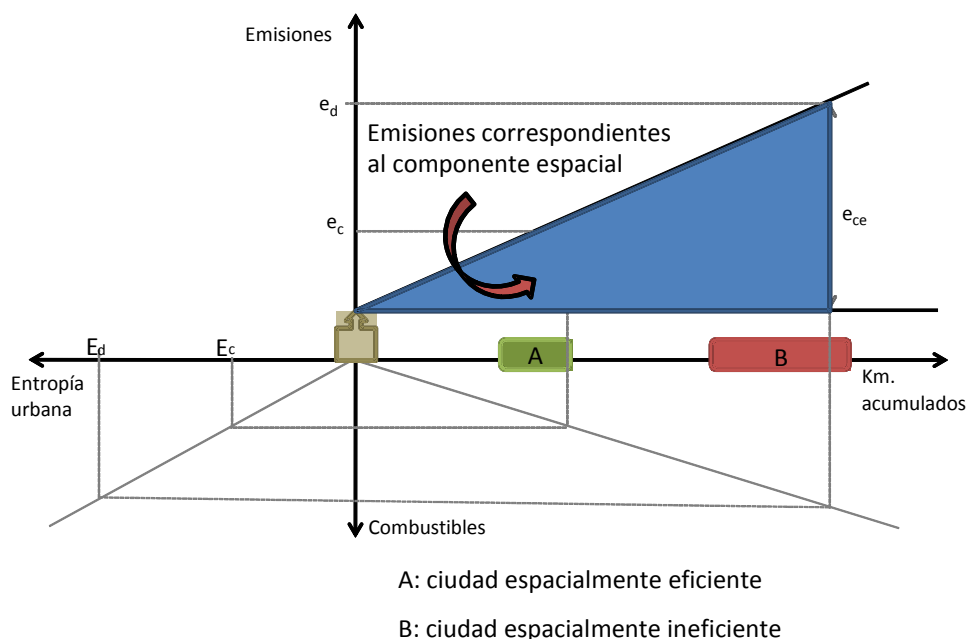


Si bien las emisiones generadas dentro de un establecimiento dependen de factores como la cantidad y calidad de los combustibles utilizados y las tecnologías tanto de los procesos como de control de emisiones, las provenientes de las fuentes móviles dependen de aspectos equivalentes y del total de kilómetros recorridos por los vehículos que contribuyen a la operación ordinaria del establecimiento. Esto último es lo que constituye el componente espacial de las emisiones del mismo, el cual corresponde al triángulo de color indicado en la Gráfica 6.1.2.

Nótese que el plano cartesiano ha sido ampliado para incluir un par de cuadrantes adicionales que sirven para medir volumen de combustibles y entropía urbana. En el eje de distancias se ha representado con un par de rectángulos la ubicación de dos ciudades hipotéticas con poblaciones y parque vehicular equivalentes. Su posición en el eje denota una diferencia estructural: la organización espacial de la ciudad A permite que la suma total de kilómetros recorridos necesarios para asegurar un cierto nivel de operación del establecimiento representado en el origen, es menor que la distancia total requerida por la ciudad B para los mismos parámetros de operación. Consecuentemente el nivel de emisiones del componente espacial de la ciudad mejor organizada es menor que el de la otra.

La proyección de las distancias recorridas hacia el radio del cuadrante inferior derecho permite medir el volumen de combustible utilizado en el eje vertical que apunta hacia abajo, lo cual permite a su vez hacer una proyección a través del segundo radio hacia el eje horizontal que apunta hacia la izquierda. La escala de este último eje mide el nivel de entropía urbana de ambas ciudades, en el sentido que ha sido explicado en párrafos anteriores.

**Gráfica 6.1.2. Relación entre eficiencia espacial de actividades productivas, emisiones totales, consumo energético y entropía urbana**



Una menor entropía urbana resulta, por ejemplo, de una mejor distribución espacial de las densidades de población y empleos, lo cual implica a su vez un menor consumo energético para franquear la fricción de las distancias que deben recorrerse de manera que se asegure el funcionamiento del ecosistema urbano. El punto que se quiere hacer notar es que una ciudad planeada para tener una estructura más eficiente, puede mantener un nivel dado de actividad, producción y empleo con menor consumo energético, lo cual se manifiesta través de menos emisiones y mayor calidad de vida. Este enfoque plantea además una ventana de oportunidades, de alto potencial, para la mitigación de gases y compuestos de efecto invernadero.

Para probar la incidencia de la densidad de población sobre el número de kilómetros recorridos se estimó esta última variable contra el tamaño del parque vehicular y la densidad de población de 26 ciudades del mundo, incluida la ZMVM<sup>3</sup>. La estimación doble logarítmica resultó estadísticamente significativa para ambas variables (Tabla 6.1.2) habiéndose obtenido un valor de -0.3389 para la densidad y de 1.1785 para el tamaño del parque vehicular, valores que representan a las elasticidades correspondientes<sup>4</sup>.

La interpretación de las elasticidades permite conocer en qué porcentaje cambia, en promedio, el total de kilómetros recorridos en estas ciudades ante cambios dados en cada una de las dos variables explicativas. Por ejemplo, si se da un incremento del 10 por ciento en el número de automóviles, el kilometraje total recorrido aumenta en

<sup>3</sup> Las ciudades, los datos y sus fuentes se presentan en el Anexo 2.

<sup>4</sup> Se conoce como elasticidad a la magnitud adimensional del cambio generado en el valor de una función, como consecuencia del cambio observado en el valor de una de sus variables explicativas. Se trata de elasticidades de corto plazo porque éstas permanecen constantes para el período de análisis.



promedio un 11.7 por ciento; si se observa un incremento del 10 por ciento en la densidad poblacional, el número de kilómetros recorridos disminuye en promedio un 3.3 por ciento.

**Tabla 6.1.2. Elasticidades de corto plazo del total de kilómetros recorridos con relación al tamaño del parque vehicular y la densidad de población. (Estimación hecha con datos de 26 ciudades de cuatro continentes)**

Variable	Elasticidad estimada
Densidad de población en hab/km <sup>2</sup>	-0.3389
Tamaño del parque vehicular (número de autos)	1.1785

Fuente: Elaborado con datos de 26 ciudades de varios países, 2010. Las ciudades y sus fuentes de información se presentan en el Anexo 2.

En la ZMVM el número de kilómetros recorridos es una cantidad muy grande y, como se comenta en varias secciones de este documento, los costos directos e indirectos de esos trayectos y los congestionamientos asociados son también de grandes proporciones.

Tanto la concepción ecosistémica como los ejemplos presentados ponen al descubierto la forma en la que los criterios de zonificación y asignación de los usos del suelo utilizados en la planeación del desarrollo urbano en México han contribuido a la construcción de una ZMVM caracterizada por una alta entropía urbana y que funciona con muy bajas eficiencias económicas, ambientales y sociales. La misma línea de análisis permite demostrar que este tipo de causas estructurales es un determinante del total de kilómetros recorridos, contribuye en la manutención de la baja productividad laboral y educativa, elimina las economías de aglomeración, atrofia las economías de red y de alcance en las redes de transporte, en las de suministro y drenaje de agua potable y en las de recolección, reciclaje y disposición de residuos, degradando con todo ello la competitividad metropolitana.

En las secciones siguientes se presentan los cálculos realizados para fundamentar la necesidad de cambiar los paradigmas de la planeación del desarrollo urbano, lo cual implica trascender la visión básicamente arquitectónica que la ha caracterizado para abordarla con una visión ecosistémica y funcional.

## **6.2 Dinámica estructural de la ZMVM**

El análisis de la dinámica estructural de la ZMVM requiere de la identificación de patrones de atracción de los viajes que se realizan ordinariamente en la zona, los cuales obedecen a una variedad de motivos como los relacionados con el trabajo, el estudio, las visitas médicas, las compras o adquisición de bienes y servicios, la realización de trámites y las actividades sociales y de entretenimiento. La identificación de dichos patrones se llevó a cabo mediante la exploración de los datos de la Encuesta Origen-Destino 2007 (EOD\_2007) realizada por el INEGI, para lo cual se utilizó la metodología LISA (Local Indicators of Spatial Association). Con esta metodología se pudieron identificar los siete principales centros atractores de viajes, los cuales se formaron por agrupación de AGEB. El criterio utilizado fue el de la identificación de aquellos AGEB-

destino de la ZMVM que tienen como característica una alta concentración de viajes y que son, al mismo tiempo, vecinos geográficos de otros AGEB con las mismas características.

Para el desarrollo de las bases de datos del PROAIRE se trabajó con los microdatos de la EOD\_2007, lo cual permitió construir las matrices de origen-destino por AGEB tomando como marco georreferencial a la cartografía de las 16 delegaciones del Distrito Federal y de los 40 municipios conurbados del Estado de México que utilizó el INEGI<sup>5</sup>.

El uso de los microdatos permitió elaborar las matrices de viajes origen-destino entre los 5,256 AGEB con una clasificación que incluyó a 9 de los 10 propósitos que considera la encuesta original debido a que el propósito de regreso a casa no es un indicador de atracción de viajes. Los 9 motivos de viaje son: ir al trabajo, ir a estudiar, compras, llevar o recoger a alguien, social o diversión, relacionado con el trabajo, ir a comer, ir a hacer un trámite y otros.

Esta distribución simple de los viajes por destino muestra claramente que existe un patrón de concentración. Como se puede ver en el Mapa 6.2.1, el grupo de AGEB que tiene la característica de ser destino de viajes y tener un número de ellos por arriba del promedio, se concentra en ciertas regiones de la ZMVM. Las mayores concentraciones parecen localizarse en AGEB que conforman un corredor que va de Coyoacán hasta las delegaciones Cuauhtémoc, Miguel Hidalgo, Azcapotzalco y Gustavo A. Madero; un grupo en Cuajimalpa y Huixquilucan; otro entre Naucalpan de Juárez, Tlalnepantla y Atizapán de Zaragoza; y, finalmente otro grupo grande entre Cuautitlán Izcalli, Cuautitlán y Tultitlán. También se pueden observar otros casos donde no existe una clara concentración de AGEB y más bien se encuentran dispersos en las delegaciones o municipios de la ZMVM.

### ***Estadística global de Moran y metodología LISA***

La metodología continuó con las etapas siguientes: 1) Se calculó el estadístico global de Moran para identificar si existe evidencia de autocorrelación espacial, es decir si los AGEB con valores similares de viajes por destino tienden a estar agrupados espacialmente; 2) Se utilizó la metodología LISA (Local Indicators of Spatial Association), con la cual se calcula el estadístico local de Moran y cada AGEB es comparado con todos sus vecinos, con el objetivo de identificar el tipo de asociación que tienen entre ellos.

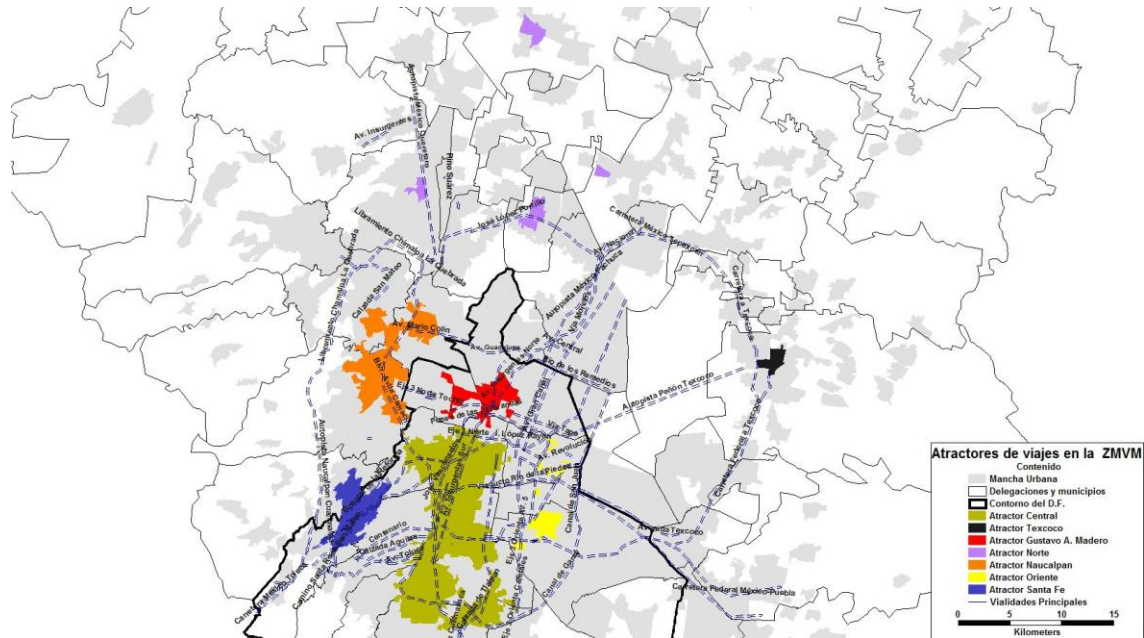
En el caso en el que el AGEB está rodeado por otros con un número similar de viajes por destino, el estadístico local de Moran presenta valores positivos. En cambio, si el AGEB está rodeado por otros con características diferentes, entonces el estadístico presenta valores negativos; 3) Bajo el principio de incluir sólo las asociaciones estadísticamente significativas, se construyeron mapas que muestran cuatro tipos de asociaciones entre los AGEB: HH o alto-alto, que es el grupo de los AGEB que tienen la característica de atraer muchos viajes; LL o bajo-bajo, que es el grupo de los AGEB que tienen la característica de atraer pocos viajes; HL o alto-bajo, es el AGEB individual que atrae muchos viajes, pero está asociado con vecinos que generan pocos viajes; y por último,

---

<sup>5</sup> El INEGI realizó la encuesta origen-destino de los viajes de los residentes de la Zona Metropolitana del Valle de México 2007 (EOD 2007) con la clasificación por distritos empleada en la EOD 94, con la idea de tener resultados que pudieran compararse. La EOD 2007 cubrió 16 delegaciones y 40 municipios conurbados del Estado de México, del total de 59 que se consideran en la ZMVM. El área de estudio se dividió en 156 distritos, 84 del D.F. y 72 del Estado de México, como resultado de la agrupación de 5,256 Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB).

los LH o bajo-alto, que son los AGEB que se caracterizan por atraer pocos viajes y tener vecinos que atraen muchos viajes. Se definieron a los atractores de viajes en la ZMVM, como aquellas regiones o aglomeraciones de AGEB que cumplen con ser HH a un nivel de significancia de 95% de acuerdo a la metodología LISA. Con ésta se identificaron 497 AGEB que conforman las siete regiones atractoras de viajes en autos más importantes de la ZMVM<sup>6</sup> (Mapa 6.2.1).

**Mapa 6.2.1. Los siete atractores principales de la ZMVM y las vialidades principales**



El sistema de atractores fue utilizado para dos propósitos principales, primero, como la plataforma basal del desarrollo del modelo de simulación de flujos vehiculares y emisión de contaminantes que se presenta más adelante, y segundo, para la construcción de las matrices de viajes que fueron utilizadas para la estimación de los modelos de econometría espacial que se presentan a continuación. El atractor central es mayor que los demás en tamaño y en importancia relativa, desde el punto de vista de la atracción metropolitana de viajes, por lo que fue necesario subdividirlo en tres secciones que permitieran explicar con mayor detalle tanto la dinámica de atracción de viajes externos como la relativa a los viajes internos. La subdivisión se muestra en el Mapa 6.2.2.

<sup>6</sup> Estos AGEB representan el 9.5% del total de la ZMVM y atraen 1.6 millones de viajes que representan el 44.7% de todos los viajes por destino en la ZMVM.



**Tabla 6.2.1. Los cuatro tipos de suelo utilizados en el cálculo del índice de mezcla de usos del suelo**

<b>H</b>	<b>Habitacional</b>	Zonas en las cuales predomina la habitación en forma individual o en conjunto de dos o más viviendas. Los usos complementarios son guarderías, jardín de niños, parques, canchas deportivas y casetas de vigilancia.
<b>HC</b>	<b>Habitacional con comercio</b>	Zonas en las cuales predominan las viviendas con comercio, consultorios, oficinas y talleres en planta baja.
<b>HM</b>	<b>Habitacional mixto</b>	Zonas en las cuales podrán existir inmuebles destinados a vivienda, comercio, oficinas, servicios e industria no contaminante.
<b>HO</b>	<b>Habitacional con oficinas</b>	Zonas en las cuales podrán existir inmuebles destinados a vivienda u oficinas. Se proponen principalmente a lo largo de ejes viales.

***Elasticidades de la probabilidad de realizar viajes al trabajo y de regreso del trabajo, y con motivo diferente***

La Tabla 6.2.2 se refiere a las elasticidades de corto plazo<sup>9</sup> de la probabilidad de realizar viajes al trabajo y de regreso al trabajo para tres medios de transporte, a saber, automóvil particular, microbuses y autobuses. Las variables explicativas que han resultado estadísticamente significativas para al menos uno de los medios de transporte son las que aparecen en la primera columna de la tabla. Los valores numéricos de las elasticidades obtenidas se pueden leer en las columnas correspondientes a cada medio, seguidos por un comentario puntual que plantea una de las formas en las que se puede interpretar cada valor.

La primera variable explicativa mide el diferencial entre los índices de mezcla de usos de suelo (MUS) entre AGEB origen y destino, mismo que ha sido dividido entre la distancia aérea que separa los centroides de cada par de AGEB, al cuadrado. La lógica de la construcción de esta variable es, de facto, la misma que ha sido utilizada para las otras variables explicativas y consiste en la medición de la diferencia observada entre un par de variables relevantes para la función generadora de viajes, pero incorporando el principio de los modelos gravitacionales<sup>10</sup>.

En este primer caso el diferencial mide qué tanto se parecen o no las mezclas de usos permitidos del suelo en cada uno de los pares ordenados de AGEB, con el propósito de probar la hipótesis de que la plataforma vigente de usos del suelo es un factor generador de viajes largos. La lógica para interpretar el sentido de la variable explicativa es la siguiente: si la mezcla de usos permitidos del suelo del AGEB origen favorece la concentración de un solo uso, por ejemplo si como suele suceder en una proporción importante de los casos se favorece el uso habitacional, y la mezcla de usos del suelo del AGEB destino tiene una menor concentración del suelo mencionado,

<sup>9</sup> Dado que las elasticidades son de hecho funciones diacrónicas, su estimación para el largo plazo queda como una línea abierta de investigación.

<sup>10</sup> Estos modelos son análogos a los de la Física: la fuerza de atracción es directamente proporcional a la magnitud de la variable del numerador (las masas) e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.

entonces se espera que el flujo dominante de viajes al trabajo vaya del AGEB origen al AGEB destino. Si la comparación de las mezclas de usos permitidos del suelo indica lo contrario, se esperaría que el flujo dominante de viajes al trabajo opere en sentido inverso.

Si se incorpora el factor gravitacional, es decir si se incorpora explícitamente en el denominador la distancia entre ambos AGEB, el valor de la variable explicativa dependerá de la comparación entre las cantidades que aparecen en el numerador y el denominador. De esto se sigue que cuando lo que domina es el diferencial entre las estructuras de mezcla de usos del suelo (variable que está en el numerador) por encima del costo del trayecto representado por la distancia al cuadrado (que está en el denominador), entonces la probabilidad de realizar viajes al trabajo será mayor que si lo contrario sucediese. El análisis comparado de este tipo de elasticidades enriquece el diagnóstico estructural de la ZMVM.

Cuando la distancia entre un par de AGEB es muy grande el costo total del trayecto es muy alto. En los modelos gravitacionales esta cantidad va en el denominador elevada al cuadrado, lo que hace suponer que su influencia en la estimación estadística sea en muchos casos determinante para que el resultado tenga signo negativo. Esto último significaría que la probabilidad de hacer viajes al trabajo disminuye a medida que aumenta la distancia entre el AGEB origen y el AGEB destino. Pero este resultado se da sólo cuando la gente tiene oportunidad de elegir qué viajes hacer.

En la práctica, y muy particularmente en el caso de la ZMVM, la gente enfrenta una combinación de restricciones estructurales que restringen su elección a un conjunto muy limitado de opciones, mismo que acota y determina los efectos observados: por un lado, el predominio de AGEB con altas concentraciones de un uso de suelo hace que la distancia que separa al hogar del trabajo sea mayor que la deseable; por otro lado, el viaje al trabajo es considerado imprescindible, por lo que la gente no puede incluirlo en el paquete de viajes evitables o postergables. La combinación de estas restricciones hace que los resultados de las estimaciones que se comentan enseguida sean consistentes con la situación estructural de la ZMVM, y sustentan con datos reales los impactos económicos, ambientales y sociales de la estructura metropolitana.

Como se puede observar en la Tabla 6.2.2, en el caso del auto privado el valor obtenido de la elasticidad fue de 0.0358, en el caso del microbús fue de -0.0195 y para cuando los viajes se realizan en autobús, la elasticidad fue de -0.0325. Nótese en primer lugar que el signo algebraico es positivo para el auto y negativo para el transporte público, indicando con ello que el efecto de la variable gravitacional que compara las mezclas de usos del suelo opera en sentido contrario cuando se trata de auto privado o de transporte público.

Una primera lectura indica que cuando el signo es positivo se confirma la rigidez estructural, funcionalmente perversa, de la ZMVM. Es decir, la configuración actual de zonas y usos del suelo, caracterizada por la proliferación de usos monofuncionales de baja densidad poblacional, es un factor que genera más viajes y más largos a pesar del alto costo de los trayectos. Cuando el signo es positivo, los usuarios de automóviles realizan más viajes fuera de los AGEB de residencia a pesar del alto costo de los desplazamientos. Retomando el valor de esta elasticidad, se puede estimar que si se diera un cambio del 10% en promedio en la diferencia entre índices MUS de AGEB origen-destino, la probabilidad de incrementar el número de viajes al trabajo se incrementaría en 0.35.

**Tabla 6.2.2. Elasticidades de corto plazo de la probabilidad de realizar viajes al trabajo y de regreso al trabajo**

Variable	Viajes en automóvil	Viajes en microbuses	Viajes en autobús
	<b>0.0358</b>	<b>- 0.0195</b>	<b>- 0.0325</b>
Diferencia entre índices de mezcla de usos de suelo (MUS) en AGEB origen-destino	El signo positivo confirma la rigidez estructural de la ZMVM: la configuración actual de zonas y usos del suelo genera más viajes, más largos, a pesar del alto costo total.	El signo negativo refleja la dominancia del costo del transporte ocasionado a los estratos de menores ingresos por la estructura urbana. Aparece un efecto ingreso en viajes insustituibles.	Se confirma el efecto ingreso en los viajes al trabajo: a pesar de ser imprescindibles, los usuarios del transporte público no pueden pagar todos los que quisieran hacer.
	<b>0.0024</b>	<b>- 0.0009</b>	NRES
Diferencia entre densidad de hogares en suelo habitacional en AGEB origen-destino	El signo positivo es congruente con el efecto de expulsión de las zonas habitacionales y el estímulo al uso intensivo del auto, a pesar del costo total de los trayectos.	Una confirmación más del efecto ingreso en los viajes: las estructuras urbanas y de densidades de población impactan más a los estratos más pobres.	-
	<b>- 0.0231</b>	NRES	NRES
Diferencia entre densidades de empleo en suelo no hab. en AGEB origen-destino	El signo negativo es congruente con ubicación de empleos mejor pagados en edificios de oficinas (mayor densidad).	-	-
	NRES	<b>- 0.0225</b>	NRES
Diferencia del número de empleos entre AGEB origen-destino	-	El signo negativo es congruente con distribución de empleos menos remunerados en áreas de baja densidad (industria, almacenes, etc.).	-
	<b>- 0.192</b>	<b>0.0296</b>	NRES
Diferencia de salarios promedio entre AGEB origen-destino	El signo negativo indica que los estratos de mayores ingresos aprovechan el margen que tienen para escoger empleos mejor pagados y más cercanos a casa.	El signo positivo indica que la rigidez estructural de la ZMVM hace que las personas de ingresos bajos mantengan el trabajo aunque esté peor pagado que uno equivalente más cercano a casa.	-
	NRES	NRES	<b>0.0248</b>
Velocidad media del viaje entre AGEB origen-destino	-	-	La percepción de un viaje más rápido incide sólo en viajes largos, que son los realizados en autobús.

NRES: no resultó estadísticamente significativa.

Fuente: Elaborado para este PROAIRE con datos propios y del INEGI.  
Ver ecuaciones en el Anexo 4.

Por el contrario, cuando el signo es negativo la lectura es que el costo del transporte domina la decisión de las personas de no hacer más viajes aún y cuando los viajes al trabajo sean considerados como imprescindibles, lo cual ocurre en los casos que se refieren a viajes en microbús y en autobús. La diferencia relevante entre las personas que usan automóvil y las que usan el transporte público en un país en vías de desarrollo como México, es el nivel de ingreso. Por ello es interesante notar que los resultados obtenidos confirman la existencia de un *efecto ingreso* agravado por razones estructurales, es decir, los efectos perversos de la estructura metropolitana castigan más a las personas de bajos ingresos que a las de altos ingresos.

Antes de continuar con la interpretación de los resultados que aparecen en la tabla, es conveniente anotar que éstos se obtuvieron mediante una estimación tipo panel con efectos fijos, a partir de datos propios obtenidos del análisis de respuestas asociadas a 3,959 AGEB origen y 647 AGEB destino de la EOD\_2007 de la ZMVM, y que:

- Las variables de la ecuación estimada para viajes en automóvil están divididas por la distancia aérea, al cuadrado, entre centroides de AGEB origen y destino.
- Las variables de la ecuación estimada para viajes en colectivos están divididas por el tiempo de viaje, al cuadrado, entre AGEB origen y destino.
- La primera variable de la ecuación estimada para viajes en autobús está dividida por la distancia aérea, al cuadrado, entre centroides de AGEB origen y destino.

Continuando ahora con el segundo grupo de elasticidades, éste corresponde a la variable que mide el diferencial en las densidades de hogares ubicados en suelo habitacional entre AGEB origen y destino, la cual incluye asimismo el inverso de la distancia aérea que separa los centroides correspondientes, al cuadrado. La elasticidad estimada de corto plazo fue de 0.0024 para el caso de los viajes en auto y de -0.0009 para los viajes en microbús. El signo positivo para los viajes en auto es congruente con el efecto de expulsión de las zonas habitacionales y el estímulo estructural al uso intensivo del automóvil, en el entendido de que los propietarios de este tipo de vehículos pueden y deciden pagar el alto costo de los desplazamientos. Para los viajes en microbús la elasticidad tiene signo negativo, lo cual se puede interpretar como una confirmación más del efecto ingreso en los viajes al trabajo: la estructura urbana y la distribución de densidades de población se suman como factores de generación de viajes largos, lo cual golpea más a los estratos de menores ingresos porque el costo de los desplazamientos los obliga a prescindir de viajes que deberían de ser imprescindibles. No sobra decir que a pesar de que los propietarios de autos privados deciden pagar el costo total de los desplazamientos, éste acaba por plasmarse de alguna manera sobre el sistema de precios relativos de los bienes y servicios de la ZMVM, mermando su competitividad y reduciendo a través de costos y precios más altos la calidad de vida de sus habitantes.

En el caso de los viajes en autobús la no significancia desde el punto de vista estadístico implica que la diferencia en densidad de hogares no incide sobre la probabilidad de realización de viajes al trabajo. Una explicación plausible es que como la gente suele utilizar más el microbús para viajes cortos y el autobús para viajes largos, los factores que inciden sobre los viajes relacionados al trabajo entre AGEB lejanos no son lo suficientemente fuertes como para que se altere la probabilidad de realizar este tipo de desplazamientos.



Siguiendo el orden de las variables que aparecen en la tabla, continúan las que miden los diferenciales entre densidades de empleo, entre número de empleos y entre salarios promedio pagados en AGEB destino, todas multiplicadas por el inverso de la distancia aérea entre centroides de AGEB origen y destino, elevada al cuadrado; es el grupo de las variables que representan y comparan las condiciones económicas de los AGEB bajo el mismo enfoque gravitacional.

El valor estimado de la elasticidad asociada a la probabilidad de realizar viajes al trabajo respecto de la comparación entre densidades de empleo fue de  $-0.0231$ , lo cual resulta congruente con los dos componentes de la variable. En primer lugar, porque el signo negativo indica que el número de viajes externos al trabajo disminuye cuando la densidad de empleos es mayor en el AGEB origen que en el destino; asimismo, el signo negativo también guarda congruencia con la lógica gravitacional que supone una reducción de viajes ante el incremento de los costos de transporte. En este caso el signo obtenido es igualmente consistente con el principio de las economías de aglomeración pues no hay elemento alguno de la estructura urbana que opere en contra del signo esperado.

En lo que se refiere a los diferenciales entre número de empleos entre AGEB origen y destino, la única elasticidad estadísticamente significativa fue la de los viajes en microbús, con un valor de  $-0.0225$ . Llama la atención que de las elasticidades que miden comparaciones de empleo, la que mide las densidades fue significativa para los viajes en automóvil y la que mide número de empleos lo fue para los viajes realizados en microbús. Una interpretación plausible resalta las diferencias laborales y espaciales entre personas con diferentes niveles de responsabilidad e ingresos. Esto es, los obreros y trabajadores suelen laborar en talleres, establecimientos industriales, almacenes, bodegas y centros de distribución, los cuales se caracterizan por ocupar áreas mayores de baja densidad. Los empleados de entidades públicas y privadas, en general con mayores ingresos que los obreros del caso anterior, suelen trabajar en oficinas ubicadas en edificios que ocupan menos área en planta pero mayor intensidad de uso por metro cuadrado, es decir, más densas que los sitios mencionados anteriormente.

La siguiente variable mide la diferencia entre salarios pagados en AGEB destino y presenta, como en el caso de las variables de mezcla de usos del suelo y densidad de hogares, signos algebraicos encontrados cuando se trata de viajes en automóvil y de viajes en microbús. La elasticidad estimada en el caso del uso de autos fue de  $-0.192$  y la correspondiente a los viajes en microbús fue de  $0.0296$ , lo cual indica que los estratos de ingresos más altos aprovechan el mayor margen de maniobra y las relaciones sociales y profesionales que tienen para ir escogiendo empleos mejor pagados y a menores distancias de su casa, mientras que los usuarios de transporte público, que son los de menores ingresos, se ven forzados a mantener el trabajo que ya tienen aunque éste esté peor pagado que uno equivalente que pudiera existir más cerca de casa.

Una explicación de este comportamiento aparentemente contraintuitivo es de nuevo la esgrimida algunos párrafos arriba, en el sentido de que las decisiones y los viajes realizados por las personas según las respuestas de la EOD\_2007 confirman la baja eficiencia estructural y los efectos funcionalmente perversos de la ZMVM. Entre éstos se cuenta la necesidad de realizar largos y onerosos trayectos cotidianos al trabajo, los cuales en el caso de la gente de bajos ingresos se traducen como la aplicación de un sobrecosto forzoso de transporte. Desde la óptica de las políticas públicas esta situación se revela como una oportunidad para mejorar el poder adquisitivo de esos estratos, pues una reestructuración espacial de la ZMVM podría representar una reducción de la

participación de los costos de transporte en el ingreso familiar, lo cual es equivalente a un incremento neto del salario.

**Tabla 6.2.3. Elasticidades de corto plazo de la probabilidad de realizar viajes con motivos distintos, en automóvil.**  
**Estimación tipo panel con efectos fijos a partir de datos propios obtenidos del análisis de respuestas asociadas a 3,959 AGEB origen y 847 AGEB destino de la EOD\_2007 de la ZMVM**

Variable	Motivo declarado del viaje según EOD_2007					
	Estudio	Llevar a alguien	Compras	Trámite	Comer	Social
Diferencia entre MUS en AGEB OD	<b>-0.0186</b>	<b>0.0304</b>	NRES	NRES	<b>0.0478</b>	<b>0.0271</b>
Diferencia entre densidades de hogares en SH en AGEB OD	<b>0.0027</b>	NRES	<b>0.0027</b>	NRES	NRES	NRES
Diferencia entre densidades de servicios en SNH en AGEB OD/tiempo <sup>2</sup>	NRES	NRES	NRES	<b>0.0034</b>	NRES	NRES
Diferencia entre número de empleos entre AGEB OD	NRES	<b>-0.0397</b>	NRES	NRES	<b>-0.0479</b>	<b>-0.0287</b>
Diferencia entre salarios promedio entre AGEB OD	NRES	NRES	NRES	NRES	NRES	<b>-0.0314</b>

NRES: no resultó estadísticamente significativa; SH: suelo habitacional; SNH: suelo no habitacional.

Fuente: Elaborado para este Proaire con datos propios y del INEGI.  
 Ver ecuaciones en el Anexo 4.

Las interpretaciones de las elasticidades de la Tabla 6.2.3 son similares a las realizadas para la tabla anterior. Se observa por ejemplo como la estructura urbana reduce la probabilidad de viajes de estudio y aumenta la de realización de viajes para llevar a alguien, para comer, para ir de compras y para visitas sociales. Las lecturas de los otros resultados son similares.

## **Perspectivas de los modelos de econometría espacial**

El análisis de econometría espacial desarrollado para este PROAIRE describe y mide, por primera vez, un conjunto de relaciones estructurales de la ZMVM y sus efectos en los procesos de generación de viajes, los cuales inciden a su vez y mediante una amplia variedad de caminos directos e indirectos, sobre el consumo energético, la entropía urbana, la emisión de contaminantes atmosféricos, la salud de la población y los ecosistemas, así como sobre la productividad de diversos actores y la competitividad de la zona metropolitana.

No obstante, abordar a la ZMVM como un ecosistema abierto ofrece márgenes y posibilidades de mejora en una multitud de frentes. En términos económicos, la aplicación de soluciones con visión ecosistémica permitiría aprovechar el potencial que ofrecen las economías de aglomeración, de escala, de redes y de alcance en una zona rica en oportunidades de aprovechamiento, además de avanzar en la reducción de los altos costos sociales de oportunidad derivados del desperdicio sistemático de recursos públicos anclados a la desorganización espacio-temporal de la ZMVM. Otra ventaja interesante de atacar este último aspecto sería el de la mitigación de la pérdida del poder adquisitivo de la población asociada al costo forzoso de transporte, así como la reducción de los costos totales de producción y de distribución de personas y mercancías, del consumo excesivo de combustibles, de oportunidad por transacciones comerciales no realizadas, y aquellos relacionados con la pérdida de productividad de las empresas y de competitividad de la ZMVM.

En lo que se refiere al aspecto social, un ecosistema metropolitano funcionando de manera más eficiente se reflejaría en una mejoría de la salud de la población y en la posibilidad de destinar más tiempo a actividades familiares, culturales, deportivas y sociales. Por otro lado, la flora y la fauna de la región también se verían beneficiadas.

La aplicación de un paquete de medidas como el que se propone en el Capítulo 8 de este documento permitiría avanzar no solamente en el control de los procesos de generación de contaminantes atmosféricos, sino también en la reducción del consumo excesivo de energía y en la disminución de la huella ecológica de la zona metropolitana.

En el frente ambiental, principal objetivo de este programa, el potencial para obtener cobeneficios a partir de un manejo ecosistémico de la ZMVM es alentador. De entrada es una manera de abordar una de las mayores preocupaciones de la comunidad científica internacional y de los gobiernos nacionales y locales, a saber, la constatación de la tendencia generalizada de migración continua desde las zonas rurales a las ciudades. Este fenómeno es un argumento que se esgrime sistemáticamente en los foros internacionales sobre cambio climático para alertar sobre las implicaciones que éste tiene en materia energética, de emisiones de gases y de compuestos de efecto invernadero, y como consecuencia de todo lo anterior sobre el calentamiento global.

Sin embargo, las estrategias y acciones de acción climática planteadas hasta ahora por las ciudades líderes se suelen limitar a los temas de energía (ahorro y uso eficiente de energía; aprovechamiento de energías renovables), transporte (promoción de transporte público y no motorizado), agua, residuos, medidas de adaptación, educación y comunicación ambiental.

Un faltante de la mayor importancia en la lista anterior es el paquete de medidas y acciones orientadas a la disminución de la entropía urbana, las cuales incluyen propuestas para la reestructuración espacial y funcional de la ZMVM, trabajar sobre la

ciudad construida y propiciar cambios culturales que vayan alineando a la sociedad hacia una cultura permanente de sustentabilidad urbana.

### **6.3 Modelo ecosistémico de simulación de emisiones**

Como parte del análisis ecosistémico del fenómeno de la contaminación atmosférica en la ZMVM, se ha desarrollado una herramienta de simulación de escenarios que permite comprender mejor la relación existente entre algunos de los factores, variables y procesos que actúan simultáneamente sobre las funciones de generación de viajes. La herramienta es un modelo macroscópico de simulación de emisiones de fuentes móviles, con el que se pueden estimar las emisiones vehiculares de la ZMVM en función de las velocidades promedio y, por lo tanto, del tiempo de operación de los motores<sup>11</sup>. El núcleo del modelo es la función de generación de viajes que aparece al centro del mapa ecosistémico.

El escenario basal se construyó a partir de los datos de la Encuesta Origen Destino 2007 (EOD\_2007) elaborada por el INEGI<sup>12</sup> e incluye viajes para cada uno de los motivos utilizados en la encuesta y realizados en automóvil, microbús y autobuses.

El parque de automóviles y por lo tanto los factores de emisión se dividieron en dos categorías tecnológicas con base en el inventario de emisiones 2008 de la ZMVM, considerando que el 19% de los automóviles corresponde a modelos 1993 y anteriores y el 81% restante son vehículos modelo 1994 y posteriores. Las emisiones que se pueden estimar con la versión actual del modelo son COV, CO y NO<sub>x</sub>, para lo cual se utilizan factores de emisión en función de la velocidad de circulación. Éstos fueron obtenidos a partir de ajustes estadísticos aplicados a una batería de resultados generados por el modelo Mobil 6.2, parametrizado con datos de la ZMVM.

La EOD\_2007 cubrió las 16 delegaciones del Distrito Federal y 40 municipios conurbados del Estado de México. El área de estudio se dividió en 156 distritos, correspondiendo al Distrito Federal 84 de ellos y 72 al Estado de México, los cuales resultaron de la agrupación de 5,256 AGEB. Los distritos se corresponden con los utilizados en la EOD\_1994.

Las principales razones que motivaron el desarrollo del análisis ecosistémico de la ZMVM desde la perspectiva de la emisión de contaminantes atmosféricos se resumen de la siguiente manera: primero, en la necesidad de identificar y especificar las principales relaciones funcionales existentes entre algunas de las variables y procesos que conforman el ecosistema metropolitano; y segundo, conocer más sobre la forma en la que los actores que cohabitan e interactúan en la ZMVM, perciben la realidad de su entorno y toman las decisiones que directa o indirectamente emiten contaminantes atmosféricos.

---

<sup>11</sup> El modelo desarrollado simula los principales patrones de flujos vehiculares en la ZMVM de manera agregada, haciendo uso del tipo de principios utilizados en la mecánica estadística. No es un modelo de simulación microscópica de tránsito.

<sup>12</sup> La EOD\_2007 no indica en qué día de la semana se realizan los viajes, no incluye información de los viajes realizados en sábado y domingo, no contiene datos sobre el transporte de carga y tampoco contiene la información específica del número de vehículos del transporte público; en el caso de los viajes efectuados en varios modos de transporte, no cuenta con el detalle suficiente para conocer los datos de los puntos intermedios de un viaje completo.

En ese contexto, se desarrolló un modelo de simulación que reconoce que las personas realizan viajes cotidianos respondiendo a varios motivos, que dichos motivos (y por lo tanto el número de viajes) pueden verse afectados por la materialización de elasticidades espaciales y socioeconómicas, que los viajes se realizan a lo largo de las 24 horas del día y que éstos se pueden realizar en automóvil, en microbús o en autobuses del transporte público. El modelo también reconoce que los vehículos considerados pueden transportar distinto número de pasajeros y que están categorizados en distintos estratos tecnológicos.

Los flujos vehiculares definidos con base en el sistema de atractores circulan a lo largo de un conjunto de troncales y ramales, por los que se mueven a velocidades variables que dependen de la densidad de las vialidades. Ésta depende a su vez del ancho de cada carril, del número de carriles, del tipo de vía, de la presencia de obstáculos a la circulación y del número de vehículos de diferentes tipos, que ingresan y salen de ésta por unidad de tiempo. La densidad más alta obliga al establecimiento de una velocidad mínima paramétrica promedio que puede ser de 5 Km/hora, mientras que la velocidad más alta dependerá de las condiciones de circulación presentes en un momento dado.

La modelación se desarrolló con un software especializado en el que se simulan escenarios regidos por ecuaciones diferenciales, con y sin retraso, con la presencia de variables de control. Esto permite simular la emisión observada de contaminantes en las condiciones actuales y la emisión que podría observarse con la aplicación de diversas combinaciones de políticas, medidas y acciones específicas<sup>13</sup>.

Para la construcción de los escenarios de simulación de emisiones se utilizan los insumos siguientes: primero, los modelos de econometría espacial que relacionan a las variables económicas y de uso de suelo con la generación de viajes por motivo, distribución modal y velocidades promedio, y segundo, un modelo económico-espacial que pronostica la demanda anual de empleos en la ZMVM para el período 2011-2020.

#### **6.4 Modelo económico-espacial de la demanda de empleos en la ZMVM**

##### ***Demanda espacial de empleos en la ZMVM***

El modelo desarrollado para estimar la generación de viajes a lo largo del período 2011-2020 reconoce que la relación entre una tasa dada de crecimiento de la economía de la ZMVM y las emisiones contaminantes generadas por el parque vehicular, debe considerar la distribución espacial de los hogares y de las unidades económicas, así como sus respectivos volúmenes de producción. Este enfoque permite incluir los efectos de las restricciones vigentes en materia de uso e intensidad de usos del suelo, las cuales codeterminan el número de unidades económicas por AGEB. Este último incide a su vez en la generación de empleos, en los patrones de viajes al trabajo y de regreso a casa, en las intensidades espacio-temporales de uso del sistema vial, en los niveles de

---

<sup>13</sup> El modelo fue desarrollado como parte del análisis ecosistémico de la ZMVM, para simular escenarios alternativos de generación de emisiones. Desde esa perspectiva los alcances fueron útiles para la comprensión del fenómeno objeto de estudio y para sustentar el enfoque ecosistémico propuesto. Sin embargo, el modelo está en una primera fase y su potencial alienta el desarrollo futuro de este tipo de herramientas para mejorar el diseño y gestión de las políticas de calidad del aire. En los Anexos 5 y 6 se describen la metodología y las ecuaciones básicas del modelo y se presentan los datos obtenidos para viajes en auto.

congestionamiento, en las velocidades promedio de circulación, en el consumo de combustibles y consecuentemente en la emisión de contaminantes atmosféricos.

Este planteamiento ecosistémico permite elaborar pronósticos más cercanos de la realidad que los obtenidos convencionalmente, en los que la generación de emisiones se suele estimar como una función lineal del crecimiento esperado de la actividad económica.

En este caso la generación de empleos en la ZMVM ha sido modelada a partir de una función espacial de demanda laboral, la cual es determinada a nivel AGEB por las variables siguientes: la población ocupada de trabajadores, la población ocupada de empleados, los salarios y sueldos de ambos, el monto de la producción bruta, el número de unidades económicas, la localización relativa de los hogares y de las empresas, así como los costos de transacción, que en este caso se refieren principalmente a los asociados a las distancias hogar-trabajo y a los tiempos de traslado. Dichos costos de transacción se incorporan al modelo por medio de una matriz de ponderaciones o rezagos espaciales, lo cual convierte al modelo en uno de tipo espacial dinámico.

Los resultados de la estimación (Tabla 6.4.1) muestran que la demanda de trabajadores por AGEB en la ZMVM depende negativamente de los sueldos que se pagan en el AGEB y positivamente de las otras dos variables utilizadas, a saber, el número de empresas localizadas en el mismo y la producción bruta correspondiente. Por el contrario, la demanda de empleados en la ZMVM depende positivamente de las tres variables: los salarios que se pagan en el AGEB, el número de empresas allí localizadas y la producción bruta del mismo.

**Tabla 6.4.1. Elasticidades de largo plazo de las demandas de empleo de trabajadores y empleados en la ZMVM (Estimación realizada con datos de 4,979 AGEB de la ZMVM)**

Modelo	Rezago espacial (WD) del empleo	Distribución de sueldos y salarios	Distribución de la producción	Distribución de unidades económicas
Modelo para trabajadores	0.55195	-0.85026	0.00039	0.38093
Modelo para empleados	0.58341	1.02266	0.00011	0.06865

Nota: WD es la matriz normalizada del inverso de la distancia euclídiana entre AGEB

Trabajadores: Son las personas ocupadas directamente en las actividades productivas de la unidad económica, así como el personal que participa en tareas auxiliares o de apoyo.

Empleados: Son las personas que laboraron para la unidad económica recibiendo un pago de manera regular por desempeñar trabajos de oficina, administración, contabilidad, actividades auxiliares y complementarias, así como labores ejecutivas, de planeación, organización, dirección y control.

Fuente: Estimación realizada para este PROAIRE con información propia y del INEGI. Censos económicos 2003.

Los resultados establecen que en el caso de la demanda de trabajadores el número de trabajadores contratado por las empresas en un AGEB, disminuye si los salarios solicitados por los trabajadores aumentan. También se obtuvo que la demanda de empleados depende positivamente de los sueldos, es decir, que el número de empleados contratado por las empresas aumenta a pesar de que los sueldos

aumenten. El resultado es aparentemente contraintuitivo, pero se explica con los argumentos siguientes.

En el caso de los trabajadores se deduce que al tratarse de mano de obra no especializada, de bajo costo y fácilmente sustituible, las empresas pueden ofrecer y mantener el salario de contratación; si los trabajadores solicitan mayores salarios, el número de contrataciones disminuye. Pero el caso de los empleados se entiende únicamente si se consideran los efectos de la distribución espacial de las densidades de población y empleos. Como se dijo en la Sección 6.2, la configuración actual de zonas y usos del suelo, caracterizada por una mayoría de usos monofuncionales de baja densidad poblacional, hace que haya más viajes al trabajo entre AGEB más distantes a pesar del alto costo de los trayectos. Esto implica que las empresas podrán contratar a los empleados que necesitan sólo si pueden ofrecer salarios más altos que compensen los costos de transporte, lo cual explica el resultado obtenido.

En ambos casos las demandas de trabajadores y de empleados tienen efectos positivos de externalidades y de aglomeración.

### ***Pronóstico de crecimiento de la economía***

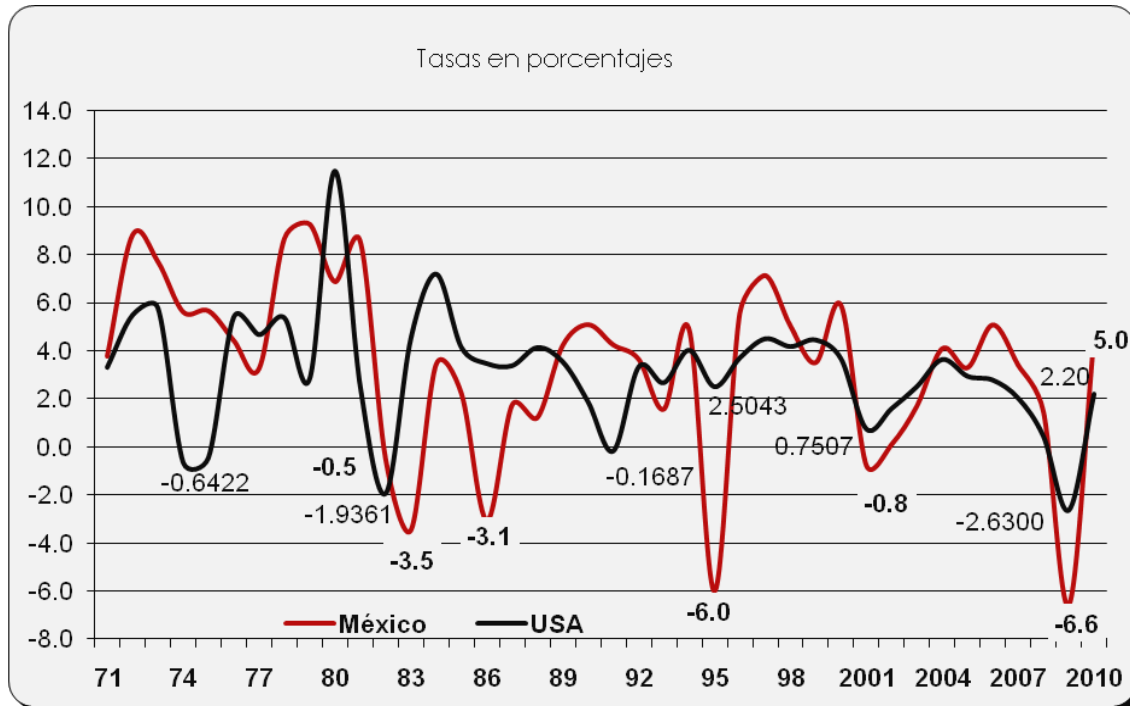
En las últimas décadas la dinámica de la economía mexicana se ha caracterizado por una serie de ciclos económicos cada uno de los cuales ha tenido una duración promedio de cinco o seis años. Como se puede observar en la Gráfica 6.4.1, teniendo como referencia la firma del Tratado de Libre Comercio de América del Norte el ciclo de la economía mexicana se ha ido sincronizando con el de la economía de los Estados Unidos, si bien la diferencia entre las amplitudes de las crestas y los valles sigue siendo muy grande debido a razones estructurales y a las marcadas diferencias en el manejo económico de ambos países. La economía de nuestro país tiene ciclos económicos mucho más cortos que los de la economía estadounidense y la magnitud de las crisis (que para México han ocurrido en los años 1982, 1986, 1994, 2001 y 2009) ha sido sistemáticamente mayor aquí que allá.

El análisis de estos ciclos ha sido tomado como base para construir un escenario anclado en variables estructurales que represente el comportamiento plausible de la economía mexicana para el período 2011-2020, el cual presenta una alta probabilidad de contar con un ciclo completo y con el inicio de otro, posiblemente en el año 2018. El ciclo económico en el que estamos inmersos tiene como preámbulo la severa crisis de 2009, en la que se ha alcanzado la tasa de decremento de la economía más alta de la historia moderna del país y que llegó a ser de -6.6 por ciento. En el año 2010 se inicia la etapa de recuperación, la cual podría prolongarse con altibajos a lo largo del período 2011-2016, para terminar con un ajuste económico en el año de 2017. Si bien existe una alta probabilidad de que el ajuste venga en 2017 como consecuencia de la sincronización observada con la economía de los Estados Unidos y de las características estructurales de la economía mexicana, dicho ajuste no necesariamente se ve como una crisis anunciada. El escenario anterior implica que el inicio de un nuevo ciclo económico empezaría a partir del 2018.

La estilización del ciclo económico descrito en el párrafo anterior fue la base para estimar el desempeño económico esperado de la ZMVM para el período 2011-2020, mismo que fue incorporado como insumo en el modelo de demanda laboral de manera que se pudieran tomar los incrementos anuales del número de empleos tanto de los empleados, que son los que utilizan principalmente el automóvil, como de los trabajadores, que son los que utilizan el transporte público, para relacionarlos con los

viajes totales esperados a lo largo del periodo de referencia. Como se explicó anteriormente, los cambios esperados en el número de viajes se utilizan en el modelo para simular los escenarios esperados de emisión de contaminantes.

**Gráfica 6.4.1. Crecimiento económico de México y Estados Unidos**



Fuente: Elaborada con información del INEGI y fuentes internacionales.

Las características generales de la dinámica económica esperada de la ZMVM se resumen en una tasa de crecimiento del 5.0 % en 2010, una tasa del 4.0 % para el 2011 y un crecimiento promedio de 3.8 % para todo el periodo que va de 2010 a 2020. Las tasas estimadas para cada uno de los años del período aparecen en las Tablas 6.4.2 y 6.4.3. Es importante aclarar que si bien el modelo de demanda laboral toma en cuenta la distribución espacial vigente de las unidades económicas de la ZMVM, lo cual es un factor fundamental del sistema de generación y atracción de viajes, el crecimiento económico esperado en cada uno de los AGEB de la ZMVM ha sido calculado mediante la aplicación homogénea de las mismas tasas anuales promedio mencionadas. El uso de tasas diferenciadas por AGEB o por sectores o giros de actividad económica, para diferenciar los potenciales de generación de empleos entre AGEB, y por lo tanto las diferencias en los patrones de atracción y generación de viajes, sería una extensión natural del modelo en simulaciones posteriores.

**Pronóstico del comportamiento de la demanda laboral en la ZMVM**

Con los supuestos mencionados en la sección anterior, se resolvió el modelo de simulación y pronóstico de la demanda laboral. Un primer dato a tomar en cuenta es que el número total estimado de empleos generados en la ZMVM en el año 2010 es de 65,643 y para el período que va desde el mismo 2010 hasta el 2020 el número promedio estimado de nuevos empleos rondará los 60,400 puestos anuales de trabajo. Un



segundo dato a tomar en cuenta es que (bajo el supuesto de que el valor de la producción crece a la misma tasa en todos los AGEB y no se realizan cambios estructurales en la organización económico-espacial de la ZMVM) los incrementos en la demanda de empleo se concentrarán en los AGEB que se encuentran fuera de los clústers atractores de viajes definidos en secciones anteriores. Esto es, de los 60,400 nuevos empleos anuales promedio que se esperan para el periodo de 2010-2020, alrededor de 4,000 se localizarán en los clústers atractores y el resto en las cuencas de los mismos (Tablas 6.4.2 y 6.4.3).

**Tabla 6.4.2. Escenarios de crecimiento económico y empleos adicionales en clústers y cuencas de la ZMVM**

Año	Crecimiento económico nacional (tasas porcentuales)	Empleos adicionales en toda la ZMVM	Empleos adicionales en clústers de la ZMVM	Empleos adicionales en cuencas de la ZMVM
2010	5.0	65,643	4,379	61,264
2011	4.0	54,451	3,622	50,819
2012	3.6	52,016	3,470	48,546
2013	4.5	66,823	4,458	62,366
2014	2.3	36,002	2,402	33,600
2015	3.5	56,049	3,739	52,310
2016	4.7	77,260	5,154	72,107
2017	1.5	25,817	1,722	24,094
2018	3.4	59,395	3,962	55,433
2019	4.1	74,059	4,940	69,119
2020	5.2	97,779	6,522	91,257

**Tabla 6.4.3. Escenarios de crecimiento económico y empleos adicionales de empleados y trabajadores en la ZMVM**

Año	Crecimiento económico nacional (tasas porcentuales)	Empleos adicionales en toda la ZMVM	Empleos adicionales (empleados)	Empleos adicionales (trabajadores)
2010	5.0	65,643	14,681	50,962
2011	4.0	54,451	12,178	42,273
2012	3.6	52,016	11,633	40,383
2013	4.5	66,823	14,945	51,878
2014	2.3	36,002	8,052	27,950
2015	3.5	56,049	12,535	43,514
2016	4.7	77,260	17,279	59,981
2017	1.5	25,817	5,774	20,043
2018	3.4	59,395	13,284	46,111
2019	4.1	74,059	16,563	57,496
2020	5.2	97,779	21,868	75,911

Si bien en principio los resultados del modelo pudieran parecer contraintuitivos, una posible explicación de este fenómeno surge del análisis de la dinámica estructural presentada anteriormente y que se refiere a los impedimentos formales e informales de la planeación urbana vigente para aprovechar las economías de aglomeración, de redes y de alcance del binomio infraestructura urbana-unidades económicas. Esto es, si las restricciones existentes en materia de uso e intensidad de usos del suelo se

mantienen, a pesar de los cambios de fondo recomendados, éstas harían que las nuevas unidades económicas y por lo tanto los nuevos empleos se sigan distribuyendo extensivamente de manera dispersa y con bajas densidades en la ZMVM, lo cual apuntaría en la dirección exactamente contraria a lo que se requiere para reducir la entropía urbana y apuntalar un ecosistema urbano que sea ambiental, económica y socialmente más eficiente.

Cuando los datos obtenidos por el modelo de estimación de la demanda laboral se arreglan de manera que los empleos de aquellas personas que usan principalmente el automóvil queden separados de los destinados a los trabajadores, que son los que se mueven en microbuses y autobuses, el promedio esperado de 60,400 nuevos empleos anuales se reparte entre 13,400 para empleados y 47,000 para trabajadores. Esto significa que 13,400 empleos generarán viajes en auto para ir al trabajo y 47,000 harán lo propio en transporte público. Si bien en números absolutos estas cifras pueden no parecer exorbitantes si se les compara con los números ya existentes de empleos y viajes asociados, el dimensionamiento de sus impactos debe hacerse en el marco de la relación que hay entre dos sistemas: por un lado, el que conjuga a la infraestructura urbana y de transporte, y por el otro el de generación de viajes de la ZMVM.

Actualmente el número de viajes rebasa la capacidad del sistema de infraestructura y transporte si se le juzga desde el punto de vista de los congestionamientos y los costos económicos, ambientales y sociales asociados, los cuales se materializan en los tiempos destinados al transporte cotidiano, la pérdida de productividad y competitividad, y los efectos sobre la salud.

En este contexto, el punto que se quiere resaltar es el hecho de que las tasas de crecimiento de la capacidad en el primer sistema, y de generación de viajes en el segundo, se mueven a velocidades diferentes; la segunda es de hecho mucho más alta que la primera. Visto en perspectiva y asumiendo que las condiciones estructurales no cambien sustancialmente, el crecimiento en el número de empleos nuevos ampliará todavía más la distancia entre la capacidad del sistema urbano y de transporte, por un lado, y el de generación de viajes por el otro. Esto se dará básicamente por dos vías: primero, porque la inercia observada hará que el déficit en capacidad se siga arrastrando; y segundo, porque el sistema de generación de viajes se alimenta de varios factores. Uno es que la creación de nuevos empleos tiene efectos multiplicadores sobre el número de viajes, porque un empleo más en la familia representa un ingreso adicional del que se toma una parte para transportar a uno o más miembros de la familia, a una o más actividades diferentes; otro factor es el crecimiento natural de la población de la ZMVM y sus propios efectos multiplicadores de viajes. Las relaciones de este modelo con el fenómeno de la inmigración queda como una línea abierta de investigación, pues requiere ampliar el modelo a uno que incluya la economía nacional.

### **6.5 Simulación de las emisiones generadas en el período 2010-2020**

Los resultados obtenidos con los modelos descritos hasta ahora fueron incorporados al modelo de simulación para proyectar la generación de emisiones en el periodo 2010-2020. Como se explicó anteriormente, esta herramienta es un modelo macroscópico de simulación de emisiones de fuentes móviles con el que se pueden estimar las emisiones vehiculares de la ZMVM en función de las velocidades promedio y, por lo tanto, del tiempo de operación de los motores. En el contexto de la construcción del escenario 2010-2020 esto significa que la cantidad de emisiones vehiculares, manteniendo

constantes variables como la mezcla vigente de tecnologías automotrices y la calidad presente de las gasolinas, dependerá en última instancia no tanto de los kilómetros recorridos sino del tiempo de operación de los motores.

Es importante volver a insistir sobre las bondades y las limitaciones del modelo desarrollado, con el propósito de ubicar correctamente su utilidad como herramienta de planeación y diseño de políticas públicas y evitar que se sobredimensionen las expectativas asociadas. La inmensa dimensión y complejidad de la ZMVM hace imposible, por el momento, contar con un modelo microscópico de generación de emisiones. Esto es, un modelo que contenga a detalle la traza vial, los sistemas de semaforización y señalización, las obstrucciones formales e informales a la circulación, etc. y que simule además la circulación de la totalidad del parque vehicular. Ante esta imposibilidad, se optó por desarrollar el modelo macroscópico mencionado que simula las emisiones vehiculares de tres contaminantes criterio (CO, COV y NO<sub>x</sub>) con base en el esquema de clústers atractores de viajes en automóvil desarrollado a partir de los resultados de la Encuesta Origen Destino 2007. Este modelo simula los principales patrones de viajes por motivos<sup>14</sup> a lo largo de una traza vial virtual que conecta a los clústers atractores con sus cuencas respectivas. El modelo simula una parte suficientemente representativa de los viajes en automóvil y sus emisiones correspondientes, lo cual se aprovechó para escalar los resultados que se presentan a nivel de toda la ZMVM.

Entre las bondades de esta herramienta están el poder simular escenarios de viajes y emisiones con base en cambios predeterminados de variables que inciden sobre la generación de viajes por diferentes motivos. Por ejemplo, se puede simular la generación de emisiones resultante de un cambio en los índices de mezcla de usos del suelo, en donde la lógica indica que si una nueva distribución de los usos permitidos del suelo reduce las necesidades de desplazamiento y acorta los viajes imprescindibles, la nueva distribución espacio-temporal de las densidades vehiculares provocará mayores velocidades promedio y menores emisiones acumuladas. Entre las limitaciones del modelo se cuentan las relativas al nivel de agregación que lo define como macroscópico y al hecho de representar una parte significativa, más no la totalidad, de los viajes registrados en la EOD\_2007 para la ZMVM.

El modelo fue calibrado para que simule adecuadamente las emisiones reportadas en el Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM 2008, en particular las relativas a los autos privados. Los valores reportados en dicho inventario, en toneladas anuales, son: 638,104 de CO; 90,653 de COV y 60,662 de NO<sub>x</sub>. Las gráficas siguientes corresponden al escenario base del modelo, mismo que está calibrado para que los viajes de automóviles registrados en la EOD\_2007 generen las mismas cantidades de emisiones que las reportadas en el inventario. En la Gráfica 6.5.1 se pueden observar las velocidades promedio de cinco troncales, esto es rutas por las que circulan los autos que van y vienen entre los clústers atractores y sus cuencas respectivas, a lo largo de 24 horas. En este caso se trata de promedios anuales de velocidad para cada hora del día, en vialidades usadas en dirección norte-sur.

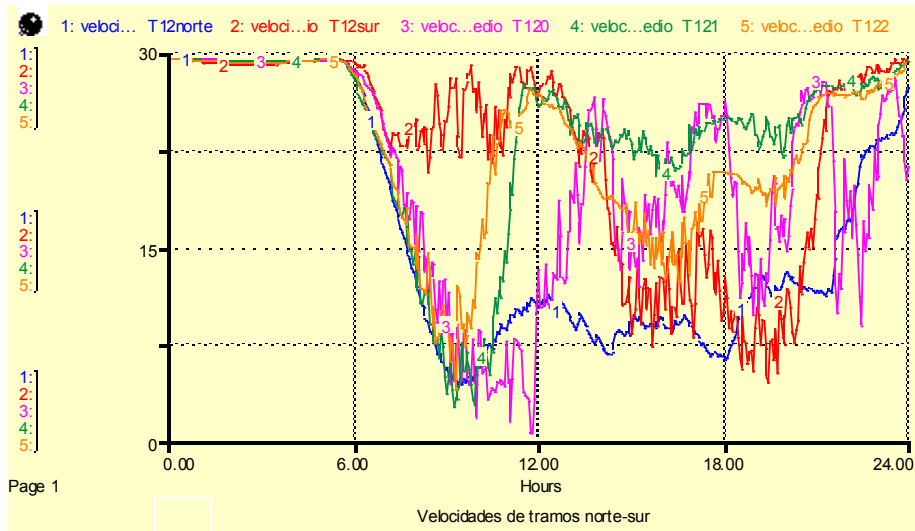
La Gráfica 6.5.1 indica claramente cómo a partir de las 6 de la mañana las velocidades promedio empiezan a caer. Las diferencias entre troncales se deben a las variaciones en la densidad vehicular, que proviene del número de autos en cada troncal, lo que

---

<sup>14</sup> Los motivos de viajes tomados en cuenta con base en la EOD\_2007 son: trabajo y relacionados con el trabajo, estudio, sociales, compras, llevar a alguien, trámites, comer, regreso a casa y otros.

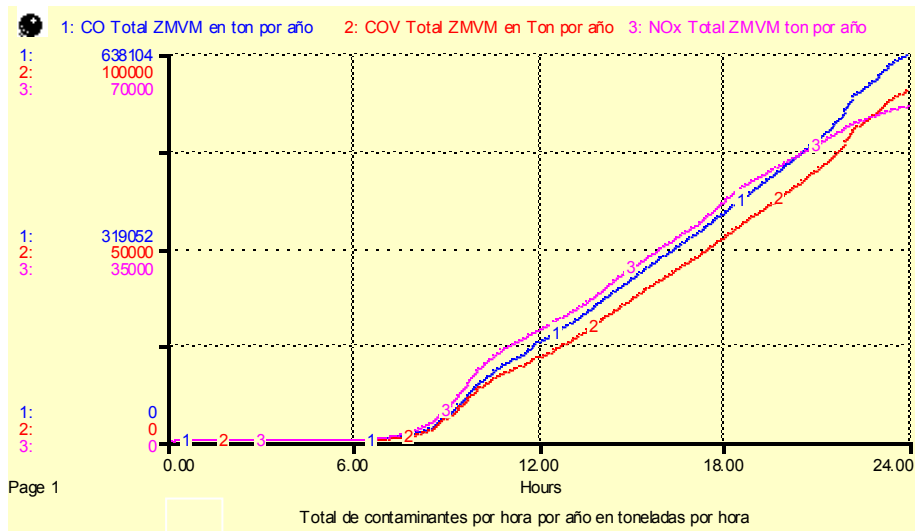
determina la velocidad promedio. Si como parte de las políticas públicas de los próximos años se aplicara una medida que lograra que un número significativo de personas distribuyera la hora de salida de su casa en una franja más amplia en la mañana, se observaría que las densidades vehiculares no crecerían tanto a esas horas y las velocidades promedio en estos troncales no presentarían una caída tan pronunciada a partir de las 6 de la mañana.

**Gráfica 6.5.1. Velocidades promedio de circulación en cinco troncales, dirección norte-sur. Escenario base**



La Gráfica 6.5.2 presenta las emisiones acumuladas a lo largo de las 24 horas del día, de la misma manera que las velocidades de la gráfica anterior. Es decir, son las emisiones anuales en la forma en que éstas se van acumulando en cada hora del día, hasta llegar a las 24 horas, momento en el que se llega a los valores reportados en el inventario de emisiones 2008.

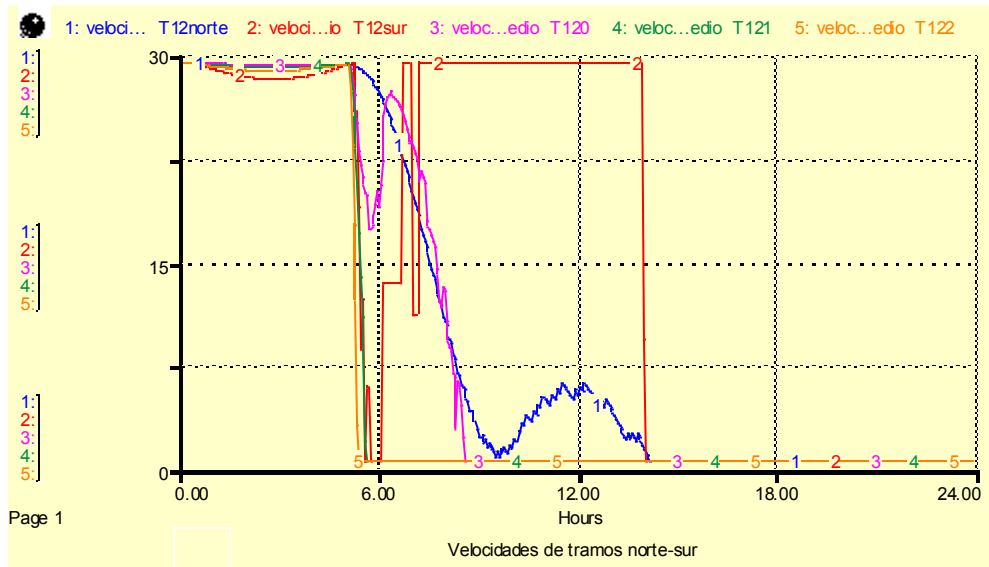
**Gráfica 6.5.2. Emisiones anuales acumuladas por hora de CO, COV y NO<sub>x</sub>. Escenario base (escalas modificadas para facilitar lectura)**



Las escalas están calculadas de manera que los valores de cada uno de los tres contaminantes criterio se pueda leer claramente en la Gráfica 6.5.4. Los acumulados anuales en toneladas son: 638,104 de CO; 90,653 de COV y 60,662 de NO<sub>x</sub>.

Un primer escenario de simulación es el representado por las Gráficas 6.5.3 y 6.5.4, las cuales presentan los promedios de las velocidades de circulación y las emisiones acumuladas por hora para todo el período 2010-2020. Para esta simulación se tomaron en cuenta los pronósticos de empleo para la ZMVM obtenidos del modelo de demanda laboral, mismos que indican un total de 163,000 empleos para usuarios del automóvil y 517,000 para trabajadores o usuarios del transporte público.

**Gráfica 6.5.3. Velocidades promedio de circulación en cinco troncales, en dirección norte-sur. Escenario que considera la generación de empleos estimada para el período 2010-2020 sin medidas de mitigación**

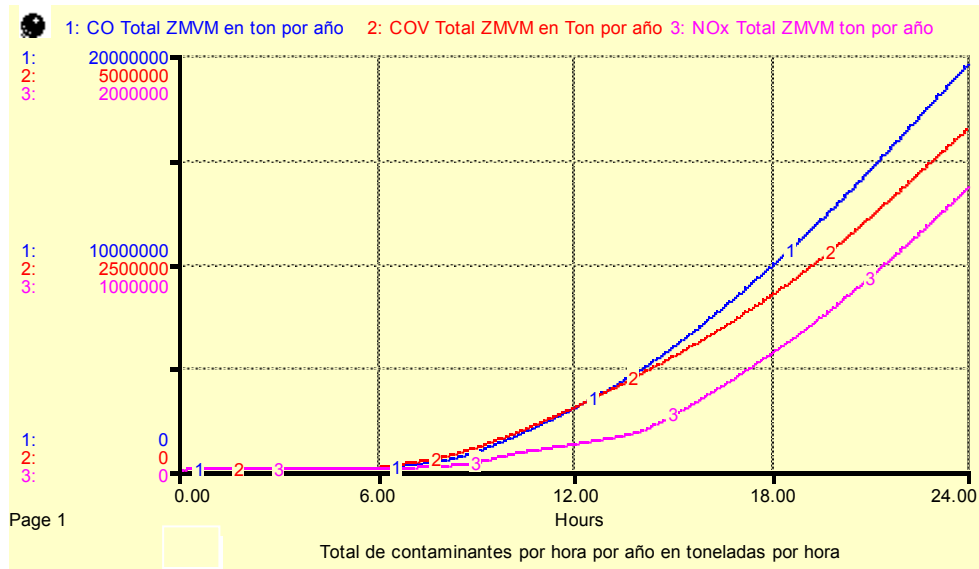


Es conveniente hacer algunas observaciones sobre la interpretación de los resultados. En primer lugar, se asume que para este escenario tendencial no se hacen cambios estructurales que modifiquen ni la capacidad ni los troncales de la traza vial existente; y en segundo lugar se asume que las variables que pueden influir en el número de viajes se mantienen en sus valores actuales. Si bien más adelante se presentan algunos escenarios que incluyen los posibles efectos derivados de la aplicación de alguna medida que incide sobre la generación de viajes, es interesante observar el impacto aislado del crecimiento esperado de empleos en la emisión de contaminantes. Resulta claro que la traza vial se ve rebasada por la generación de viajes y las vialidades presentan una velocidad mínima de circulación, la cual ha sido parametrizada en este modelo con un valor de 5 Km/hr.

La Gráfica 6.5.4 muestra el impacto esperado en emisiones para todo el período 2010-2020 bajo los mismos supuestos, esto es, considerando el total esperado de empleos sin aplicación de medidas de mitigación de viajes. Se observa que el crecimiento acumulado de emisiones, si se le compara con los valores anuales reportados en el

inventario 2008, es del orden del 277 % para el CO, del 410 % para los COV y del 202 % para el caso de los NO<sub>x</sub>.

**Gráfica 6.5.4. Emisiones anuales acumuladas por hora de CO, COV y NO<sub>x</sub>. Escenario que considera la generación de empleos estimada para el período 2010-2020 sin medidas de mitigación**



A estas alturas un cuestionamiento pertinente es saber qué efectos se pueden lograr en términos de reducción de emisiones, ante los cambios propiciados por la aplicación de algunas medidas de cambio estructural. Éstas se refieren al tipo de aspectos representados en el mapa ecosistémico como parte de los determinantes del sistema de generación de viajes, mismos que incluyen variables como los usos del suelo y aquellos aspectos culturales tanto de la población como de las organizaciones públicas y privadas que inciden y moldean las necesidades de desplazamiento. Las medidas propuestas desde esta perspectiva están agrupadas en una estrategia que pretende reducir el consumo energético estructural de la ZMVM.

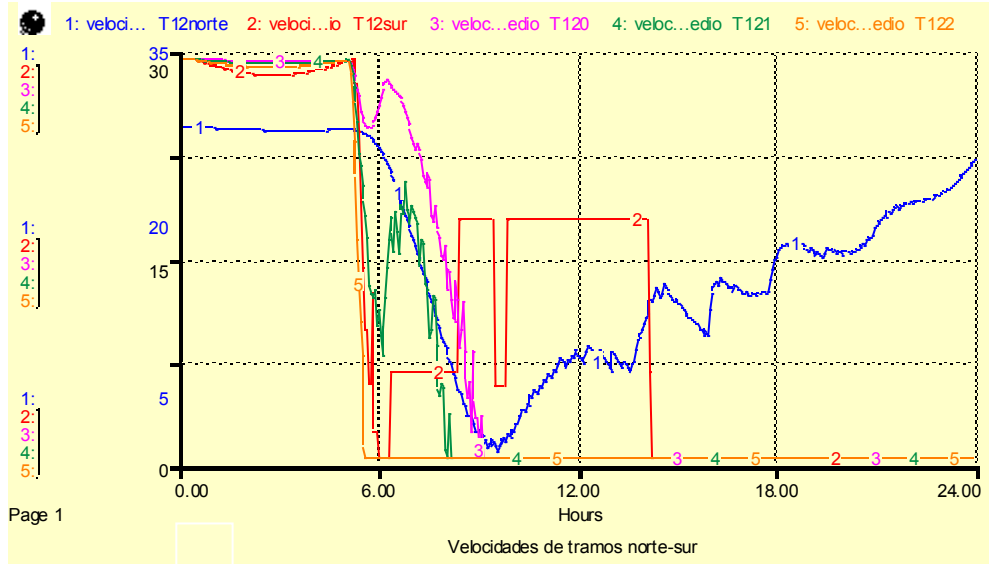
Para poder simular un escenario con cambio estructural recurrimos a las elasticidades espaciales estimadas econométricamente y que indican la respuesta en la probabilidad de realización de viajes cuando se cambia una de las variables explicativas. Se presenta enseguida un ejercicio de simulación usando la diferencia en índices de mezcla de usos del suelo entre AGEB origen y AGEB destino. Para ello se usa el valor de la elasticidad estimada en un ejercicio de modificación de los usos del suelo, para estimar el cambio en el número de viajes en auto y consecuentemente el cambio esperado en emisiones.

Si se asume, a manera de ejemplo, un cambio del 11 % en el valor promedio de los índices de mezcla de usos del suelo en el sentido de favorecer una distribución que aumenta la mezcla de usos y reduce las áreas monofuncionales, y se aplica la elasticidad obtenida de 0.0358 (que aparece en la Tabla 6.2.2) a un total de 6'278,824 viajes diarios en automóvil (EOD\_2007), se obtiene una reducción de 28,000 viajes por día. Esto es, asumiendo que todas las otras variables consideradas en la batería de modelos se mantienen constantes, un cambio estructural que modifique la mezcla

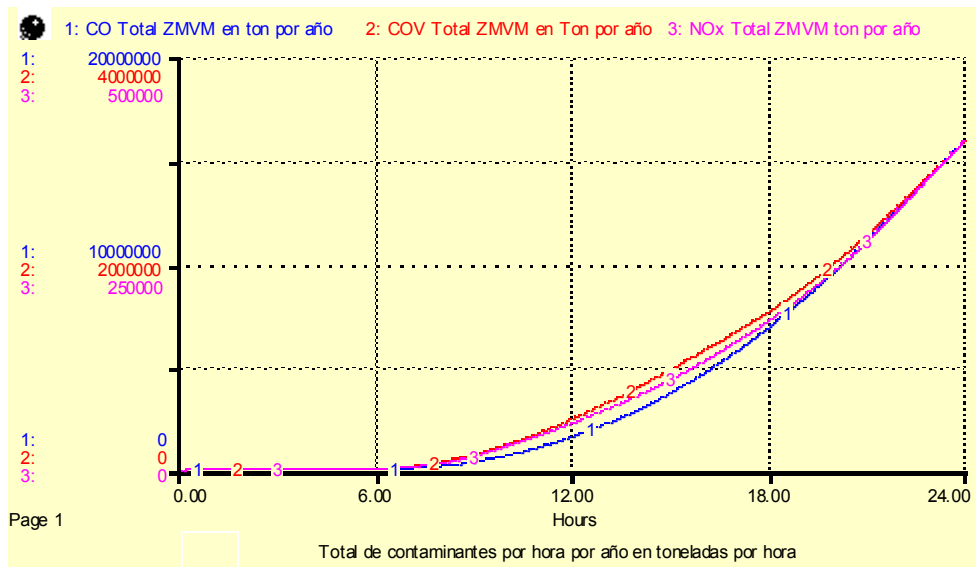
promedio de usos del suelo en el sentido descrito propiciaría una reducción de viajes en esa cantidad. Si se simula el efecto de esa reducción para el período 2010-2020, específicamente en el caso ya considerado que incluye la generación de nuevos empleos, las velocidades promedio de circulación y las emisiones asociadas se comportarían como lo indican las Gráficas 6.5.5 y 6.5.6.

**Gráfica 6.5.5. Velocidades promedio de circulación en cinco troncales, dirección norte-sur.**

**Escenario que considera la generación de empleos estimada para el período 2010-2020 y cambio favorable en los índices de mezcla de usos de suelo**



**Gráfica 6.5.6. Emisiones anuales acumuladas por hora de CO, COV y NOx.**  
**Escenario que considera la generación de empleos estimada para el período 2010-2020 y cambio favorable en los índices de mezcla de usos de suelo**



Las emisiones totales, si se les compara con los incrementos obtenidos en el escenario que consideraba la creación de nuevos empleos sin medida de mitigación, disminuyen de la manera siguiente: para el CO, pasan de un incremento del 277% respecto de lo reportado en el inventario 2008 a un incremento del 228%, esto es, 49 puntos porcentuales menos; para los COV, pasan de un 410 % de incremento a un 320%, es decir 90 puntos porcentuales menos; y para los NO<sub>x</sub> se pasa de un incremento del 202% a uno bastante menor del 60%. Como puede observarse, este tipo de cambios estructurales apuntan en la dirección deseable para ir reduciendo la entropía urbana, el consumo energético y las emisiones contaminantes de la ZMVM de forma duradera.

### 6.6 Reducción estimada de emisiones y mejora de la calidad del aire con medidas convencionales

Como se mencionó en la primera parte de este capítulo, se incluyen en este apartado los cálculos de reducción de emisiones para el período 2011-2020, hechos bajo el supuesto de aplicación de algunas de las medidas propuestas en este PROAIRE, mismas que se presentan en el Capítulo 8. Nótese cómo la combinación de estas medidas identificadas como convencionales con las de tipo estructural o de segunda generación que se derivan del enfoque ecosistémico (como la utilizada para la simulación presentada en la sección anterior) presenta un potencial de reducción de emisiones de una magnitud muy importante.

**Tabla 6.6.1. Estimación de la reducción de emisiones obtenida con la aplicación de medidas seleccionadas (ton/año)**

#	Medida	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	Tóxicos	CO <sub>2</sub>
1	Homologar los procedimientos y criterios de verificación de los vehículos con placas federales y locales.	548	459	26,220	2,765	2,745	374	728,542
2	Fortalecimiento del programa de sustitución de convertidores catalíticos.	NA	NA	3,177	382	421	79	NA
3	Modernización del programa de detección y retiro de vehículos ostensiblemente contaminantes.	165	135	14,641	2,242	1,385	317	226,830
4	Promover el uso de vehículos híbridos y eléctricos para uso particular, de transporte público y de carga.	19	15	2,945	360	230	42	34,352
5	Modernización y homologación del Programa de Verificación Vehicular.	12	6	17,643	666	2,613	602	72,014
6	Renovación de vehículos a diesel con la sustitución de motores y adaptación de sistemas de control de emisiones.	64	54	557	55	43	5	18,757
7	Renovación de las flotas vehiculares de transporte de pasajeros de baja, mediana y alta capacidad.	60	39	73,082	10,763	9,257	1,297	168,127



#	Medida	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	Tóxicos	CO <sub>2</sub>
8	Promover el uso de combustibles menos contaminantes en vehículos de transporte público de pasajeros y de carga.	26	10	39,595	715	96	24	79,059
9	Promover el uso de combustibles gaseosos en establecimientos industriales y de servicios.	73	52	204	1,050	21	NE	985,165
10	Modernizar la flota vehicular del servicio de limpia.	51	43	1,040	217	113	43	10,193
11	Impulso de los programas de autorregulación para las empresas de transporte con flotas de vehículos a diesel.	51	44	1,138	856	210	29	84,372
12	Promover la instalación estratégica de bases para taxis en el Distrito Federal.	41	22	42,808	4,724	3,231	984	493,091
13	Regulación de la circulación de vehículos de carga en rutas seleccionadas.	748	622	77,961	4,926	4,547	707	658,863
14	Fomentar la utilización del transporte escolar en la ZMVM.	31	8	8,820	709	733	204	470,958
15	Promoción del uso de la bicicleta como medio alternativo de transporte no contaminante.	12	6	7,431	704	1,094	237	132,138
16	Establecimiento de metas de reducción de emisiones para la industria y los servicios.	1,608	NE	NE	NE	72,068	NE	NE
17	Aplicación de programas de reducción de gases de efecto invernadero en establecimientos industriales y de servicios.	29	29	76	577	17	NE	977,995
18	Actualización de las normas de emisión de partículas sólidas en la industria y desarrollar las correspondientes para el control de compuestos orgánicos volátiles.	NE	NE	NA	NA	21,102	NE	NA
19	Operación de la Línea 12 del METRO.	10	5	7,217	672	968	246	124,512
20	Operación de líneas de tren suburbano.	6	3	4,931	450	656	163	83,001
21	Incrementar el número de las rutas de METROBUS Y MEXIBUS.	4	2	4,676	916	1,437	56	161,325
	<b>TOTAL</b>	<b>3,558</b>	<b>1,554</b>	<b>334,162</b>	<b>33,749</b>	<b>122,987</b>	<b>5,409</b>	<b>5'509,294</b>

Nota: La memoria de cálculo para la construcción de esta tabla se encuentra en el Anexo 7.

NA: No es aplicable; NE: No estimado

Con el propósito de conocer cuáles pueden ser los beneficios en la calidad del aire con la aplicación de las medidas seleccionadas y presentadas en la Tabla 6.6.1 se realizaron simulaciones utilizando el modelo Multi-Scale Climate Chemistry Model (MCCM), el cual

permite relacionar las concentraciones de ozono en la atmósfera con las emisiones de la región (SMA- GDF, 2010). Para esto, se establecieron los tres escenarios siguientes:

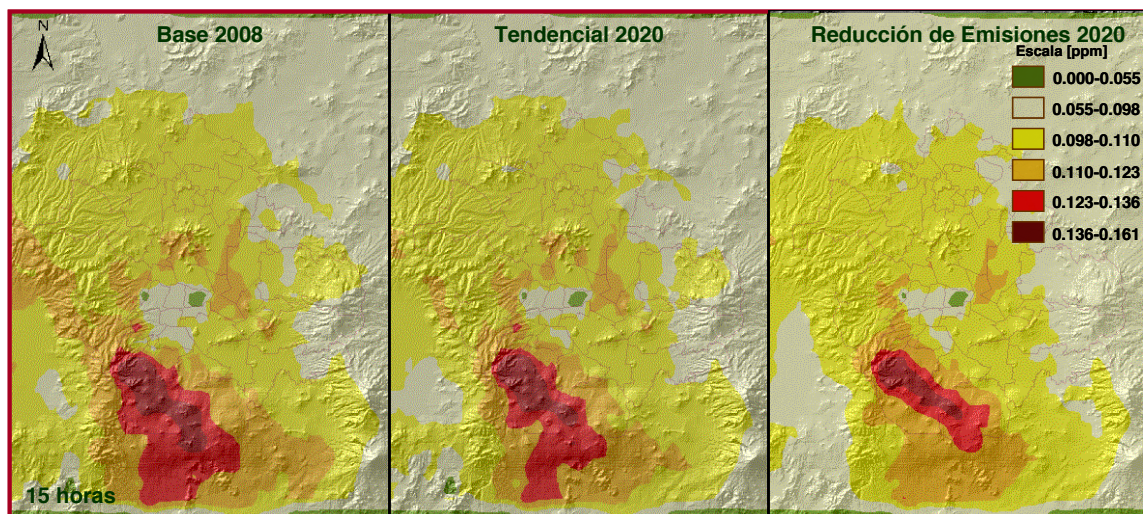
- Caso base 2008: En este escenario se incluyen las emisiones de contaminantes criterio de la ZMVM del año 2008.
- Tendencial 2020: En este escenario se incluye la proyección de las emisiones del año 2008 hacia el año 2020.
- Reducción de emisiones 2020: En este escenario, se resta la reducción estimada de emisiones de las 21 medidas de la Tabla 6.6.1 al escenario tendencial 2020.

El periodo de modelación del 15 al 21 de abril de 2008 se determinó con análisis de clústers, empleando las variables meteorológicas de humedad relativa, temperatura y viento. El día elegido para hacer el análisis de la modelación fue el 21 de abril, el cual mostró concentraciones de ozono típicas para dicho período. Los mapas de concentraciones de ozono se compararon para las 15:00 y 16:00 horas del 21 de abril, debido a que en esta hora se han alcanzado concentraciones que han activado el Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas.

A continuación se presentan los resultados de la modelación fotoquímica para las 15:00 horas del 21 de abril de 2008. En el análisis de estos resultados se comparan las concentraciones de ozono bajo las condiciones de emisión del caso base (CB), el escenario tendencial con las emisiones proyectadas al año 2020 (TEN20) y el escenario en el cual se consideró la aplicación de medidas de reducción de emisiones en el año 2020 (RED20). Ver Anexo 8.

Se observa en el Mapa 6.6.1 un incremento en la concentración máxima de ozono del año 2008 al año 2020 (0.148 ppm a 0.153 ppm), y una disminución en la concentración máxima de ozono de 0.153 ppm (TEN20) a 0.147 ppm (RED20), al aplicar las reducciones de emisiones en el año 2020.

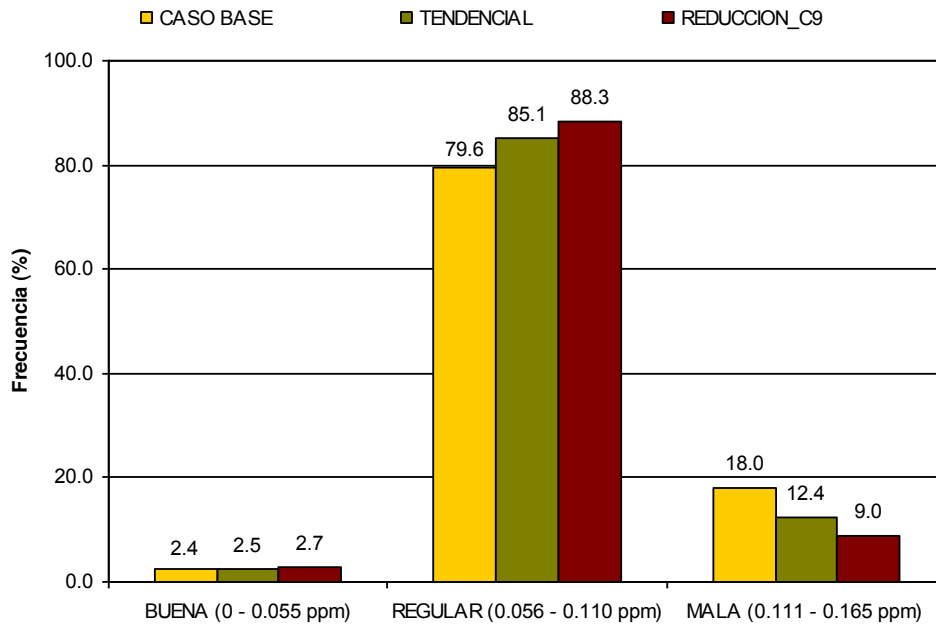
**Mapa 6.6.1. Visualización de las concentraciones de ozono a las 15 horas para los escenarios: Base 2008, Tendencial 2020 y Reducción de emisiones 2020**



Es importante resaltar que al comparar en el año 2020 los escenarios TEN20 vs. RED20, se aprecia que la región afectada por concentraciones superiores a la norma de ozono (0.11 ppm) disminuyen con la reducción de emisiones por las medidas seleccionadas que se presentan en la Tabla 6.6.1. Es por ello que el mapa muestra una menor área de tonos anaranjados y rojizos, misma que representa concentraciones de ozono superiores a la norma.

Lo anterior se muestra mejor en la Gráfica 6.6.1 en donde se observa que las concentraciones de ozono por debajo de la norma aumentan en un 7 por ciento en el 2020 (TEN20) respecto a lo estimado para el 2008 (CB); y al aplicar medidas de control en el 2020 (RED20 vs. TEN20), la cobertura con concentraciones por debajo de la norma se incrementa otro 4 por ciento. Es decir que en la ZMVM en el año 2020 la implementación de acciones para el control de emisiones favorecería la ampliación de la cobertura geográfica con calidad del aire regular y buena, aún en la hora en que normalmente se presenta la máxima concentración de ozono.

**Gráfica 6.6.1. Distribución de frecuencias de las concentraciones de ozono a las 15 horas**

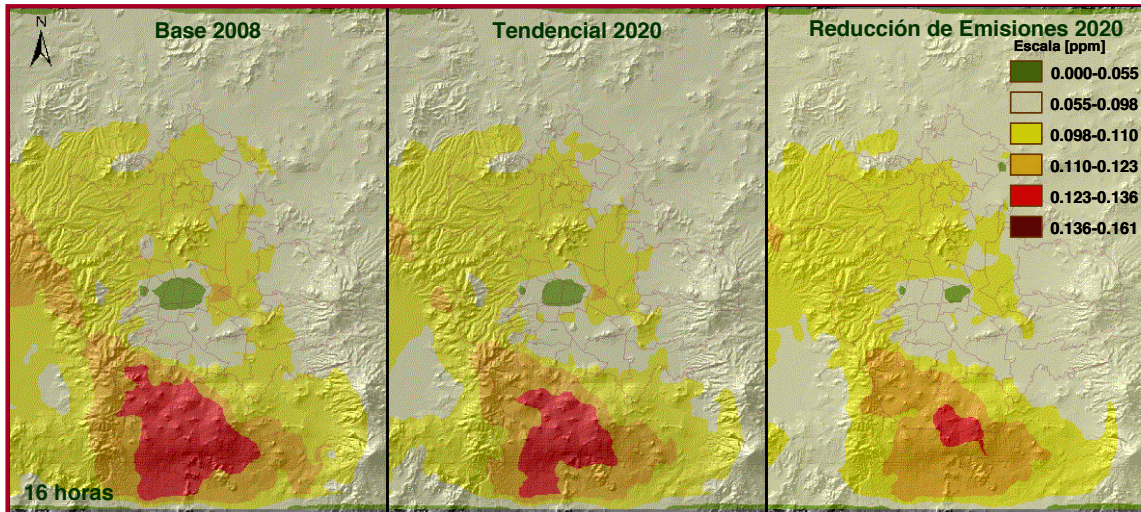


El modelo indica que si se aplican las medidas de reducción de emisiones en comento al año 2020, se reduciría en un 50 % el área geográfica con mala calidad del aire. O bien, el área con calidad del aire buena y regular se ampliaría respecto del caso base en 1,512 Km<sup>2</sup> si se aplicaran las medidas propuestas de control de emisiones.

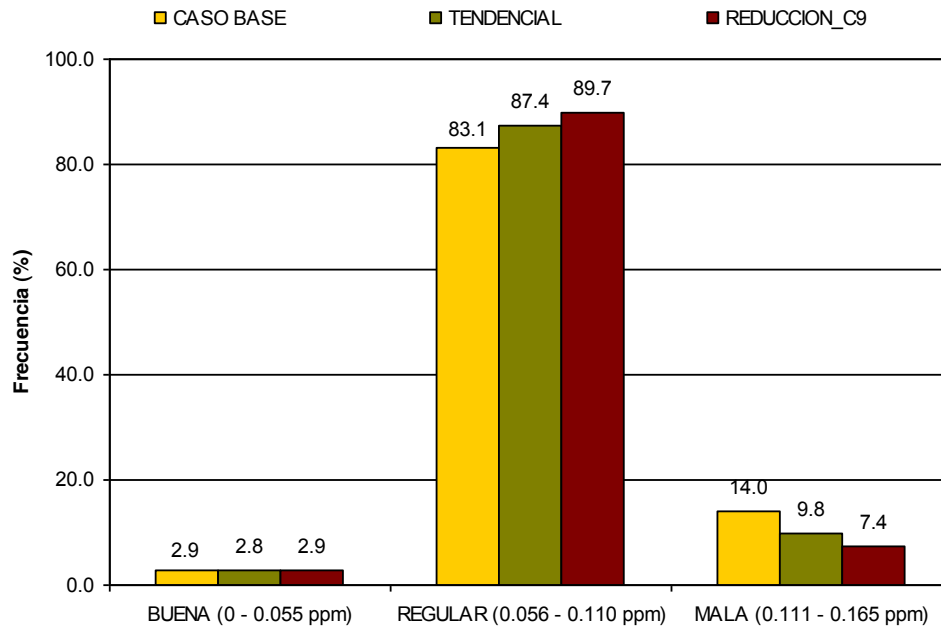
La comparación de escenarios a las 16:00 hrs. se da en un momento en el que las concentraciones han empezado a disminuir. El Mapa 6.6.2 muestra que en el año 2020 se estima una mayor disminución en las concentraciones de ozono que en el año 2008, pues éstas pasaron de 0.137 ppm en 2008 a 0.131 en 2020. La aplicación de medidas de reducción de emisiones en el año 2020 permitiría que la concentración máxima de ozono a ésta hora bajara a 0.126 ppm (RED20).

Finalmente, en la Gráfica 6.6.2 se muestra que las concentraciones de ozono menores al valor de la norma, aumentarían su presencia ó cobertura geográfica en 8%. Esto implica que la calidad el aire regular y buena amplíe su cobertura en 1,120 Km<sup>2</sup>.

**Mapa 6.6.2 Visualización de las concentraciones de ozono a las 16 horas para los escenarios: Base 2008, Tendencial 2020 y Reducción de emisiones 2020**



**Gráfica 6.6.2 Distribución de frecuencias de las concentraciones de ozono a las 16 horas**



## **6.7 Conclusiones**

Como conclusiones de estos ejercicios de modelación se pueden mencionar las siguientes:

- Las medidas tradicionales aplicadas hasta ahora siguen presentando márgenes de efectividad para reducir la frecuencia con la que se dan concentraciones de ozono por arriba de la NOM correspondiente.
- La aplicación de medidas de tipo estructural que permitan disminuir el número de kilómetros recorridos en la ZMVM, el consumo de combustibles y las emisiones contaminantes asociadas, se revelan ahora como una opción oportuna y de alto potencial para continuar avanzando en la mejora de la calidad del aire de la ZMVM.
- Esto requiere de la aplicación decidida y completa del conjunto de medidas de este PROAIRE 2011-2020, que garantice el cumplimiento de las normas oficiales mexicanas de protección a la salud de la población por exposición a contaminantes del aire.

# Cuarta parte

---

## Medidas propuestas para el período 2011-2020

---

Capítulo 7. Eje rector y lineamientos estratégicos

Capítulo 8. Medidas y acciones del  
PROAIRE 2011-2020

---



# Capítulo 7

## Eje rector y lineamientos estratégicos

El enfoque propuesto en este PROAIRE 2011-2020 se consolida con la definición de un eje rector y un paquete de estrategias, que son las que trazan las rutas a seguir en el mapa del trabajo que debe realizarse para avanzar cuantitativa y cualitativamente en la gestión de la calidad del aire.

**EL EJE RECTOR DEL PROAIRE 2011-2020 ES:**

ESTABLECER UN ENFOQUE ECOSISTÉMICO EN LA GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE DE LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO.

En el marco de este eje rector, el PROAIRE está constituido por 8 estrategias, mismas que contienen en total 81 medidas y 116 acciones. Cada estrategia incluye un cierto número de medidas y éstas contienen una o más acciones específicas. Las estrategias son:

ESTRATEGIA 1:	AMPLIACIÓN Y REFUERZO DE LA PROTECCIÓN A LA SALUD
ESTRATEGIA 2:	DISMINUCIÓN ESTRUCTURAL DEL CONSUMO ENERGÉTICO DE LA ZMVM
ESTRATEGIA 3:	CALIDAD Y EFICIENCIA ENERGÉTICAS EN TODAS LAS FUENTES
ESTRATEGIA 4:	MOVILIDAD Y REGULACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO DEL PARQUE VEHICULAR
ESTRATEGIA 5:	CAMBIO TECNOLÓGICO Y CONTROL DE EMISIONES
ESTRATEGIA 6:	EDUCACIÓN AMBIENTAL, CULTURA DE LA SUSTENTABILIDAD Y PARTICIPACIÓN CIUDADANA
ESTRATEGIA 7:	MANEJO DE ÁREAS VERDES, REFORESTACIÓN Y NATURACIÓN URBANAS
ESTRATEGIA 8:	FORTALECIMIENTO INSTITUCIONAL E INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Los elementos que definen a cada una de las estrategias son los siguientes:



### ***Estrategia 1: Ampliación y refuerzo de la protección a la salud***

El reto estratégico fundamental del PROAIRE 2011-2020 es cómo responder a la exigencia de ampliar y mejorar la protección a la salud de toda la población. Bajo ese marco de referencia, esta primera estrategia incluye una serie de medidas que ponen el énfasis en la utilización de la evidencia científica más reciente en materia de afectaciones de la contaminación atmosférica sobre la salud humana, para proponer 16 acciones específicas que abarcan aspectos como la actualización del marco reglamentario correspondiente, la consideración de las repercusiones del cambio climático, la homologación de las normas en materia de calidad del aire con estándares internacionales, la exposición ambiental no sólo a contaminantes criterio sino también a sustancias tóxicas y el establecimiento de sistemas de prevención, comunicación y alerta temprana. Se pretende que con este paquete de acciones se logre avanzar en la ampliación y el refuerzo de la protección de la salud de la población.

### ***Estrategia 2: Disminución estructural del consumo energético de la ZMVM***

La perspectiva desarrollada en este PROAIRE 2011-2020 para abordar el problema de la calidad del aire con una visión ecosistémica, requiere del establecimiento de medidas que permitan avanzar en la comprensión del ecosistema metropolitano. Las medidas incluidas en esta estrategia apuntan al desarrollo de un cuerpo de conocimientos con enfoque ecosistémico que permita identificar y estudiar las relaciones existentes entre aspectos como el desarrollo urbano y la estructura metropolitana que éste ha generado, el marco jurídico institucional que incide en la ZMVM y regula su funcionamiento y su cultura, por un lado, con el consumo energético y la emisión de contaminantes criterio, contaminantes tóxicos y gases y compuestos de efecto invernadero, por el otro. Esta visión es asimismo la que se requiere tanto para mejorar la planeación e integración de las redes de transporte como para afrontar los riesgos del cambio climático desde la perspectiva urbana, especialmente ante los pronósticos internacionalmente aceptados que hablan de un proceso continuo de emigración de las zonas rurales a las ciudades. La eventual aplicación de las acciones propuestas con esta perspectiva permitiría además avanzar en la disminución de la entropía urbana, esto es del consumo energético estructural de la ZMVM, y elevar el nivel de eficiencia con el que funciona la misma, lo cual produciría beneficios ambientales, económicos y sociales sostenibles y perdurables.

### ***Estrategia 3: Calidad y eficiencia energéticas en todas las fuentes***

Considerados como los temas relevantes en la lucha contra la contaminación atmosférica y el cambio climático, la calidad de los combustibles y la eficiencia energética de todos los procesos generadores de emisiones son los aspectos que constituyen las medidas y acciones de esta estrategia. El propósito en este caso es continuar con el mejoramiento de los combustibles y ampliar el menú de opciones para incrementar la calidad y eficiencia energéticas y obtener cobeneficios permanentes en materia de ahorro energético y reducción de emisiones contaminantes.

### ***Estrategia 4: Movilidad y regulación del consumo energético del parque vehicular***

Además de la exigencia de continuar con los esfuerzos para incrementar la oferta de transporte público de mediana y alta capacidad, se reconoce la necesidad de mejorar

la eficiencia general de los sistemas de transporte que operan en la ZMVM. El tema de la eficiencia es crucial no sólo para poder ampliar los alcances y la calidad del servicio de las redes de transporte, así como para aprovechar las economías de red, de escalas y de alcance, sino para regular el consumo energético del parque vehicular. No basta mejorar la movilidad, es necesario mejorarla incrementando la eficiencia energética de los vehículos automotores y promoviendo medios de transporte no contaminante.

Por ello en esta estrategia se insiste en el tema de la regulación del consumo energético de los vehículos y se incluyen medidas relacionadas con la planeación sistémica e interdisciplinaria de las redes metropolitanas de transporte, la proliferación de nodos de interconexión y de estaciones intermodales, la construcción de estacionamientos planeados para facilitar la alimentación de rutas y los viajes intermodales, el uso de tecnologías que permitan ofrecer públicamente información en tiempo real sobre el estado de la circulación vehicular en la ZMVM, reordenar las rutas y el acceso de vehículos de carga y poner en marcha acciones para controlar y regular las obstrucciones formales e informales, temporales y permanentes, que afectan el flujo vehicular, entre otras medidas.

### ***Estrategia 5: Cambio tecnológico y control de emisiones***

La continuación de una amplia gama de medidas relacionadas con esfuerzos que se vienen haciendo desde hace varios años, es igualmente importante. La variedad de sectores y giros de actividad que abarca esta estrategia es muy grande y las medidas son igualmente diversas. Se trata entre otros aspectos de cubrir los rezagos en la normatividad aplicable para abatir las emisiones tóxicas provenientes de solventes orgánicos; de reducir las emisiones de mercurio, dioxinas y furanos; del fortalecimiento de las capacidades técnicas, de formación de personal y de equipamiento en la actividad de inspección y vigilancia para mejorar el cumplimiento de la legislación ambiental correspondiente; de implantar esquemas adecuados que promuevan e incentiven la autorregulación ambiental en la industria; de normar, desde el punto de vista ambiental, los límites de emisiones de gases y partículas de calentadores de agua, de proceso y de calderas que no están considerados en la normatividad actual y de establecer un sistema de monitoreo continuo y en tiempo real en las plantas generadoras de energía eléctrica, entre otras tantas medidas.

### ***Estrategia 6: Educación ambiental, cultura de la sustentabilidad y participación ciudadana***

El enfoque ecosistémico de la gestión de la calidad del aire exige no solo reforzar la currícula de la educación formal y fomentar la educación ambiental no formal, sino considerar los efectos producidos por: la elaboración de los planes, programas y ordenamientos legales que regulan el funcionamiento de la ZMVM, la participación social, los hábitos de la población y la cultura organizacional tanto de empresas e instituciones públicas como privadas, sobre aspectos como la organización espacial metropolitana, la generación de viajes, el consumo energético y consecuentemente sobre la emisión de contaminantes atmosféricos.

Desde esa perspectiva, la educación ambiental, así como la participación social en el marco conceptual de la sostenibilidad, presentan grandes márgenes de maniobra si se les enriquece con una visión sistémica que ayude a identificar y relacionar los aspectos mencionados con otros aparentemente inconexos pero que en la vida real tienen efectos sobre la calidad del aire.

Estratégicamente hablando, es un reto mayor propiciar los cambios educativos y culturales, así como la participación social, que ayuden a mejorar la eficiencia del ecosistema metropolitano. Se trata de elevar la eficiencia y la eficacia de los ordenamientos legales, de cambiar la percepción y la conducta de la población para reducir las necesidades de desplazamiento en vehículos motorizados, disminuir el tiempo total destinado a los trayectos cotidianos, coadyuvar en el incremento de la productividad de las personas económica y académicamente activas, elevar la eficiencia de todo tipo de organizaciones, reducir la huella ecológica, disminuir los costos totales del funcionamiento de empresas públicas y privadas, promover el trabajo espacial y temporalmente distribuido, establecer horarios escalonados, incrementar el reúso y reciclaje de materiales y de maximizar el consumo responsable.

### ***Estrategia 7: Manejo de áreas verdes, reforestación y naturación urbanas***

La ZMVM está aún lejos de la proporción recomendada internacionalmente entre áreas verdes y áreas urbanizadas, lo cual contribuye no solamente al empobrecimiento de la calidad del entorno urbano y por lo tanto al de la calidad de vida, sino a la proliferación de islas de calor, a la afectación del ciclo hidrológico y a la resuspensión de partículas. Asimismo es necesario fortalecer el manejo de las áreas naturales y evitar las prácticas de tala forestal, así como del uso de tecnologías adecuadas en la producción agrícola y agropecuaria dentro de la ZMVM.

Esta estrategia incluye las medidas y acciones necesarias para fomentar y propiciar un proceso de cambio cultural que generalice el aprecio y las bondades de vivir en un entorno verde, que reconozca las ventajas ambientales y sociales del incremento de la proporción de áreas verdes y generalice el uso de ecotecnias y mejores prácticas de producción en áreas naturales.

Se reconoce la importancia que puede llegar a tener la naturación de azoteas y fachadas para regular la temperatura de los inmuebles y de las áreas urbanas, para moderar los microclimas del entorno y para incrementar la humedad relativa, disminuyendo con ello los efectos de las islas urbanas de calor. Se insiste en su función para capturar partículas suspendidas y como aislamientos acústicos, así como en la reducción del uso de aire acondicionado y su consecuente ahorro de energía.

### ***Estrategia 8: Fortalecimiento institucional e investigación científica***

La Comisión Ambiental Metropolitana ha concentrado históricamente sus acciones en la gestión de la calidad del aire, sin embargo, para ampliar su enfoque estratégico en la búsqueda de más soluciones al problema de la contaminación atmosférica requiere avanzar en la instrumentación de una agenda de sostenibilidad ambiental metropolitana, incorporando la visión ecosistémica propuesta en este PROAIRE.

Como una consecuencia natural de dicho proceso será necesario ampliar el espectro de temas ambientales considerados de relevancia para la ZMVM, lo cual requiere a su vez del desarrollo de estudios e investigación científica y tecnológica que permitan comprender mejor el funcionamiento del ecosistema metropolitano.

Es por ello que esta estrategia propone el fomento de la investigación en temas que, de una u otra manera, participan en el mapa ecosistémico de la ZMVM y que abarcan aspectos de salud ambiental, aspectos de la química y físico-química atmosférica, de la meteorología y clima de la ZMVM, aplicación de nuevas tecnologías, exploración de

nuevos mecanismos para la regulación y administración de la circulación vehicular, nuevas formas de abordar los efectos del cambio climático y cambio cultural, entre otros.

El desarrollo, elaboración y aplicación de las acciones previstas en este programa requieren del uso de recursos financieros, los cuales tendrán que provenir de varias fuentes. En algunos casos se tendrá que recurrir a recursos fiscales, en otros a recursos no tributarios, en ocasiones a fondos internacionales y cuando se trata de acciones que corresponden a los actores privados o sociales, se contará con inversión privada.



## Capítulo 8.

# Medidas y acciones del PROAIRE 2011-2020

Las 116 acciones descritas en este capítulo se agrupan en 81 medidas, las cuales se alinean en 8 estrategias que abordan, desde diferentes perspectivas, aquellos aspectos que deben ser tomados en cuenta para desarrollar un manejo ecosistémico de la calidad del aire. Para cada una de las acciones se define un objetivo específico, se identifican los actores responsables, se presenta un diagrama que facilita su ubicación e integración en el mapa ecosistémico, se ofrece una justificación, se presenta una descripción sucinta de la misma, se adelanta un calendario de ejecución y se estiman algunos de los beneficios y costos de su implementación. Finalmente, para todas las acciones se incluye una tabla que identifica aquellos contaminantes involucrados o cuyas emisiones se verían disminuidas como consecuencia de los efectos directos e indirectos de su aplicación.

**Tabla 8.1. Las 81 medidas y 116 acciones del PROAIRE 2011-2020, agrupadas por estrategia**

ESTRATEGIA 1: AMPLIACIÓN Y REFUERZO DE LA PROTECCIÓN A LA SALUD	
1	Actualización de los marcos legales de gestión de la calidad del aire en sus órdenes federal y local.
	Acción 1.1. Actualizar los reglamentos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente y de la legislación ambiental del Distrito Federal y del Estado de México en materia de contaminación del aire.
2	Actualización del marco legal federal para la protección de la salud por exposición a la contaminación atmosférica y al cambio climático.
	Acción 2.1. Actualizar la Ley General de Salud, su reglamento y las Normas Oficiales Mexicanas que establecen los criterios de calidad del aire.
3	Fortalecimiento del sistema de alerta temprana en materia de salud ambiental.
	Acción 3.1. Fortalecer el sistema de alerta temprana a niveles federal y local.
4	Implementación de un sistema de comunicación de riesgos para la ZMVM.
	Acción 4.1. Diseñar e implementar un sistema de comunicación oportuna de riesgos. Acción 4.2. Desarrollar un programa de comunicación y fomento sanitario para la prevención de riesgos sanitarios originados por el cambio climático.
5	Actualización del Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas.
	Acción 5.1. Establecer nuevos niveles de activación para contingencias por ozono y PM <sub>10</sub> . Acción 5.2. Establecer valores de activación de contingencia por PM <sub>2.5</sub> . Acción 5.3. Actualizar las acciones que debe aplicar cada uno de los actores incluidos en el programa, así como los tiempos correspondientes de inicio y terminación. Acción 5.4. Diseñar y aplicar un subprograma de exención en diferentes fases del programa por reducción de emisiones de COV.
6	Prevención de los efectos del cambio climático en la salud humana.
	Acción 6.1. Desarrollar un sistema de prevención y alerta contra riesgos sanitarios ante el cambio climático. Acción 6.2. Evaluar escenarios de cambio climático en diferentes grupos vulnerables.

	Acción 6.3. Desarrollar un sistema de prevención y alerta por enfermedades de transmisión por vectores.
7	Establecimiento de un Sistema de Evaluación de Costos Económicos Asociados a los Efectos en Salud.
	Acción 7.1. Diseñar e implementar un sistema permanente de evaluación económica de los costos en salud.
8	Rediseño y actualización del SIMAT.
	Acción 8.1. Realizar diagnósticos del Sistema de Monitoreo Atmosférico, en términos de su representatividad, cobertura espacial y operación. Acción 8.2. Reforzar el monitoreo de la calidad del aire.
9	Construcción de un Sistema de Indicadores de la Calidad del Aire.
	Acción 9.1. Revisar los indicadores actuales y construir los necesarios para contar con un sistema que permita medir espacial y temporalmente los contaminantes.

ESTRATEGIA 2: DISMINUCIÓN ESTRUCTURAL DEL CONSUMO ENERGÉTICO DE LA ZMVM	
10	Creación de un programa permanente de análisis ecosistémico de la ZMVM.
	Acción 10.1. Diseñar e iniciar los trabajos de un programa de análisis ecosistémico de la ZMVM. Acción 10.2. Desarrollar la argumentación técnica necesaria para proponer cambios en los criterios de zonificación y de usos e intensidades del suelo en áreas urbanas. Acción 10.3. Analizar y desarrollar los criterios técnicos necesarios para proponer esquemas que orienten la delimitación y caracterización del crecimiento de las áreas urbanas. Acción 10.4. Desarrollar los argumentos técnicos para proponer un enfoque ecosistémico en la elaboración de los planes y programas delegacionales y municipales de desarrollo urbano, vialidad y transporte. Acción 10.5. Considerar un enfoque ecosistémico en la definición de los criterios que determinen el tipo de desarrollo permitido en áreas urbanas contenidas en o colindantes con las áreas naturales de la ZMVM.
11	Creación de subcentros urbanos en las cuencas de aquellas estaciones del Metro que tienen actualmente capacidad ociosa.
	Acción 11.1. Desarrollar los criterios y los argumentos técnico-normativos que demuestren la viabilidad y los beneficios urbanos, económicos, ambientales y sociales de un mejor aprovechamiento de la red del Metro.
12	Consideración, en la planeación urbana, de criterios que minimicen el consumo energético del ciclo físico espacial del abastecimiento y drenaje de las aguas en la ZMVM.
	Acción 12.1. Desarrollar los elementos técnicos que expliquen las relaciones existentes entre las características de la estructura urbana y el consumo energético del abastecimiento de agua potable y del desagüe de aguas residuales.
13	Consideración, en la planeación urbana, de criterios que minimicen el consumo energético del ciclo físico espacial de los residuos sólidos en la ZMVM.
	Acción 13.1. Desarrollar criterios técnicos y normativos que puedan ser usados para reducir los costos ambientales del ciclo de manejo de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

ESTRATEGIA 3: CALIDAD Y EFICIENCIA ENERGÉTICAS EN TODAS LAS FUENTES	
14	Modernización y homologación del programa de verificación vehicular.
	Acción 14.1. Modernizar el equipamiento de los centros de verificación vehicular de la ZMVM. Acción 14.2. Desarrollar y aplicar normas oficiales mexicanas para la evaluación de las emisiones provenientes de motocicletas nuevas y en circulación en la ZMVM. Acción 14.3. Homologar los procedimientos y criterios de verificación de los vehículos con placas federales y locales.
15	Fortalecimiento del programa de sustitución de convertidores catalíticos.
	Acción 15.1. Fortalecer la aplicación del programa para la sustitución de convertidores catalíticos.
16	Modernización del programa de detección y retiro de vehículos ostensiblemente contaminantes.
	Acción 16.1. Fortalecer el programa ostensiblemente contaminante con nuevo equipo para su operación y tecnología de detección.

17	Promover el uso de vehículos híbridos y eléctricos para uso particular, de transporte público y de carga.
	Acción 17.1. Crear instrumentos que fomenten el uso de vehículos híbridos y eléctricos.
18	Modernización del programa "Hoy No Circula" (HNC).
	Acción 18.1. Actualizar el Programa "Hoy No Circula". Acción 18.2. Promover mecanismos para desincentivar el uso de vehículos con carburador.
19	Actualizar la normatividad para vehículos automotores.
	Acción 19.1. Publicar la NOM de eficiencia energética para vehículos nuevos. Acción 19.2. Revisar y actualizar las Normas Oficiales Mexicanas relativas a vehículos en circulación.
20	Maximizar el aprovechamiento del diesel de ultrabajo azufre disponible en la ZMVM en flotas que circulen dentro de ésta.
	Acción 20.1. Fomentar la introducción de vehículos y motores con tecnologías de control avanzadas en flotas gubernamentales y de empresas privadas.
21	Renovación de vehículos a diesel con sustitución de motores y adaptación de sistemas de control de emisiones.
	Acción 21.1. Diseñar un programa de sustitución de motores a diesel con más de 10 años de operación y adaptación de equipos de control de emisiones.
22	Renovación de las flotas vehiculares de transporte de pasajeros de baja, mediana y alta capacidad.
	Acción 22.1. Renovar la flota vehicular de transporte de pasajeros de baja, mediana y alta capacidad de la ZMVM.
23	Promoción del uso de energías y combustibles alternos.
	Acción 23.1. Promover el uso de combustibles menos contaminantes en vehículos de transporte público de pasajeros y de carga. Acción 23.2. Promover el uso de combustibles gaseosos en establecimientos industriales y de servicios.
24	Modernización de la flota vehicular del servicio de limpia.
	Acción 24.1. Renovar la flota vehicular del servicio de limpia por vehículos eficientes y con bajas emisiones contaminantes.
25	Impulso de los programas de autorregulación para las empresas con flotas de vehículos a diesel.
	Acción 25.1. Fortalecer el programa de autorregulación de vehículos a diesel.
26	Incremento del uso de energía solar para calentamiento de agua.
	Acción 26.1. Fomentar el uso de energía solar para el calentamiento de agua en los sectores doméstico, comercial, de servicios e industrial.
27	Reemplazo de lámparas de alumbrado público por sistemas ahorradores de energía.
	Acción 27.1. Reemplazar las lámparas de alumbrado público por sistemas ahorradores de energía que incluyan focos y lámparas con nuevas tecnologías y la relocalización de éstas para incrementar su eficacia en términos de cobertura.
28	Promoción de sistemas de iluminación eficiente en edificios públicos, privados y desarrollos inmobiliarios.
	Acción 28.1. Aplicar programas de sustitución de sistemas de iluminación y de mejora de la eficiencia energética en inmuebles públicos y privados.
29	Inclusión de criterios ambientales y de eficiencia energética en el diseño, construcción y remodelación de inmuebles.
	Acción 29.1. Desarrollar y homologar la normatividad aplicable en la ZMVM, que incorpore criterios ambientales y de eficiencia energética en el diseño, construcción y remodelación de inmuebles. Acción 29.2. Elaborar un programa de conversión sustentable en inmuebles construidos



ESTRATEGIA 4: MOVILIDAD Y REGULACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO DEL PARQUE VEHICULAR	
30	Planeación de las redes de transporte como un solo sistema metropolitano.
	Acción 30.1. Promover el desarrollo de una herramienta de planeación metropolitana en materia de transporte. Acción 30.2. Establecer estacionamientos planeados para mejorar la eficiencia del sistema de transporte metropolitano. Acción 30.3. Continuar con el establecimiento de rutas express, locales y metropolitanas de transporte público, así como continuar promoviendo la construcción de los sistemas de transporte público de alta capacidad y eficiencia. Acción 30.4. Promover la instalación estratégica de bases para taxis en el Distrito Federal.
31	Reordenación de las paradas para el transporte público de pasajeros.
	Acción 31.1. Fortalecer los sistemas de paradas del transporte público.
32	Creación de la red de monitoreo en tiempo real de los flujos vehiculares de la ZMVM.
	Acción 32.1. Diseñar, desarrollar y poner en operación una red que monitoree e informe en tiempo real sobre la situación de los principales flujos vehiculares en la ZMVM.
33	Regulación de la circulación de vehículos de carga en rutas seleccionadas.
	Acción 33.1. Concertar con el sector transporte de carga un programa que oriente la circulación de estos vehículos.
34	Consideración del marco ecosistémico de la ZMVM en la planeación de los nuevos proyectos de transporte público y vialidades.
	Acción 34.1. Utilizar el marco ecosistémico para identificar principios, relaciones funcionales y aspectos críticos a tomar en cuenta dentro del proceso de planeación conjunta de nuevos proyectos de transporte y vialidades.
35	Elaboración de un programa de agilización permanente de los flujos vehiculares.
	Acción 35.1. Identificar, catalogar y analizar todo tipo de reductores y obstrucciones del flujo vehicular para proponer medidas y acciones que agilicen permanentemente la circulación de los vehículos en el sistema vial metropolitano.
36	Revisión de la normatividad metropolitana para mejorar la circulación vehicular.
	Acción 36.1. Ofrecer elementos normativos para minimizar los incrementos en la emisión de contaminantes atmosféricos causados por obstrucciones viales asociadas a eventos masivos y de alta atracción de viajes. Acción 36.2. Promover la elaboración de un sistema metropolitano de señalización.
37	Fomento del uso de transporte escolar.
	Acción 37.1. Fomentar la utilización del transporte escolar en la ZMVM.
38	Diseño y aplicación de un programa de transporte de personal a nivel metropolitano.
	Acción 38.1. Promover el servicio de transporte de personal en la ZMVM. Acción 38.2. Promover el uso del automóvil compartido en instituciones públicas y privadas.
39	Promoción del uso de la bicicleta como medio alternativo de transporte no contaminante.
	Acción 39.1. Promover el uso de la bicicleta como un medio de transporte en la ZMVM.
40	Modernización de los paraderos del transporte en la ZMVM.
	Acción 40.1. Ofrecer elementos ecosistémicos para incrementar el número de paraderos y modernizar los existentes.
41	Suministro de combustible a las estaciones de servicio en horario nocturno.
	Acción 41.1. Acordar con PEMEX un programa de suministro nocturno de estaciones de servicio.
42	Regulación de la circulación de vehículos cuyo único propósito sea el de la publicidad móvil.
	Acción 42.1. Regular la circulación de vehículos utilizados para fines publicitarios.
43	Desarrollo de un sistema de movimiento de carga que considere la ubicación espacial de sitios de almacenamiento y centros de distribución.
	Acción 43.1. Diseñar un sistema logístico de movimiento de carga en la ZMVM.
44	Revisar la licencia ambiental para que incluya las emisiones generadas por trayectos vehiculares asociados a la operación de establecimientos públicos y privados.
	Acción 44.1. Actualizar el concepto de la licencia ambiental para que incluya el total de las emisiones asociadas a la operación de todo tipo de establecimientos.

ESTRATEGIA 5: CAMBIO TECNOLÓGICO Y CONTROL DE EMISIONES	
45	Elaboración de normas para reducir el contenido de solventes orgánicos en productos de consumo personal y de uso en servicios.
	Acción 45.1. Desarrollar normas para reducir el contenido, toxicidad y la reactividad de los compuestos orgánicos que se utilizan en productos de consumo personal y de limpieza en la industria y los servicios.
46	Elaboración de normas para el control de emisiones de mercurio, dioxinas y furanos.
	Acción 46.1. Desarrollar la normatividad necesaria para limitar las emisiones de mercurio, dioxinas y furanos.
47	Establecimiento de metas de reducción de emisiones para la industria y los servicios.
	Acción 47.1. Establecer instrumentos de reducción adicional de emisiones con la iniciativa privada.
48	Fortalecimiento de la supervisión y la vigilancia para que se cumplan las normas federales y locales en materia ambiental.
	Acción 48.1. Fortalecer los programas de vigilancia e inspección ambiental.
49	Ampliación de los alcances de los programas de producción más limpia.
	Acción 49.1. Rediseñar los programas de autorregulación y de auditoría ambiental en la industria. Acción 49.2. Promover programas de producción más limpia.
50	Revisión y verificación del funcionamiento de sistemas de recuperación de vapores instalados en las estaciones de servicio.
	Acción 50.1. Verificar los sistemas de recuperación de vapores en todas las estaciones de servicio de la ZMVM.
51	Establecimiento de límites de emisión de gases y partículas para calentadores de agua, pequeñas calderas y calentadores de proceso.
	Acción 51.1. Desarrollar la normatividad para fijar los límites de emisiones en calentadores y calderas.
52	Aplicación de programas de reducción de gases de efecto invernadero en establecimientos industriales y de servicios.
	Acción 52.1. Desarrollar programas para contribuir en la reducción de gases de efecto invernadero.
53	Reducción de emisiones industriales en el corredor Tula-Vito-Apaxco.
	Acción 53.1. Cambiar a combustibles más limpios e instalar sistemas de control de emisiones en centrales termoeléctricas, refinerías e industrias mayores.
54	Actualización de las normas de emisión de partículas en la industria y desarrollar las correspondientes para el control de compuestos orgánicos volátiles.
	Acción 54.1. Desarrollar la normatividad para limitar las emisiones de partículas y COV en la industria.
55	Reducción de las emisiones de hidrocarburos en lavanderías de lavado en seco.
	Acción 55.1. Desarrollar la normatividad para limitar las emisiones de HC en los procesos de lavado en seco.
56	Regulación de las emisiones en restaurantes y puestos de comida.
	Acción 56.1. Desarrollar la normatividad y los programas para regular las emisiones en locales de preparación y venta de alimentos.
57	Reducción de emisiones generadas por aguas residuales.
	Acción 57.1. Elaborar un estudio que permita conocer el volumen de las emisiones asociadas a las aguas residuales de la ZMVM.
58	Regulación de actividades de pintura al aire libre.
	Acción 58.1. Desarrollar la normatividad y los programas para regular las emisiones en actividades de pintado al aire libre.
59	Reducción de emisiones por fugas de gas LP en actividades de distribución y llenado, así como en instalaciones domésticas, comerciales y en el transporte.
	Acción 59.1. Elaborar un programa para la reducción de fugas en instalaciones de gas LP.
60	Captura y aprovechamiento del biogás producido en los sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos.
	Acción 60.1. Desarrollar programas para aprovechar el biogás producido en los sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos.

61	Regulación de la operación de plantas de emergencia que operen para la autogeneración y cogeneración de energía eléctrica.
	Acción 61.1. Elaborar la normatividad para regular las plantas de emergencia que son usadas como generadores eléctricos.
62	Reducción y monitoreo de las emisiones del sistema de generación eléctrica.
	Acción 62.1 Reforzar los programas de reducción de las emisiones en centrales termoeléctricas.

ESTRATEGIA 6: EDUCACIÓN AMBIENTAL, CULTURA DE LA SUSTENTABILIDAD Y PARTICIPACIÓN CIUDADANA	
63	Diseño y elaboración de un programa metropolitano de incentivos para que las empresas públicas y privadas hagan uso incremental del trabajo espacial y temporalmente distribuido (TETD).
	Acción 63.1. Aplicar un programa de reubicación de empleados públicos a oficinas cercanas a sus domicilios, para reducir tramos de viajes. Acción 63.2. Promover el escalonamiento de horarios de entrada y salida, el establecimiento de horarios corridos y el trabajo en casa en organizaciones públicas y privadas.
64	Fomento de la simplificación de trámites en dependencias gubernamentales y empresas privadas, incluyendo la eliminación del requerimiento de presencia física y promoción del uso intensivo de nuevas tecnologías de telecomunicaciones.
	Acción 64.1. Desarrollar reingenierías organizacionales y rediseños institucionales en oficinas públicas y privadas.
65	Promoción de la educación ambiental en el sistema nacional de educación y fomento a la educación ambiental no formal.
	Acción 65.1. Contribuir en la promoción y el fomento de programas de educación ambiental en el ámbito formal y no formal. Acción 65.2. Actualizar la información ambiental de calidad del aire, para los medios de comunicación.
66	Incorporación de la sociedad civil en la gestión de la calidad del aire en la ZMVM.
	Acción 66.1. Fomentar la participación ciudadana en la gestión de la calidad del aire. Acción 66.2. Evaluación permanente del PROAIRE de la ZMVM 2011-2020. Acción 66.3. Desarrollar campañas permanentes de educación vial.

ESTRATEGIA 7: MANEJO DE ÁREAS VERDES, REFORESTACIÓN Y NATURACIÓN URBANAS	
67	Recuperación, restauración, conservación y ampliación de áreas verdes urbanas para mitigar la resuspensión de partículas.
	Acción 67.1. Desarrollar programas de recuperación, restauración y conservación de áreas verdes urbanas en la ZMVM.
68	Promoción del uso de ecotecnias.
	Acción 68.1. Promover el conocimiento y el uso de ecotecnias para la conservación de los recursos naturales.
69	Revisión y modernización de los programas de prevención y combate de incendios forestales.
	Acción 69.1. Extender el uso y aprovechamiento de sistemas de detección telemática.
70	Modernización del monitoreo de las áreas de conservación ecológica y aplicación de esquemas de pago compensatorio por servicios ambientales.
	Acción 70.1. Establecer un sistema de monitoreo que informe de manera oportuna sobre las áreas susceptibles que se pueden incorporar a los programas de pago por servicios ambientales.
71	Elaboración e instrumentación de los planes de manejo para todas las Áreas Naturales Protegidas y Áreas de Valor Ambiental.
	Acción 71.1. Elaborar, actualizar e instrumentar los planes de manejo en Áreas Naturales Protegidas y Áreas de Valor Ambiental.
72	Actualización y modernización de los programas de reforestación.
	Acción 72.1. Fortalecer las tareas de reforestación en las áreas naturales protegidas, las de valor ambiental y en el suelo de conservación.

	Acción 72.2. Construir barreras naturales para mitigar la resuspensión de partículas y tolvaneras.
73	Recuperación de suelos erosionados en la ZMVM.
	Acción 73.1. Realizar trabajos para la recuperación de suelos erosionados.
74	Limpieza, pavimentación y estabilización de vialidades.
	Acción 74.1. Limpiar y pavimentar las vialidades que formen parte del área urbana.
75	Fortalecimiento de la vigilancia para la aplicación de la norma de quema de residuos agrícolas.
	Acción 75.1. Impulsar acciones para fortalecer la norma que regula las quemas agrícolas.
76	Elaboración e instrumentación de los programas de ordenamiento ecológico.
	Acción 76.1. Elaborar, actualizar e instrumentar los programas de ordenamiento ecológico.
77	Naturación de azoteas.
	Acción 77.1. Fomentar las actividades de naturación de azoteas en inmuebles públicos y privados.

ESTRATEGIA 8: FORTALECIMIENTO INSTITUCIONAL E INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA	
78	Fortalecimiento de los instrumentos de gestión de la calidad del aire.
	Acción 78.1. Actualizar los inventarios de emisiones.
79	Elaboración de estudios y fomento de la investigación científica necesaria para avanzar en el conocimiento de los temas relacionados con el manejo ecosistémico de la calidad del aire en la ZMVM.
	Acción 79.1. Elaborar un estudio que explore diversos esquemas de racionalización de la circulación vehicular.
	Acción 79.2. Investigar los efectos de la contaminación atmosférica en la salud de la población en la ZMVM.
	Acción 79.3. Realizar estudios de especiación de partículas para identificar sus posibles fuentes de emisión (antimonio, biopartículas, entre otros).
	Acción 79.4. Desarrollar una herramienta que permita construir escenarios para evaluar los efectos de reestructurar áreas de la ZMVM para la reducción de emisiones GEI.
	Acción 79.5. Instalar un laboratorio metropolitano de fuentes móviles.
	Acción 79.6. Realizar estudios sobre la dinámica y química atmosférica de la ZMVM.
	Acción 79.7. Realizar estudios para establecer indicadores de movilidad vehicular sustentable en la ZMVM.
	Acción 79.8. Elaborar un estudio para identificar los efectos de la contaminación atmosférica en la vegetación forestal y cultivos agrícolas.
80	Fortalecimiento institucional de la CAM.
	Acción 80.1. Fortalecer el trabajo institucional de la Comisión Ambiental Metropolitana.
81	Reactivación del Fideicomiso Ambiental del Valle de México (FIDAM).
	Acción 81.1. Restablecer un mecanismo que alimente de recursos financieros para la implementación de las medidas del PROAIRE (Fideicomiso 1490-FIDAM).

### **Nota sobre los diagramas de integración ecosistémica**

Cada acción incluye un diagrama que muestra de manera muy general las relaciones causales entre los principales aspectos a considerar, o las actividades a realizar, para la ejecución de la acción correspondiente. El sentido de la causalidad inicia en los círculos sólidos y termina mencionando al menos uno de los efectos esperados.

---

## ESTRATEGIA 1: AMPLIACIÓN Y REFUERZO DE LA PROTECCIÓN A LA SALUD

---

**MEDIDA 1: ACTUALIZACIÓN DE LOS MARCOS LEGALES DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN SUS ÓRDENES FEDERAL Y LOCAL.**

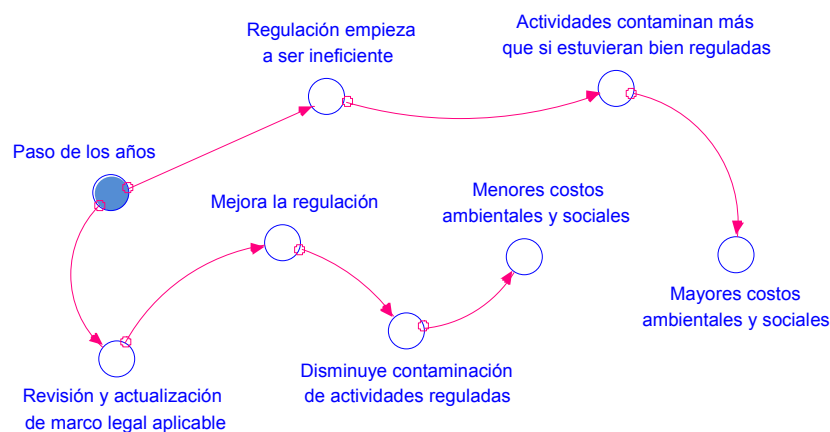
**Acción 1.1. Actualizar los reglamentos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente y de la legislación ambiental del Distrito Federal y del Estado de México en materia de contaminación del aire.**

**Objetivo**

Considerar e incluir las implicaciones de los avances tecnológicos y las experiencias acumuladas en materia de gestión de la calidad del aire, para fortalecer el marco jurídico y contar con un marco legal más moderno.

**Actores responsables:** SEMARNAT, SMAGDF y SMAGEM.

**Integración ecosistémica**



**Justificación**

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos dispone en su artículo 4º "Que toda persona tiene derecho a un medio ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar", precepto que para poder ser cumplido requiere de la actualización del marco reglamentario. Por ello, y considerando que el contexto ambiental y en particular los conocimientos y la situación de la calidad del aire en las ciudades mexicanas han cambiado significativamente en estos últimos años, y para hacer una mejor aplicación de la normatividad secundaria relacionada con la calidad del aire, es de suma importancia actualizar el conjunto de Leyes, Reglamentos y Normas en la materia.

La utilidad pública y social de un instrumento legal depende, entre otros tantos factores, de la forma en la que capta e incorpora los cambios que la sociedad va realizando en el ámbito que dicho ordenamiento tutela. Por ello los reglamentos deben revisarse e

incorporar aquellos aspectos que, derivados de la nueva propuesta que se hace en este PROAIRE 2011-2020 en materia de gestión de la calidad del aire, son convenientes para modernizar y mejorar la eficiencia reglamentaria.

### Descripción

La SEMARNAT actualizará el Reglamento de la LEGEPA en materia de calidad del aire incluyendo la generación de información y aplicación de políticas, instrumentos y herramientas modernas de gestión. La Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal modificará el reglamento de la Ley Ambiental del Distrito Federal y la Secretaría de Medio Ambiente del Estado de México propondrá los cambios que ayuden a fortalecer su reglamento en materia de contaminación de aire.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Presentar para comentarios el proyecto de nuevo reglamento federal en la página de COFEMER							
Formar un grupo de trabajo para hacer la propuesta de modificaciones al Reglamento de la Ley Ambiental del DF							
Revisión técnica y jurídica del reglamento							
Formar un grupo de trabajo para hacer la propuesta de modificaciones al Reglamento en materia de aire del Estado de México							
Revisión técnica y jurídica del reglamento							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Los beneficios en salud se derivan de la aplicación de un marco reglamentario que incorpora las experiencias más recientes en la gestión ambiental, con una orientación acorde a las nuevas necesidades, tecnologías disponibles y con una visión ecosistémica que integre aspectos urbanos, económicos, sociales y ambientales relacionados con la calidad del aire.

### Costo estimado

2 millones de pesos.

## **MEDIDA 2: ACTUALIZACIÓN DEL MARCO LEGAL FEDERAL PARA LA PROTECCIÓN DE LA SALUD POR EXPOSICIÓN A LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA Y AL CAMBIO CLIMÁTICO.**

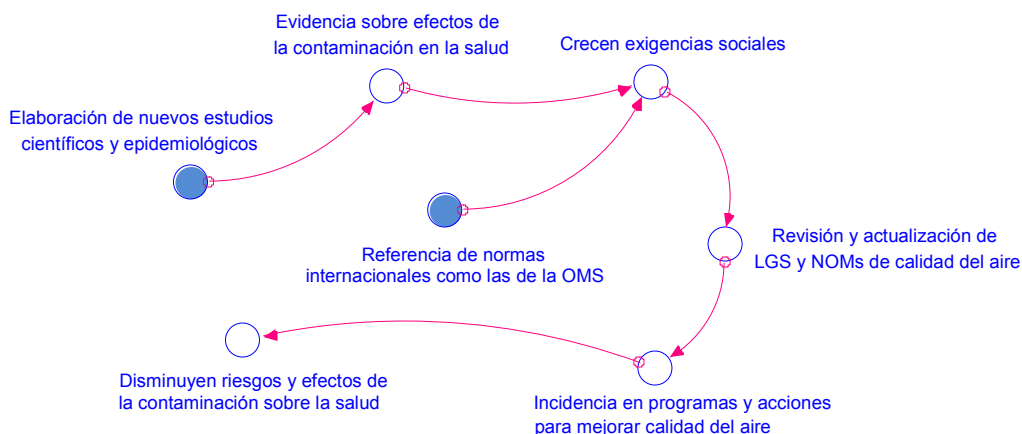
### **Acción 2.1. Actualizar la Ley General de Salud, su reglamento y las Normas Oficiales Mexicanas que establecen los criterios de calidad del aire.**

#### **Objetivo**

Responder a las nuevas exigencias sociales en materia de protección a la salud, generadas a la luz de la evidencia científica reciente con relación a las afectaciones de la contaminación atmosférica sobre la salud humana.

**Actores responsables:** SSA, COFEPRIS, SEMARNAT, SMAGEM, SMAGDF, SSGEM, SSGDF, instituciones de investigación, institutos especializados del sector salud, organizaciones no gubernamentales y académicos.

#### **Integración ecosistémica**



#### **Justificación**

La actualización de la Ley General de Salud en materia de prevención y protección de la salud por exposición a la contaminación atmosférica y a las consecuencias que puedan derivarse del fenómeno del cambio climático, obedece a contar con más y mejores instrumentos legales de protección a la salud de la población.

Adicionalmente, con base en la nueva evidencia científica, los especialistas en salud señalan la necesidad de homologar las normas mexicanas con estándares internacionales tanto de contaminantes criterio como de sustancias tóxicas, lo cual permitirá reducir los riesgos para la salud y fundamentar científicamente el diseño de medidas de prevención y control empleadas en la gestión de riesgos sanitarios.

#### **Descripción**

1. Se deberá establecer un marco normativo adecuado a los nuevos padecimientos asociados a los efectos del cambio climático, y revisar y actualizar las normas de contaminantes criterio y desarrollar las nuevas normas para compuestos tóxicos dañinos para la salud humana, como los compuestos orgánicos volátiles e hidrocarburos presentes en la atmósfera de la ZMVM.

2. La COFEPRIS propondrá revisar y gestionar la actualización de la Ley General de Salud, que incluya la prevención y atención de los riesgos sanitarios originados por

concentraciones de contaminantes tóxicos y de gases efecto invernadero existentes en el aire ambiente y que inciden de manera directa en el deterioro de la salud humana. Se hará énfasis en la garantía y disfrute de servicios de salud y de asistencia social que satisfagan eficaz y oportunamente las necesidades de la población afectada por padecimientos asociados a la contaminación ambiental.

3. Se sugiere que la evidencia científica sobre afectación a la salud sea presentada por los actores que conocen, manejan o hayan generado información al respecto, tomando en cuenta los avances en la investigación científica y tecnológica para la salud desarrollada a la fecha sobre el tema.

4. Establecer y actualizar las metodologías de monitoreo y registro de los contaminantes que permitan medir las concentraciones establecidas en las normas oficiales mexicanas sobre salud – ambiente.

5. Desarrollar y publicar la norma para establecer los límites máximos permisibles con respecto a compuestos orgánicos volátiles: Benceno, Tolueno y Xileno existentes en el aire ambiente y que dañan la salud de la población.

6. Elaborar una norma mexicana para establecer y uniformizar los criterios requeridos para el cálculo y validación de la información de calidad del aire y sus efectos en la salud humana.

#### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Revisar y actualizar el marco normativo vigente en materia de calidad del aire y protección de la salud humana							
Gestionar la actualización de la Ley General de Salud							
Generar y consultar la evidencia científica sobre afectación a la salud							
Desarrollar metodologías de instrumentos normativos adecuados para cumplir con el marco regulatorio en la materia							
Elaboración de norma para compuestos orgánicos volátiles: Benceno, Tolueno y Xileno							
Elaboración de norma mexicana de validación de datos							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

#### Beneficios esperados

Proteger la salud de los individuos expuestos a los contaminantes criterio, tóxicos y GEI, estableciendo un marco regulatorio con base científica para contar con información validada de concentraciones y umbrales del grado de afectación en la salud humana por exposición a ciertos contaminantes presentes en el aire ambiente.

#### Costo estimado

3 millones de pesos.



## MEDIDA 3: FORTALECIMIENTO DEL SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA EN MATERIA DE SALUD AMBIENTAL.

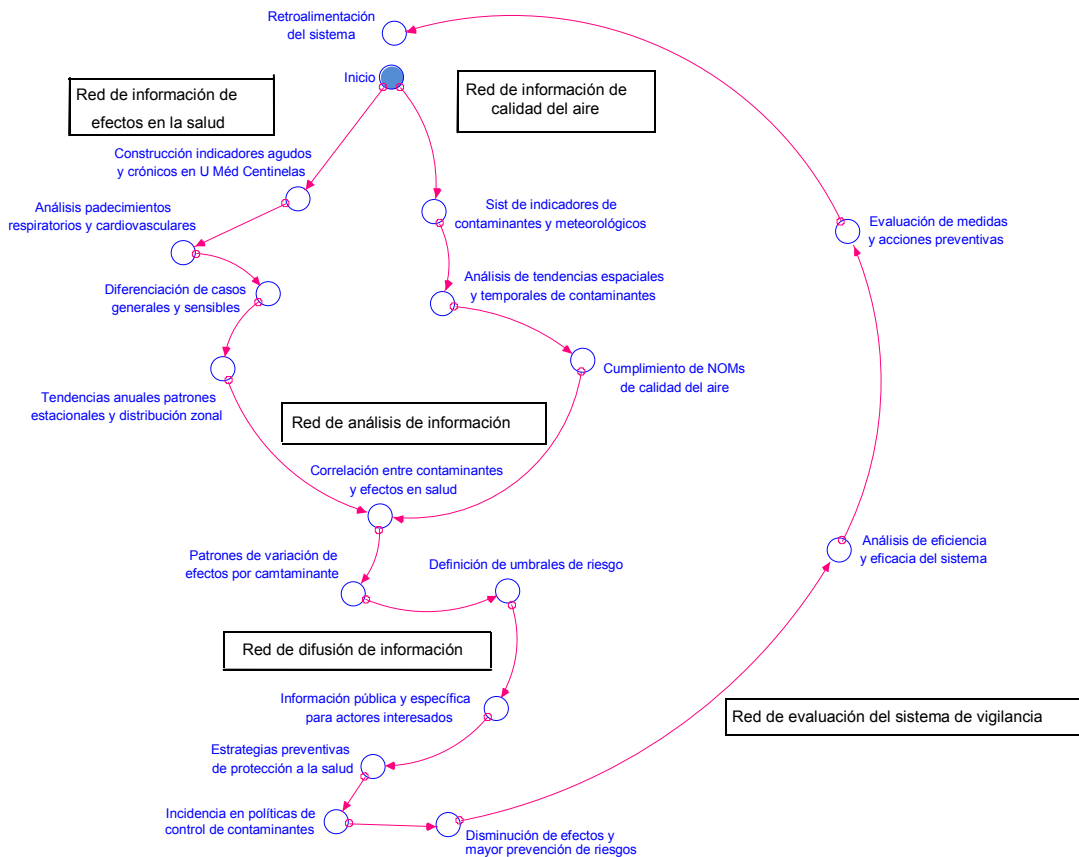
### Acción 3.1. Fortalecer el sistema de alerta temprana a niveles federal y local.

#### Objetivo

Operar un Sistema de Vigilancia Pasiva que genere información diaria, de manera confiable, oportuna y eficiente, sobre indicadores agudos y crónicos de efectos en salud asociados a contaminantes atmosféricos, con el fin de conocer su frecuencia, prevenir la exposición y controlar los efectos adversos en la salud de la población.

**Actores responsables:** SSA, COFEPRIS, SMAGDF, SMAGEM, SSGDF y SSGEM.

#### Integración ecosistémica



#### Justificación

En seguimiento a las medidas sobre protección a la salud humana establecidas en el "Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010" se implementó un "Sistema de Vigilancia Epidemiológica de los Efectos de la Contaminación Atmosférica" con el fin de evaluar de manera continua los efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud de los habitantes de la ZMVM.

Debido a que en México no se contaba con información que permitiera desarrollar de manera inmediata dicho sistema de vigilancia, se procedió a realizar diferentes pruebas piloto para sustentar la aplicación de este sistema. En una primera etapa se analizó información recabada por las brigadas de vigilancia epidemiológica en los eventos de contingencia ambiental con el objetivo de indagar el nivel de afectación y el área geográfica de exposición de la población. Con la información obtenida de estas campañas a través de encuestas diarias sobre sintomatología asociada a contaminantes atmosféricos, en especial sobre signos y síntomas agudos en una población de alrededor de 300,000 individuos, se determinó la necesidad de incluir variables cuantitativas que permitieran sistematizar de manera eficiente el uso de indicadores de padecimientos respiratorios y cardiacos a fin de establecer mecanismos de protección y prevención de riesgos sanitarios en la población en general y grupos sensibles en particular.

Es con base en los resultados obtenidos a la fecha que se considera importante poner en operación el Sistema de Vigilancia Pasiva propuesto.

### Descripción

1. Determinar la morbi-mortalidad diaria de los indicadores de efectos agudos y crónicos en población general y grupos vulnerables en la ZMVM.
2. Definir los grupos poblacionales en riesgo particularmente alto.
3. Detectar situaciones de alerta que propicien la realización de acciones eficaces y oportunas de prevención de riesgos sanitarios como medida de protección de la salud humana ante condiciones adversas de la calidad del aire en la ZMVM.
4. Conformar un comité de expertos en el área de contaminantes atmosféricos y efectos en salud para evaluar los avances del sistema y fortalecer las nuevas acciones.
5. Generar información continua y sistemática sobre daños específicos en la salud de la población relacionados con la exposición a contaminantes atmosféricos, que se organice a través de subsistemas integrados entre sí (información en salud, ambiental, análisis, difusión y evaluación del funcionamiento óptimo del sistema).
6. Fortalecer y ampliar la cobertura del sistema de vigilancia de los efectos de la contaminación del aire con unidades centinelas en épocas de estiaje y de invierno en la ZMVM. Se evaluará la conveniencia en el seguimiento de manera electrónica para disminuir costos de operación.
7. Evaluar los avances del sistema integral de vigilancia.
8. Evaluar de manera periódica el sistema de vigilancia pasiva utilizando información de indicadores en salud obtenida de los servicios de salud, complementándola con estudios pertinentes para un mayor conocimiento de los umbrales de exposición de los habitantes de la ZMVM de manera cotidiana.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Determinar la morbi-mortalidad diaria de los indicadores de efectos agudos y crónicos en población general y grupos vulnerables en la ZMVM							
Definir los grupos poblacionales en riesgo particularmente alto							
Detectar situaciones de alerta que propicien la realización de acciones eficaces y oportunas para la protección de la salud humana ante los riesgos provocados por las condiciones adversas							

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
de la calidad del aire en la ZMVM							
Conformar un comité de expertos en el área de contaminantes atmosféricos y efectos en salud							
Establecer un sistema que genere información continua y sistemática sobre daños específicos en la salud de la población relacionados con la exposición a contaminantes atmosféricos							
Fortalecimiento y ampliación de cobertura del sistema de vigilancia de los efectos de la contaminación del aire con unidades centinelas en épocas de estiaje y de invierno en la ZMVM							
Evaluación de avances del sistema integral de vigilancia							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	

#### Beneficios esperados

Con el fortalecimiento y ampliación de cobertura del sistema de vigilancia de los efectos de la contaminación del aire con unidades centinelas en la ZMVM se podrá contar con información continua y permanente de la asociación de los efectos de la contaminación del aire sobre la salud de la población que servirá para el fortalecimiento del marco regulatorio en materia de prevención y gestión de los riesgos sanitarios por contaminantes atmosféricos.

#### Costo estimado

10 millones de pesos.

### MEDIDA 4: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN DE RIESGOS PARA LA ZMVM.

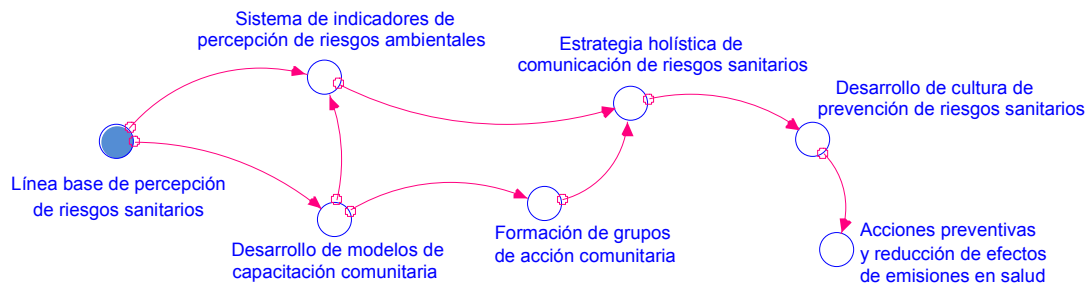
#### Acción 4.1. Diseñar e implementar un sistema de comunicación oportuna de riesgos.

##### Objetivo

Elaborar y difundir campañas de comunicación de riesgos sanitarios a los habitantes de la ZMVM para promover una cultura de protección a la salud, que contribuyan a disminuir los efectos de la contaminación del aire y del cambio climático sobre la salud de la población.

**Actores responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SSA, COFREPRIS, SEMARNAT, SSGDF, SSGEM e instituciones de investigación y académicas.

## Integración ecosistémica



### Justificación

Si bien la población de la ZMVM recibe información continua sobre el estado de la calidad del aire, es muy importante reforzar y ampliar la información referente a dos aspectos: los efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud y las acciones que puede realizar la población para modificar su comportamiento y consecuentemente ampliar su protección ante niveles altos de contaminantes del aire.

Aunque la población reconoce que tanto éstos como los fenómenos naturales afectan su vida personal, se ha observado que las personas asocian el problema de la contaminación del aire y los efectos del cambio climático con causas y factores ajenos, es decir, que los considera como problemas que generan y deben solucionar otros actores.

Para modificar esta percepción es necesario implementar acciones de corto, mediano y de largo plazo, en las que el trabajo y la gestión comunitaria promuevan la participación de las personas en el mejoramiento de la calidad del aire en la ZMVM. En este contexto es importante conocer cómo se perciben los riesgos ambientales y con base en ello desarrollar un programa de comunicación que responda a las necesidades planteadas.

### Descripción

Es necesario desarrollar estrategias de comunicación que consideren la información sobre los riesgos, vulnerabilidad y acciones de prevención, incentivando la participación informada de la sociedad civil, para lo cual se requiere:

- Contar con una línea base de información de la percepción social sobre los riesgos sanitarios de la contaminación ambiental
- Desarrollar y operar un sistema de indicadores de percepción social de riesgo ambiental
- Desarrollar y aplicar modelos de capacitación comunitaria
- Formar grupos integrales de intervención en comunidades
- Desarrollar una estrategia holística de comunicación de riesgos sanitarios
- Orientar estrategias de comunicación de riesgos sanitarios hacia diferentes sectores de la población, particularmente hacia los grupos más vulnerables.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Análisis de la información existente para definir prioridades							
Identificación de grupos y sitios de acción prioritarios y altamente vulnerables							
Vinculación con el sector de educación							
Definición de los mecanismos de un programa de acción/evaluación							
Vinculación con organizaciones de la sociedad civil, universidades, centros de investigación, sector empresarial, etc.							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Protección de la salud de la población, mejoramiento de la calidad del aire, organización comunitaria para la gestión ambiental, adaptación a los efectos del cambio climático y la construcción de una cultura integral para mejorar la relación entre el ciudadano y su entorno.

### Costo estimado

2 millones de pesos.

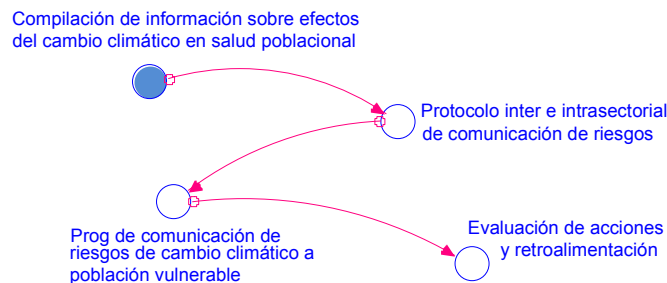
### Acción 4.2. Desarrollar un programa de comunicación y fomento sanitario para la prevención de riesgos sanitarios originados por el cambio climático.

#### Objetivo

Establecer y fomentar la prevención de riesgos sanitarios ante los fenómenos del cambio climático y sus afectaciones en la salud de la población altamente vulnerable, a través de la instrumentación de un programa de comunicación de riesgos.

**Actores responsables:** SSA, COFEPRIS, SEMARNAT, INE, SMAGDF, SMAGEM, académicos e Investigadores.

#### Integración ecosistémica



### Justificación

La evidencia científica incipiente señala que los habitantes de la ZMVM son altamente vulnerables a los efectos del cambio climático y que los fenómenos naturales afectarán la salud pública de la población que en ella vive.

La información de percepción de riesgo sanitario que tiene la población en la ZMVM es mínima, aunque sí manifiesta un interés en participar en la aplicación de medidas para prevenir los efectos de los fenómenos naturales en su salud, por lo que es necesario incentivar su participación en la gestión de riesgos sanitarios.

### Descripción

- Compilar y analizar la información sobre efectos del cambio climático en la salud de la población, para definir prioridades de acción
- Desarrollar un protocolo de acción intersectorial e intrasectorial para la comunicación del riesgo sanitario a la población
- Desarrollar y operar un programa de acción para la comunicación de prevención de riesgos sanitarios en población vulnerable
- Evaluar el cumplimiento de prioridades del programa de comunicación y fomento sanitario para la prevención de riesgos sanitarios originados por el cambio climático.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Compilación y análisis de la información sobre efectos del cambio climático en la salud de la población, para definir prioridades de acción							
Identificación de grupos de contacto e instrumentos de atención colectiva							
Desarrollo de un protocolo de acción intersectorial e intra-sectorial para la comunicación del riesgo sanitario a la población							
Desarrollo y operación de un programa de acción para la comunicación de prevención de riesgos sanitarios en población vulnerable							
Evaluación de cumplimiento de prioridades del programa de comunicación y fomento sanitario para la prevención de riesgos sanitarios originados por el cambio climático							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
								•

### Beneficios esperados

Se tendrá un beneficio a corto, mediano y largo plazo en la gestión de prevención de riesgos sanitarios originados por fenómenos naturales y proveer información de los

cambios probables del clima incluyendo los eventos extremos para realizar acciones de prevención que protejan la salud ante un deterioro de la calidad del aire.

**Costo estimado**

2 millones de pesos.

**MEDIDA 5: ACTUALIZACIÓN DEL PROGRAMA DE CONTINGENCIAS AMBIENTALES ATMOSFÉRICAS.**

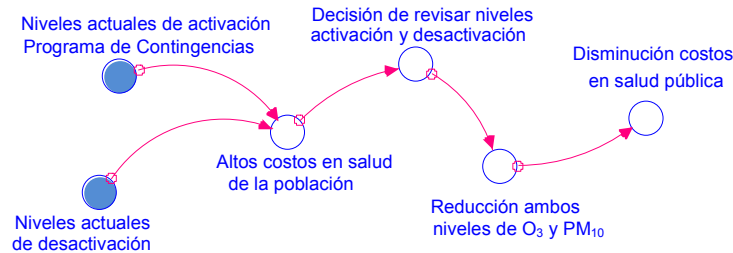
**Acción 5.1. Establecer nuevos niveles de activación para contingencias por ozono y PM<sub>10</sub>.**

**Objetivo**

Mejorar la eficacia del programa en lo que se refiere a la protección de la salud por exposición a ozono y PM<sub>10</sub>.

**Actores responsables:** SSA, COFEPRIS, SMAGDF, SMAGEM, SSGDF y SSGEM.

**Integración ecosistémica**



**Justificación**

El programa de contingencias ambientales atmosféricas cumple dos propósitos igualmente relevantes. Por una parte, contribuye a proteger a la población de la exposición aguda a niveles elevados de contaminación atmosférica. Por la otra, contribuye a que el público en general se mantenga informado y atento al problema de la calidad del aire en la ZMVM.

Desde hace varios años los gobiernos que integran la CAM han realizado un ajuste gradual a los niveles de activación de las precontingencias y contingencias ambientales atmosféricas para la ZMVM, con el propósito de alcanzar una meta de establecerlo el 1º de julio de 2011 en 150 puntos IMECA para el caso de las precontingencias por ozono y por PM<sub>10</sub>, y de 180 y 175 puntos IMECA para el caso de las contingencias por ozono y por PM<sub>10</sub> respectivamente.

En la actualidad, la población de la ZMVM puede percibir que la ausencia de contingencias atmosféricas es equivalente a tener una buena calidad del aire, lo que es claramente incorrecto. Las precontingencias y las contingencias se activan en niveles más bajos que en el pasado, sin embargo, siguen por arriba de los valores de las normas de calidad del aire para protección de la salud.

Dados los costos que esto representa en salud pública, el sector salud ha solicitado realizar un análisis para disminuir los umbrales de activación de los episodios de precontingencia y el rediseño de las medidas del programa de contingencias para incrementar su eficacia en términos de protección de la salud de la población.

### Descripción

Se integrará la evidencia científica en términos de impactos del ozono y las PM<sub>10</sub> sobre la salud y se analizarán las propuestas del sector salud para evaluar un nuevo esquema de activación del programa de contingencias.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Formar un grupo de trabajo y generar un calendario de trabajo							
Generar y revisar la información necesaria							
Publicar el programa actualizado							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
●	●	●	●	●	●	●	●	●

### Beneficios esperados

Reducción de la exposición aguda de las personas a la mala calidad del aire. Mantener al público informado y atento al problema de la calidad del aire en la ZMVM. Los indicados en los estudios de salud como resultado de la ampliación del escudo de protección en caso de contingencias atmosféricas.

### Costo estimado

2 millones de pesos.

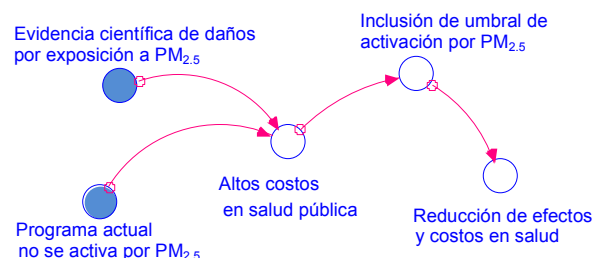
### Acción 5.2. Establecer criterios de activación de contingencia por PM<sub>2.5</sub>.

#### Objetivo

Ampliar el escudo de protección de la salud por concepto de contaminación atmosférica a la exposición de PM<sub>2.5</sub>.

**Actores responsables:** SSA, COFEPRIS, SEMARNAT, SMAGDF, SMAGEM, SSGDF y SSGEM.

#### Integración ecosistémica





### Justificación

Estudios recientes en materia de impactos sobre la salud muestran los efectos provocados por las partículas muy pequeñas menores a 2.5 micrómetros de diámetro. Con el objetivo de proteger la salud de la población, en particular de los grupos que enfrentan riesgos mayores, es necesario incluir un mecanismo de aplicación que dependa de las concentraciones medidas de PM<sub>2.5</sub>.

### Descripción

Se integrará un grupo de trabajo que analice las evidencias y parámetros internacionales, para establecer un esquema que se ajuste a las condiciones de la ZMVM, tomando como referencia los criterios que recomienda la OMS.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Formar un grupo de trabajo y generar un calendario de avances							
Generar y revisar la información necesaria							
Publicar el programa actualizado							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
	•			•	•			

### Beneficios esperados

Los indicados en los estudios de salud como resultado de la ampliación del escudo de protección en caso de contingencias atmosféricas.

### Costo estimado

1 millón de pesos.

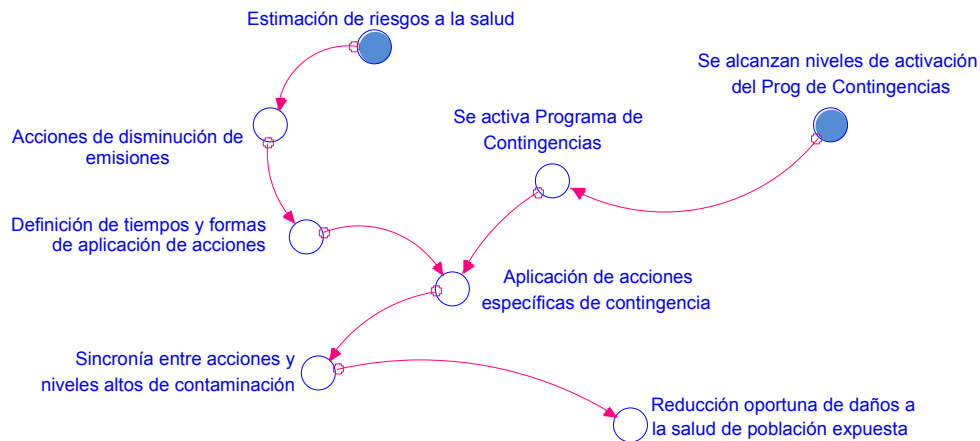
### **Acción 5.3. Actualizar las acciones que debe aplicar cada uno de los actores incluidos en el programa, así como los tiempos correspondientes de inicio y terminación.**

#### Objetivo

Realizar una evaluación del programa de contingencias ambientales para establecer acciones oportunas que permitan reducir la emisión de los contaminantes del aire.

**Actores responsables:** SMAGDF, SMAGEM y SEMARNAT.

## Integración ecosistémica



### Justificación

El establecimiento del Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas obedeció a la necesidad de contar con una herramienta que disminuyera el riesgo por la exposición de la población a altas concentraciones de contaminantes atmosféricos; con este mismo espíritu se debe continuar fortaleciendo los esquemas de reacción inmediata para evitar los daños a la salud de la población.

La reestructuración de las acciones y sus tiempos de aplicación puede hacer uso del concepto de riesgo asociado al daño que un episodio de contingencia puede causar a la salud de grupos vulnerables de la población. Para ello hay que hacer uso de dos tipos de riesgo: primero, el riesgo asociado a la ocurrencia misma del episodio de contingencia, y segundo, el riesgo que tiene que ver con los efectos del episodio sobre la salud de la población.

El primer tipo de riesgo se refiere a la probabilidad de ocurrencia del episodio de contingencia, lo cual depende de factores como la tasa de acumulación de contaminantes en una zona específica y las condiciones meteorológicas prevaletes y previstas. El segundo se refiere a la probabilidad de que cierto tipo de contaminantes (como ozono, PM<sub>10</sub> o PM<sub>2.5</sub>) cause daños en un área específica a ciertos grupos de la población.

### Descripción

Los gobiernos que integran la CAM, deberán realizar los estudios para diseñar acciones emergentes para episodios de precontingencia y contingencia en cada uno de los sectores de salud, transporte, servicios, industria, agricultura y áreas naturales protegidas. También se tendrán que desarrollar los criterios y mecanismos para exentar dicho programa.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Actualización e instrumentación del programa							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•			•	•	•		

### Beneficios esperados

Los indicados en los estudios de salud como resultado de la ampliación del escudo de protección en caso de contingencias atmosféricas.

### Costo estimado

3 millones de pesos.

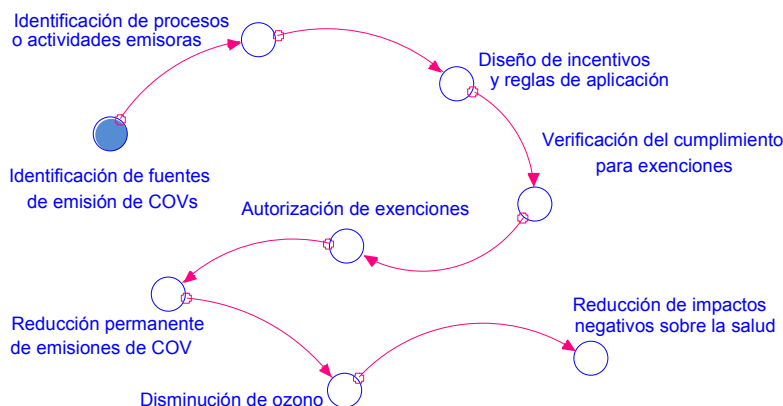
### Acción 5.4. Diseñar y aplicar un subprograma de exención en diferentes fases del programa por reducción de emisiones de COV.

#### Objetivo

Ofrecer un incentivo a los actores generadores de COV para reducir permanentemente las emisiones de dichos contaminantes.

**Actores responsables:** SMAGDF, SMAGEM y SEMARNAT.

#### Integración ecosistémica



#### Justificación

Los resultados de las campañas de medición más recientes en la atmósfera de la ZMVM han mostrado que es prioritario disminuir las concentraciones de COV si se quiere reducir la concentración de ozono. Aplicar este subprograma puede representar un incentivo atractivo para que las empresas y los establecimientos generadores reduzcan sus emisiones de COV de manera permanente y no solo durante una precontingencia o contingencia ambiental.

#### Descripción

Los gobiernos que integran la CAM, diseñarán un esquema de incentivos para que los usuarios de productos generadores de COV disminuyan de manera permanente el uso de los mismos. Los incentivos operarán como exenciones en las diferentes fases del programa de contingencias siempre y cuando se demuestre una reducción efectiva, medible y demostrable de las emisiones de COV.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Diseño del mecanismo de exención							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
	•				•		•	

**Beneficios esperados**

Los indicados en los estudios de salud como resultado de la ampliación del escudo de protección en caso de contingencias atmosféricas.

**Costo estimado**

2 millones de pesos.

**MEDIDA 6: PREVENCIÓN DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA SALUD HUMANA.**

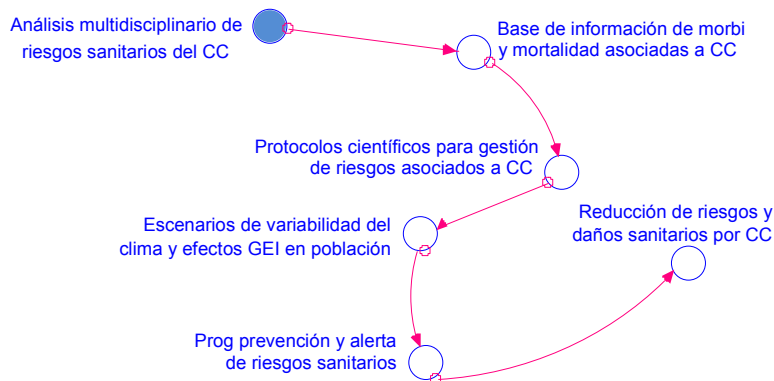
**Acción 6.1. Desarrollar un sistema de prevención y alerta contra riesgos sanitarios ante el cambio climático.**

**Objetivo**

Construir y desarrollar un sistema de vigilancia epidemiológica para identificar y proteger a la población en sitios vulnerables a los efectos del cambio climático, como inundaciones y cambios de temperatura en la ZMVM.

**Actores responsables:** SSA, COFEPRIS, SMAGDF, SMAGEM, SSGDF, SSGEM, Institutos de investigación y académicos.

**Integración ecosistémica**



### Justificación

Los riesgos sanitarios ocasionados por el cambio climático sobre la salud son de naturaleza diversa y van desde el aumento del riesgo de fenómenos meteorológicos extremos hasta modificaciones de la dinámica de las enfermedades infecciosas y cambios en la calidad del aire de los centros urbanos. La OMS afirma que las repercusiones del cambio climático "afectarán de forma desproporcionada a las poblaciones vulnerables", tales como niños pequeños, adultos mayores, enfermos, población de bajos ingresos y de manera muy específica a las poblaciones urbanas.

### Descripción

Establecer un grupo de trabajo al interior del sector salud para identificar la problemática de los efectos del cambio climático en la salud de la población y una estrategia para prevenir y mitigar los efectos en poblaciones vulnerables de la ZMVM. Asimismo, se desarrollarán indicadores de medición para evaluar el sistema de prevención y alerta sanitaria.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Formación de un grupo de trabajo interdisciplinario del Sector Salud y la comunidad científica							
Realizar un taller de planeación del sistema de prevención y alerta sanitaria							
Desarrollo y evaluación del sistema de prevención y alerta sanitaria							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
	•				•	•	•	•

### Beneficios esperados

Contar con información local y regional de los eventos del cambio climático que afectan la salud de la población que habita la ZMVM, así como las diferentes variables socioeconómicas y meteorológicas que inciden de manera directa en el fortalecimiento de los sistemas de salud pública para hacer frente a las amenazas que plantea el cambio climático para los habitantes de zonas vulnerables de la metrópoli.

### Costo estimado

3 millones de pesos.

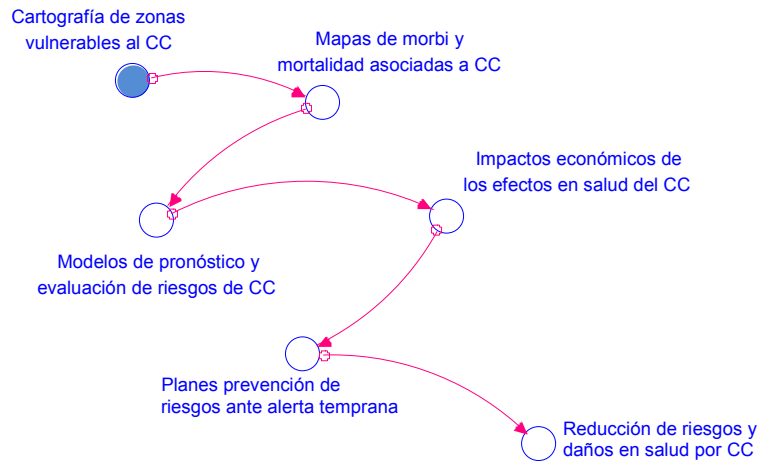
### **Acción 6.2. Evaluar escenarios de cambio climático en diferentes grupos vulnerables.**

#### Objetivo

Establecer relaciones entre condiciones de temperatura, humedad y precipitación con ocurrencia de dengue en diversas zonas de la ZMVM, de forma que permitan diseñar funciones de riesgo entre clima y salud que se puedan evaluar con escenarios de cambio climático.

**Actores responsables:** SSA, COFEPRIS, SMAGDF, SMAGEM, SEMARNAT, SSGDF, SSGEM, Institutos de investigación y académicos.

### Integración ecosistémica



### Justificación

Estudios indican que enfermedades como el paludismo o el dengue se relacionan con condiciones de climas húmedos y cálidos. Dado que la tendencia es que el clima del Valle de México será más cálido con un ciclo hidrológico más intenso, se espera que el potencial para el desarrollo de enfermedades aumente. En muchos países del mundo, los responsables del sector salud comienzan a diseñar estrategias de reducción de vulnerabilidad entre la población, que les permitan disminuir el riesgo frente al cambio climático.

### Descripción

Desarrollar el Atlas de Riesgos Sanitarios de la ZMVM, que permita contar con información sobre la población expuesta a riesgos sanitarios, entre otros, los provenientes de quema de combustibles fósiles y biomasa, la calidad de agua para consumo humano, la infraestructura de atención hospitalaria, contaminantes ambientales (intra y extra muros), etc., para alertar y prevenir de manera oportuna a la población.

Crear mapas temáticos de morbilidad y mortalidad asociados a los principales riesgos sanitarios relacionados con las variaciones de humedad relativa y cambios drásticos de temperatura en áreas vulnerables de la ZMVM.

La creación de modelos de pronóstico, permitirá contar con una aproximación a escenarios de cambio climático, los factores de riesgo y su comportamiento. Los escenarios de impacto de cambio climático en la ZMVM ante enfermedades permitirán diseñar estrategias de adaptación en el sector salud, trabajando con esquemas de gestión de riesgos.

En la actualidad, en México se carece de conocimiento científico sobre las relaciones clima-salud y los efectos económicos en la atención de riesgos sanitarios que implica para el sector salud. A través de la OMS se sabe que los riesgos para la salud que entraña el cambio climático son considerablemente costosos, así como los factores de riesgo y las enfermedades relacionadas a condiciones extremas del clima. Estos aspectos, figuran hoy entre las más importantes causas de la carga mundial de

morbilidad para varios padecimientos y por lo tanto conllevan una alta carga económica para el Estado y los particulares de la atención a la salud por los efectos de variables ambientales.

Construir y desarrollar un sistema de vigilancia epidemiológica para identificar y proteger a la población en sitios vulnerables a los efectos del cambio climático (inundaciones, altas temperaturas, heladas, entre otros), así como para prevenir el decremento o incremento de temperatura en la ZMVM.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Elaboración de cartografía de zonas vulnerables							
Crear mapas temáticos de morbilidad							
Crear modelos de pronósticos de evaluación de riesgo							
Crear escenarios económicos sobre los efectos en la salud por la exposición a diversos contaminantes ambientales							
Desarrollar planes de actuación en salud pública a partir de sistemas de alerta temprana							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
	•				•	•	•	•

**Beneficios esperados**

Contar con información oportuna que oriente las acciones preventivas ante los distintos escenarios del incremento de la temperatura.

**Costo estimado**

2 millones de pesos.

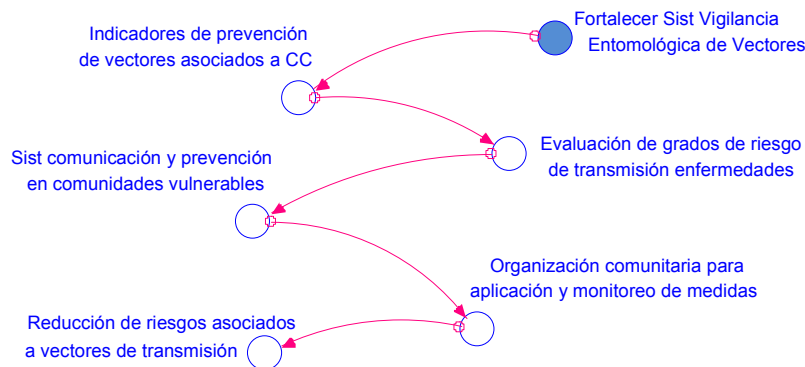
**Acción 6.3. Desarrollar un sistema de prevención y alerta por enfermedades de transmisión por vectores.**

**Objetivo**

Construir y desarrollar un sistema de vigilancia epidemiológica para identificar y prevenir a la población en sitios vulnerables contra padecimientos producto de la transmisión de vectores en la ZMVM.

**Actores responsables:** SSA, COFEPRIS, SMAGDF, SMAGEM, SEMARNAT, SSGDF, SSGEM, Instituciones de investigación y académicas.

## Integración ecosistémica



### Justificación

Los riesgos sanitarios del cambio climático sobre la salud humana son de naturaleza diversa y repercuten en modificaciones de la dinámica de enfermedades transmitidas por vectores como el dengue, paludismo, chagas, etc. La OMS afirma que las repercusiones del cambio climático "afectarán de forma desproporcionada a las poblaciones vulnerables", tales como niños pequeños, adultos mayores, enfermos, población de bajos recursos y de manera muy específica a las poblaciones urbanas.

### Descripción

Contar con información que permita conocer la situación geográfica de las áreas habitadas por los organismos transmisores de padecimientos asociados a enfermedades originadas por efectos del cambio climático en la ZMVM.

Los escenarios de evaluación del grado de riesgos, permitirán establecer un programa de vigilancia epidemiológica, prevención y control de las enfermedades transmitidas por vector con la finalidad de estimar el riesgo de transmisión de padecimientos asociados a vectores.

Con el fin de sistematizar el proceso de participación comunitaria en la prevención de padecimientos transmitidos por vectores, es conveniente contar con un sistema de comunicación y promoción de las estrategias adecuadas y la capacitación integral necesaria para un cambio de hábitos higiénicos de la población, para prevenir y controlar las enfermedades transmitidas por vectores asociadas a los efectos del cambio climático en la ZMVM.

Se formarán grupos de la comunidad para participar de manera activa en la aplicación de las medidas para la prevención de padecimientos transmitidos por vectores en diferentes áreas de la ZMVM, los cuales deberán ser capacitados sobre aspectos básicos a instrumentar para la prevención y control de los vectores de transmisión de padecimientos asociados a los efectos del cambio climático y serán los encargados de monitorear el avance en las acciones y medidas establecidas en el sistema de vigilancia.



### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Fortalecimiento del sistema de vigilancia entomológica de vectores de transmisión de enfermedades							
Establecer un sistema de indicadores de prevención de vectores							
Generar escenarios de evaluación del grado de riesgo							
Desarrollar un sistema de comunicación y fomento sanitario de medidas de prevención en comunidades vulnerables							
Formación de grupos de la comunidad para la participación y monitoreo de los avances del programa							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
								•

### Beneficios esperados

Contar con información local y regional de los eventos del cambio climático que afectan la salud de la población que habita la ZMVM, así como las diferentes variables socioeconómicas y meteorológicas que inciden de manera directa en el fortalecimiento de los sistemas de salud pública para hacer frente a las amenazas que plantea el cambio climático para los habitantes de zonas vulnerables de la metrópoli.

### Costo estimado

2 millones de pesos.

**MEDIDA 7: ESTABLECIMIENTO DE UN SISTEMA DE EVALUACIÓN DE COSTOS ECONÓMICOS ASOCIADOS A LOS EFECTOS EN SALUD.**

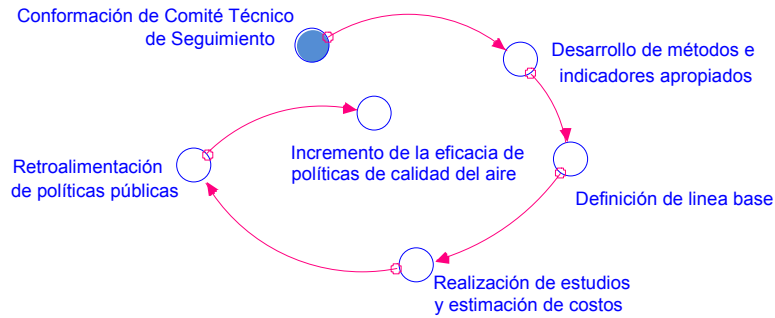
### Acción 7.1. Diseñar e implementar un sistema permanente de evaluación económica de los costos en salud.

#### Objetivo

Estimar periódicamente los costos económicos por las afectaciones en la salud como consecuencia de la contaminación atmosférica en la ZMVM.

**Actores responsables:** SSA, COFEPRIS, SMAGDF, SMAGEM, SEMARNAT, SSGDF, SSGEM e instituciones de investigación y académicas.

## Integración ecosistémica



### Justificación

La estimación de los costos en salud asociados a la contaminación permite contar con una base de información muy útil para la evaluación de las políticas públicas dirigidas a mejorar la calidad del aire. Es, asimismo, un insumo para la realización de análisis costo-beneficio, los cuales son instrumentos que pueden ser usados para retroalimentar y mejorar las políticas públicas en la ZMVM.

### Descripción

El sistema de evaluación de costos económicos asociados a efectos en salud requiere de la conformación de un comité de seguimiento, la revisión de la línea base, la selección de métodos e indicadores apropiados y la realización de estudios propuestos. Algunas de las actividades que se necesita llevar a cabo son: compilación y análisis de estudios previos (de valoración contingente, de métodos de evaluación, de sistemas de vigilancia epidemiológica y reportes técnicos de evaluación del programa de contingencias atmosféricas), la identificación de vacíos de información e incertidumbres, la realización de estudios específicos de costos y una revisión bienal.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Conformación de un comité técnico de seguimiento							
Revisión bibliográfica, selección y desarrollo de métodos e indicadores apropiados							
Definición de la línea base							
Realización de estudios propuestos							
Retroalimentación de políticas públicas							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Ponderación de beneficios de calidad del aire, insumo para comparar con los costos en las intervenciones, mejores herramientas de gestión y evaluación ambiental.

### Costo estimado

1 millón de pesos.

## MEDIDA 8: REDISEÑO Y ACTUALIZACIÓN DEL SIMAT.

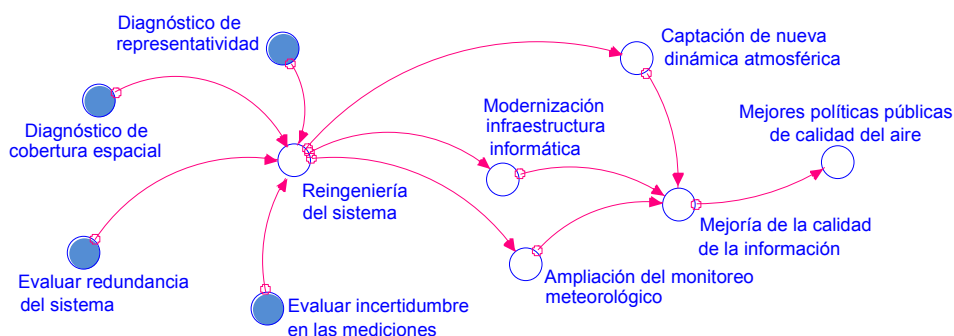
### **Acción 8.1. Realizar diagnósticos del Sistema de Monitoreo Atmosférico, en términos de su representatividad, cobertura espacial y operación.**

#### **Objetivo**

Analizar la distribución y representatividad de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire del Sistema de Monitoreo Atmosférico en el contexto de los cambios del entorno urbano y de la dinámica atmosférica, para evaluar el cumplimiento de los objetivos del monitoreo de la calidad del aire, así como sus condiciones operativas.

**Actores responsables:** SEMARNAT, SMAGDF y SMAGEM.

#### **Integración ecosistémica**



#### **Justificación**

Los cambios en el entorno inmediato de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire tienen un efecto directo en el monitoreo atmosférico. Hace 25 años el diseño de la red de monitoreo y en consecuencia la instalación de las estaciones y la distribución de los parámetros, se realizó en función de las necesidades de la década de los ochenta, con un enfoque hacia el monitoreo de los contaminantes primarios, como monóxido de carbono, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno. Posteriormente se instalaron nuevas estaciones orientando el monitoreo hacia los contaminantes secundarios, como ozono y partículas finas. Actualmente el área de la ZMVM, ha rebasado la zona de cobertura espacial de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire.

#### **Descripción**

Esta acción considera el realizar un diagnóstico permanente de las estaciones que integran el Sistema de Monitoreo Atmosférico en función del cumplimiento de los objetivos del monitoreo de la calidad del aire. Se pretende evaluar la capacidad de cada estación y parámetro para continuar proporcionando información confiable y representativa sobre los niveles de exposición de la población de la ZMVM, para los contaminantes atmosféricos. Dicha evaluación permitirá conocer el nivel de cumplimiento de los objetivos del monitoreo e identificar las ventajas y limitaciones actuales de las estaciones de monitoreo, determinar la cobertura espacial y representatividad de cada estación e identificar la presencia de la redundancia en el monitoreo. Los resultados permitirán conocer aquellas estaciones cuyas características limitan el cumplimiento de los objetivos del monitoreo e identificar aquellas en las que es

necesario incorporar nuevos parámetros de medición, así como las zonas en las que se requiere de nuevas estaciones de monitoreo para la protección de la salud pública.

Por otra parte, se llevará a cabo la revisión de la operación del SIMAT a partir de auditorías de desempeño técnico.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Planeación y gestión de recursos							
Evaluación y diagnóstico							
Auditoría técnica de desempeño en la operación del SIMAT							
Realización de acciones y ajustes							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

**Beneficios esperados**

Continuar garantizando información confiable y oportuna sobre la calidad del aire en la ZMVM, orientada a la protección de la salud pública.

**Costo estimado**

5 millones de pesos.

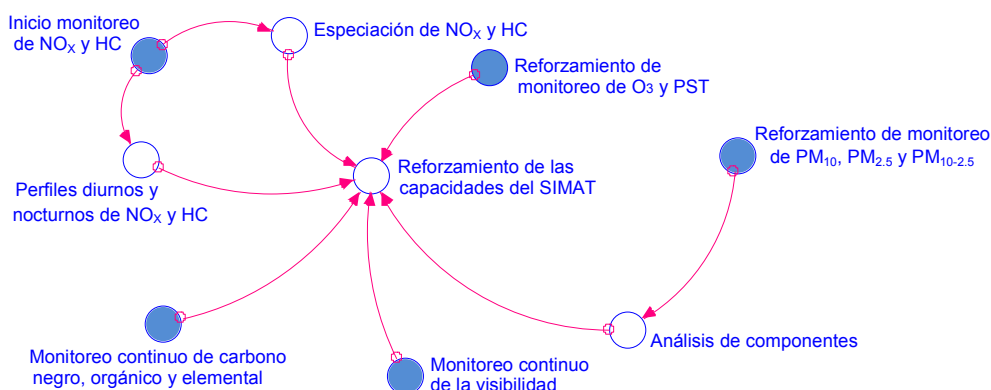
**Acción 8.2. Reforzar el monitoreo de la calidad del aire.**

**Objetivo**

Reforzar la infraestructura del Sistema de Monitoreo Atmosférico para realizar el monitoreo de los contaminantes que aún exceden las normas de calidad del aire y sus precursores, incorporar el monitoreo rutinario de aquellos contaminantes que se encuentran en concentraciones que comprometen la salud de la población y que no están regulados por las normas oficiales, y generar información para la evaluación de la formación, dispersión y transporte de la contaminación atmosférica.

**Actores responsables:** SMAGDF, SMAGEM y SEMARNAT.

## Integración ecosistémica



### Justificación

En los años recientes se han logrado avances significativos en la reducción de los principales contaminantes del aire. Para continuar con la reducción en el mediano plazo será necesario entender los mecanismos químicos que determinan su origen, conocer sus precursores e identificar sus fuentes. Es necesario conocer la dinámica atmosférica, evaluar el transporte atmosférico desde y hacia otras regiones, y generar información confiable para el desarrollo y aplicación de modelos y simulaciones.

Por otra parte la evidencia científica en otras ciudades del mundo ha demostrado que existen otros contaminantes que, aún en concentraciones bajas como las observadas en la ZMVM, representan un riesgo para la salud humana. Entre estos destacan el benceno, las dioxinas, las partículas provenientes de la quema de diesel, el mercurio y otros metales pesados.

### Descripción

Reforzar el monitoreo de ozono y partículas suspendidas en las estaciones de monitoreo de la calidad del aire, así como el inicio del monitoreo de los precursores de ozono: óxidos de nitrógeno reactivos e hidrocarburos. Es fundamental la especiación de los hidrocarburos y de los óxidos de nitrógeno, así como la determinación de sus perfiles diurnos-nocturnos.

En el caso de las partículas suspendidas será necesario reforzar el monitoreo de  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10-2.5}$ , evaluar su relación y contribución. Con el propósito de generar información que permita definir estrategias de control, se realizará el análisis de los componentes de las partículas para identificar patrones que permitan identificar su origen. Además del análisis gravimétrico y composición, es necesario generar información sobre la distribución, número y las propiedades ópticas de las partículas para conocer su papel en el deterioro de la visibilidad y el calentamiento global. Se incorporará el monitoreo continuo de la visibilidad, del carbono negro, del carbono orgánico y del carbono elemental.

La meteorología es fundamental para entender la dinámica atmosférica y el comportamiento de los contaminantes en el aire. Por lo tanto, se fortalecerá el monitoreo de las variables meteorológicas en la superficie y reforzar el radiosondeo con técnicas que permitan obtener información del perfil atmosférico con mayor frecuencia o de manera continua. También es necesario reforzar el monitoreo de la radiación solar con propósitos de protección de la salud (en el caso de la radiación solar UV), clima y balance de energía.

Se reforzará el monitoreo y análisis del depósito atmosférico, principalmente en el suelo de conservación de la ZMVM. Se incorporará al monitoreo de la calidad del aire, el monitoreo de pólen y otras sustancias aerobiológicas.

Es necesario incorporar al monitoreo de la calidad del aire la medición de compuestos que actualmente no están considerados por las normas para la protección de la salud pública, pero que su presencia representa un riesgo potencial para la salud humana o el medio ambiente, como el benceno, mercurio, dioxinas, etilbenceno, el hollín y otros.

Se requiere también la instalación de estaciones de monitoreo orientadas a la evaluación del transporte de la contaminación regional.

La labor de difusión de los resultados del monitoreo atmosférico es fundamental para la protección de la salud pública, por lo que se requiere reforzar la difusión de la información de la calidad del aire empleando la nuevas tecnologías de información, difusión a través de dispositivos móviles, participación de los medios de difusión masiva, realización de campañas informativas, educación ambiental y participación ciudadana.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Planeación y gestión de recursos							
Reforzamiento gradual del monitoreo							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	

**Beneficios esperados**

Garantizar la protección de la salud pública. Generar información adecuada y confiable para el diseño de políticas para la reducción del ozono y las partículas suspendidas. Proporcionar información para el pronóstico de la calidad del aire. Identificar los riesgos para la salud de otros contaminantes tóxicos. Contar con información suficiente para la realización de estudios epidemiológicos y toxicológicos relacionados con los efectos de la contaminación del aire en la salud humana.

**Costo estimado**

60 millones de pesos.

**MEDIDA 9: CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AIRE.**

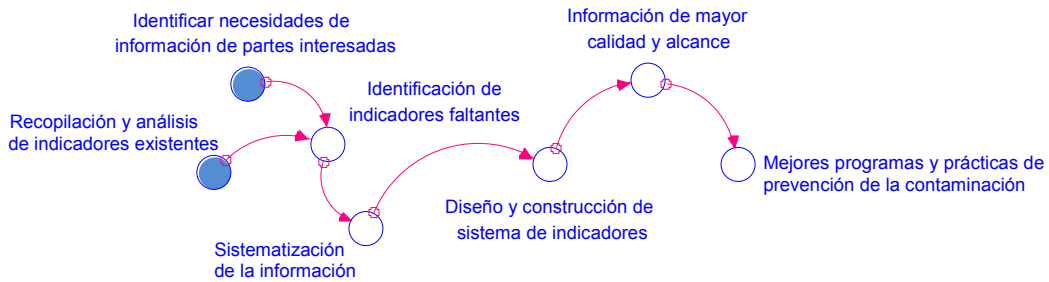
**Acción 9.1. Revisar los indicadores actuales y construir los necesarios para contar con un sistema que permita medir espacial y temporalmente los contaminantes.**

## Objetivo

Construir un sistema de indicadores de la calidad del aire que permita comunicar de manera amplia y oportuna, a diferentes tipos de interlocutores, los alcances espaciales y temporales de cada contaminante.

**Actores responsables:** SMAGDF, SMAGEM, y SEMARNAT, SSA, COFEPRIS e instituciones de investigación y académicas.

## Integración ecosistémica



## Justificación

Actualmente se cuenta con indicadores de la calidad del aire, tanto de niveles de contaminantes en el aire como de emisiones a partir de fuentes, que son utilizados por diversos actores para propósitos de difusión o de investigación. Como parte de los esfuerzos de mejora permanente de la gestión de la calidad del aire, es necesario asegurar que los indicadores formen parte de un sistema ecosistémico que responda a las necesidades de información científica y de divulgación al público en general, cubriendo aspectos como la distribución espacio-temporal de los contaminantes.

## Descripción

Se desarrollarán indicadores que permitan evaluar la exposición de la población considerando las concentraciones de contaminantes, su temporalidad y localización geográfica, entre otros.

## Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Conformación del grupo de trabajo							
Revisión de indicadores actuales							
Definición del sistema de indicadores							
Construcción y prueba de nuevos indicadores							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

## Beneficios esperados

Contar con una herramienta que permita disponer de mayor información sobre el comportamiento de la calidad del aire.

## Costo estimado

3 millones de pesos.

---

## ESTRATEGIA 2: DISMINUCIÓN ESTRUCTURAL DEL CONSUMO ENERGÉTICO DE LA ZMVM

---

**MEDIDA 10: CREACIÓN DE UN PROGRAMA PERMANENTE DE ANÁLISIS ECOSISTÉMICO DE LA ZMVM.**

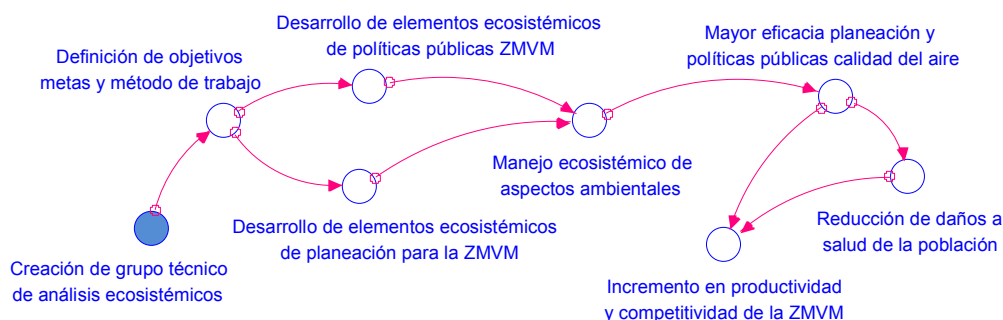
### **Acción 10.1. Diseñar e iniciar los trabajos de un programa de análisis ecosistémico de la ZMVM.**

#### **Objetivo**

Integrar un grupo de trabajo interdisciplinario y de carácter permanente en el seno de la CAM, que promueva y coordine los estudios necesarios para entender cada vez mejor el funcionamiento de la ZMVM como ecosistema, con el propósito de avanzar en el diseño de propuestas y soluciones de alcance metropolitano, mejor integradas y más eficientes en términos económicos, ambientales y sociales.

**Actores responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SEMARNAT, SEDUVI, SEDURGEM, SETRAVI, STGEM, SEDECOGDF, SEDECOGEM, COMETRAVI, COMETAH e instituciones de investigación y académicas.

#### **Integración ecosistémica**



#### **Justificación**

La perspectiva desarrollada en este PROAIRE para abordar el problema de la calidad del aire con una visión ecosistémica, muestra una amplia gama de posibilidades para mejorar los alcances conceptuales del análisis lineal que se venía aplicando a la búsqueda de soluciones para éste y otros problemas similares. Bajo este principio, se requiere avanzar en la construcción de una visión holística que permita desarrollar los estudios para la comprensión del sistema metropolitano visto como un sistema espacial, abierto y complejo en el que interactúan permanentemente procesos urbanos, económicos, ambientales, culturales y sociales.

En lo que se refiere específicamente al tema de la calidad del aire, el desarrollo de un cuerpo de conocimientos con enfoque ecosistémico permitirá identificar y estudiar las relaciones existentes entre la estructura urbana y la cultura metropolitana con el consumo energético y con la emisión de contaminantes criterio, contaminantes tóxicos



y gases y compuestos de efecto invernadero. Asimismo, esta visión es la que se requiere para afrontar los riesgos del cambio climático desde la perspectiva urbana, especialmente ante los pronósticos internacionalmente aceptados que hablan de un proceso continuo de emigración de las zonas rurales a las ciudades.

**Descripción**

Se conformará un grupo de trabajo multidisciplinario en el que participarán las áreas técnicas de las secretarías encargadas de los temas ambientales, del desarrollo urbano, de transporte y vialidad, así como del desarrollo económico de los Gobiernos Federal, del Estado de México y del Distrito Federal, así como especialistas, técnicos y científicos de otras instituciones y centros de investigación y educación superior con el propósito de iniciar un programa de análisis ecosistémico de la ZMVM que sirva de base para el diseño y aplicación de nuevas políticas públicas con visión ecosistémica y de alcance metropolitano.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Establecimiento del grupo de trabajo							
Planteamiento de los objetivos, metas y métodos de trabajo del programa							
Inicio de los trabajos de análisis ecosistémico							
Diseño nuevas políticas públicas con visión ecosistémica y alcance metropolitano							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
●	●	●	●	●	●	●	●	●

**Beneficios esperados**

Contar con un sistema que permita el diseño de políticas públicas basadas en la concepción ecosistémica de la ZMVM.

**Costo estimado**

10 millones de pesos.

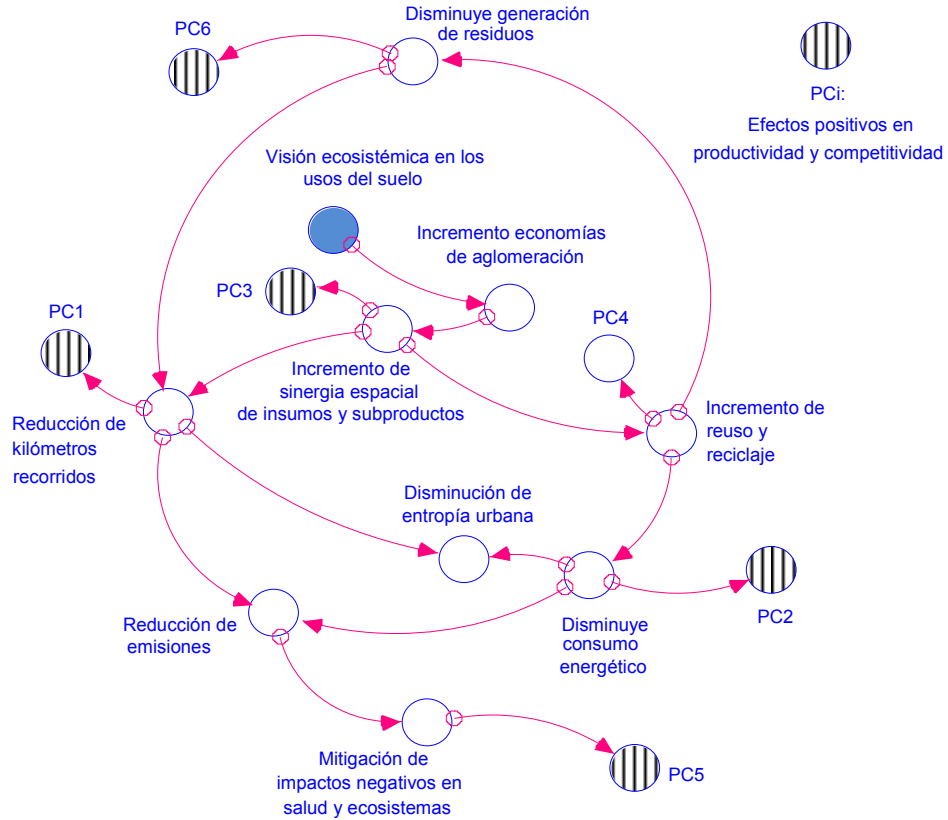
**Acción 10.2. Desarrollar la argumentación técnica necesaria para proponer cambios en los criterios de zonificación y de usos e intensidades del suelo en áreas urbanas.**

**Objetivo**

Ofrecer elementos ecosistémicos que justifiquen y promuevan la realización de cambios estructurales en la organización espacial de las actividades de la ZMVM. Estos cambios son necesarios para incrementar las eficiencias urbanas, económicas, ambientales y sociales, lo cual mejoraría la calidad de vida de la población y provocaría incrementos en la productividad de los agentes económicos y en la competitividad de la ZMVM.

**Actores responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SEMARNAT, SEDUVI, SEDURGEM, SETRAVI, STGEM, SEDECOGDF, SEDECOGEM, COMETRAVI, COMETAH e instituciones de investigación y académicas.

### Integración ecosistémica



### Justificación

El análisis ecosistémico realizado para este PROAIRE, que se reforzó con la estimación de modelos de econometría espacial que usaron datos a nivel de AGEB para toda la ZMVM y con el cálculo de índices de entropía para la misma zona, mostró que la estructuración espacial de la ZMVM es determinante para su desempeño energético, ambiental, económico y social. Por ello resulta imprescindible modificar los paradigmas de la planeación de dos desarrollos fundamentales para el futuro de la ZMVM, a saber, el urbano y el económico, incluyendo entre otros aspectos la decisión de incidir sobre la metrópolis construida.

Los modelos de econometría espacial y el modelo de simulación de las emisiones del parque vehicular, desarrollados para este PROAIRE, muestran el vínculo endógeno existente entre la estructura urbana, el sistema de generación de viajes, el consumo energético y la emisión de contaminantes atmosféricos. Este hecho y la evidencia histórica que indica que la tasas de incremento de las necesidades de desplazamiento de personas y materiales aumentan más que proporcionalmente que las tasas de crecimiento de las capacidades de infraestructura vial y de interconexión urbana y de transporte multimodal, exigen la consideración de un enfoque ecosistémico de la estructuración metropolitana.

### Descripción

Se conformará un grupo de trabajo para realizar el análisis ecosistémico de la ZMVM que sirva de base para el diseño y aplicación de nuevas políticas públicas con esta visión ecosistémica y de alcance metropolitano.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Conformación equipo de trabajo							
Definición de estudios requeridos							
Integración equipos interdisciplinarios							
Desarrollo de estudios							
Presentación de resultados							
Aplicación de propuestas							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

La reducción del consumo energético y de las emisiones contaminantes, la disminución de costos económicos y sociales, el incremento de la productividad y de la competitividad y, consecuentemente, la mejoría de la calidad de vida de la población.

### Costo estimado

30 millones de pesos.

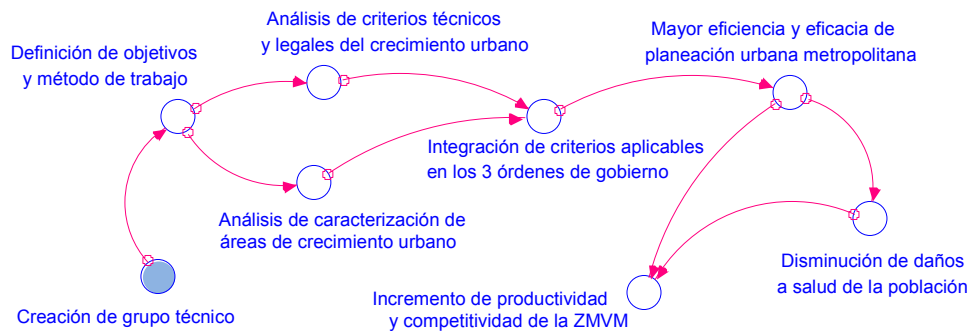
### **Acción 10.3. Analizar y desarrollar los criterios técnicos necesarios para proponer esquemas que orienten la delimitación y caracterización del crecimiento de las áreas urbanas.**

#### Objetivo

Ofrecer al sector responsable de la planeación del desarrollo urbano los argumentos científicos, técnicos y legales necesarios para desarrollar e instrumentar la regulación del crecimiento urbano, justificándolos con base en el enfoque ecosistémico desarrollado en este PROAIRE y de cara a las perspectivas de mitigación de emisiones contaminantes en el largo plazo.

**Actores responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SEMARNAT, SEDUVI, SEDURGEM, SETRAVI, STGEM, SEDECOGDF, SEDECOGEM, COMETRAVI, COMETAH e instituciones de investigación y académicas.

## Integración ecosistémica



### Justificación

El análisis ecosistémico desarrollado para este PROAIRE 2011-2020 también produjo información y datos sobre los impactos de la estructura urbana en la emisión de contaminantes. Dicho análisis mostró que la configuración actual de zonas y usos del suelo, caracterizada por la proliferación de usos monofuncionales de baja densidad, es un factor que genera más viajes, de mayor longitud y con ello más emisiones, a pesar del alto costo de los trayectos. La distribución de las zonas está relacionada con la extensión del área urbanizada, es decir, con el patrón de crecimiento que ha seguido la ZMVM en las últimas décadas y que se manifiesta en altos niveles de entropía urbana y bajos niveles de eficiencia económica, ambiental y social.

### Descripción

Se integrará un grupo de trabajo para realizar el análisis ecosistémico de la ZMVM y coordinar los estudios que provean los argumentos y criterios que ayuden a orientar el crecimiento sustentable de la ZMVM, los cuales deberán ser presentados y explicados a las autoridades responsables del desarrollo urbano.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Conformación de equipos de trabajo							
Definición de estudios requeridos							
Desarrollo de estudios							
Presentación de resultados							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Contar con una herramienta para aportar elementos a las autoridades responsables del desarrollo urbano, los cuales puedan ser utilizados para orientar el crecimiento de una manera sostenible de la ZMVM.

### Costo estimado

10 millones de pesos.

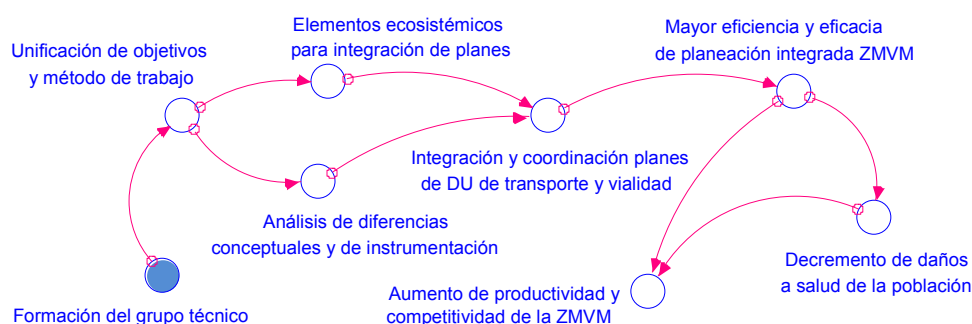
**Acción 10.4. Desarrollar los argumentos técnicos para proponer un enfoque ecosistémico en la elaboración de los planes y programas delegacionales y municipales de desarrollo urbano, vialidad y transporte.**

**Objetivo**

Realizar estudios técnicos para proponer estrategias que orienten la elaboración integrada de los programas de desarrollo urbano, vialidad y transporte en las delegaciones del Distrito Federal y los municipios conurbados del Estado de México, otorgándole la importancia debida a los elementos que inciden sobre el funcionamiento del ecosistema a nivel metropolitano.

**Actores responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SEMARNAT, SEDUVI, SEDURGEM, SETRAVI, STGEM, SEDECOGDF, SEDECOGEM, COMETRAVI, COMETAH e instituciones de investigación y académicas.

**Integración ecosistémica**



**Justificación**

Otro de los resultados del análisis ecosistémico de la ZMVM se refiere a los altos niveles calculados de entropía urbana, lo cual indica un patrón generalizado de amplia dispersión, y baja concentración, de las densidades de población y de las densidades de empleo. Esto constituye un sistema de alta generación de viajes, de alto consumo de combustibles y consecuentemente de grandes volúmenes de emisiones contaminantes. Un cambio en la forma de elaborar e integrar los planes y programas de desarrollo urbano, de ordenamiento ecológico, de vialidad y transporte, es una condición necesaria para avanzar hacia un funcionamiento económica y ambientalmente más eficiente de la ZMVM.

**Descripción**

Se desarrollarán los estudios que aporten los argumentos y criterios técnicos para proponer cambios procedentes en la elaboración de los programas de la administración urbana en la ZMVM.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Conformación equipo de trabajo							
Definición de estudios requeridos							
Integración equipos interdisciplinarios							
Desarrollo de estudios							
Presentación de resultados							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Contar con criterios ambientales adicionales para el mejoramiento de la calidad del aire que puedan ser considerados en el diseño y elaboración de planes y programas de crecimiento urbano de la ZMVM. Al igual que en las demás acciones de esta medida, la lista de beneficios incluye la reducción del consumo energético y de las emisiones contaminantes, la disminución de costos económicos y sociales, el incremento de la productividad, de la competitividad y consecuentemente una mejora de la calidad de vida de la población.

### Costo estimado

5 millones de pesos.

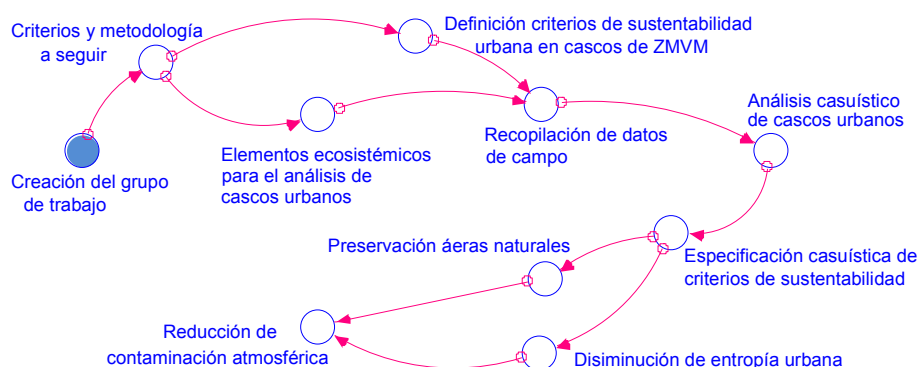
### **Acción 10.5. Considerar un enfoque ecosistémico en la definición de los criterios que determinen el tipo de desarrollo permitido en áreas urbanas contenidas en o colindantes con las áreas naturales de la ZMVM.**

#### Objetivo

Diseñar criterios para proponer límites de desarrollo urbano y económico permitidos en los cascos urbanos que se encuentran dentro de las áreas naturales así como en los asentamientos que colindan con dichas zonas.

**Actores responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SEMARNAT, SEDUVI, SEDURGEM, SETRAVI, STGEM, SEDECOGDF, SEDECOGEM, COMETRAVI, COMETAH e instituciones de investigación y académicas.

#### Integración ecosistémica



#### Justificación

La urbanización de áreas que están dentro o que colindan con las áreas naturales tiene efectos sobre la calidad del aire a través de varias vías. La localización de estas áreas suele estar alejada de otros centros de población, lo que incrementa las necesidades de realización de viajes por vialidades secundarias o por terracerías. Se repite de esa manera el esquema de dispersión de los asentamientos humanos que provoca una alta entropía urbana, más consumo de combustibles y con ello más emisiones

contaminantes. Este tipo de proceso de urbanización provoca asimismo la erosión de áreas contiguas, lo cual sumado a la resuspensión de partículas por la circulación de vehículos en caminos no pavimentados aumenta las emisiones contaminantes.

### Descripción

El grupo de trabajo que se integrará para el análisis ecosistémico de la ZMVM será el encargado de desarrollar y coordinar los estudios que determinen los criterios ambientales a proponer para cumplir con el objetivo propuesto.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Conformación equipo de trabajo							
Definición de estudios requeridos							
Presentación de resultados							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Contar con los criterios de crecimiento urbano de los cascos urbanos en las áreas naturales protegidas para contribuir a la preservación de las áreas naturales que contienen cascos urbanos, así como en la reducción de las emisiones asociadas al funcionamiento de dichos centros de población.

### Costo estimado

2 millones de pesos.

**MEDIDA 11: CREACIÓN DE SUBCENTROS URBANOS EN LAS CUENCAS DE AQUELLAS ESTACIONES DEL METRO QUE TIENEN ACTUALMENTE CAPACIDAD OCIOSA.**

**Acción 11.1. Desarrollar los criterios y los argumentos técnico-normativos que demuestren la viabilidad y los beneficios urbanos, económicos, ambientales y sociales de un mejor aprovechamiento de la red del Metro.**

### Objetivo

Optimizar el aprovechamiento de la red del Metro mediante proyectos de reestructuración urbana en las cuencas de aquellas estaciones con potencial para incrementar las eficiencias y economías de red, donde el entorno urbano tenga potencial de reciclamiento y capacidad de carga o absorción suficientes para satisfacer las necesidades derivadas de los nuevos proyectos.

**Actores responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SEMARNAT, SEDUVI, SEDURGEM, SETRAVI, STC METRO, STGEM, SEDECOGDF, SEDECOGEM, COMETRAVI, COMETAH e instituciones de investigación y académicas.





ventajas se producen a través de una variedad de efectos cuyas trazas pueden vislumbrarse a partir del mapa ecosistémico presentado en el Capítulo 6, y que en conjunto propician una menor cantidad de viajes, un mejor aprovechamiento de los recursos energéticos (combustibles y electricidad), mayor eficiencia en el manejo del agua y menos emisiones atmosféricas contaminantes.

### Descripción

Se promoverá la realización de los estudios necesarios para la elaboración de los análisis de factibilidad y el desarrollo de los proyectos ejecutivos que presenten los mayores beneficios urbanos, económicos, ambientales y sociales.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Definición de estudios requeridos							
Integración de equipos interdisciplinarios							
Desarrollo de estudios							
Presentación de resultados							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Aprovechar el potencial de las economías de aglomeración, de urbanización y de redes del transporte, y contribuir en el mejoramiento de la productividad y de la competitividad de la ZMVM.

Ambientalmente, una menor cantidad de viajes, un mejor aprovechamiento de los recursos energéticos (combustibles y electricidad), una mayor eficiencia en el manejo del agua y menos emisiones atmosféricas contaminantes.

### Costo estimado

20 millones de pesos.

**MEDIDA 12: CONSIDERACIÓN, EN LA PLANEACIÓN URBANA, DE CRITERIOS QUE MINIMICEN EL CONSUMO ENERGÉTICO DEL CICLO FÍSICO ESPACIAL DEL ABASTECIMIENTO Y DRENAJE DE LAS AGUAS EN LA ZMVM.**

### Acción 12.1. Desarrollar los elementos técnicos que expliquen las relaciones existentes entre las características de la estructura urbana y el consumo energético del abastecimiento de agua potable y del desagüe de aguas residuales.

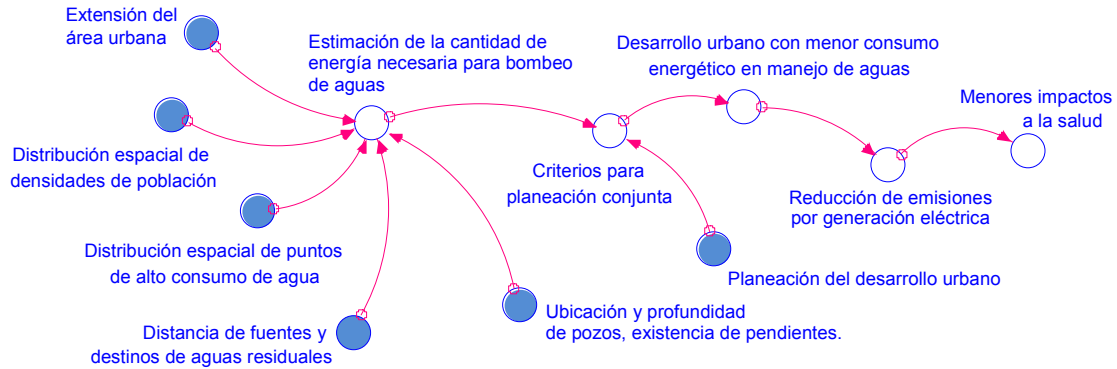
#### Objetivo

Ofrecer a los sectores responsables de la planeación del desarrollo urbano y del manejo de aguas en la ZMVM los elementos y criterios técnicos ambientales que ayuden en los

procesos de planeación conjunta, con el propósito de reducir el consumo energético del abastecimiento de agua potable y el desagüe de las aguas residuales.

**Actores responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SEMARNAT, SEDUVI, SEDURGEM, instituciones de investigación y académicas, SACM, SAOPGEM, CONAGUA, COMETAH y CADAM.

### Integración ecosistémica



### Justificación

El mapa ecosistémico presentado en el Capítulo 6, muestra de manera general las relaciones funcionales entre la estructura urbana y el consumo energético de las actividades realizadas en la ZMVM. En ese contexto, se identifica una relación positiva entre la extensión del área urbana y la distribución espacial de densidades de población, por un lado, y el consumo energético necesario para bombear el agua potable y el agua residual a través de la red hidráulica, por el otro. Si el calibre y la longitud de la tubería de conducción son determinados en función del volumen estimado de agua a conducir y de las distancias entre las fuentes de abastecimiento y los puntos de consumo, entonces la cantidad de energía eléctrica requerida para el bombeo depende del volumen de agua a desplazar, de las distancias mencionadas y de otras variables como la profundidad de los pozos y las pendientes de las líneas de conducción. La misma lógica se aplica para el caso de las aguas residuales, por lo que mientras más extensa y dispersa sea el área urbana, mayor consumo energético habrá y consecuentemente más emisiones contaminantes.

### Descripción

Se coordinarán los proyectos de investigación y los estudios necesarios para el desarrollo de las acciones que promuevan la consideración explícita de los elementos mencionados en la planeación conjunta del desarrollo urbano y del abastecimiento y desagüe de aguas en las redes hidráulicas de la ZMVM.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Integración de equipos interdisciplinarios							
Definición de estudios requeridos							
Desarrollo de estudios							
Presentación de resultados							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
								•

### Beneficios esperados

Reducir el consumo energético en el abastecimiento de agua potable y el tratamiento y conducción de las aguas residuales.

### Costo estimado

3 millones de pesos.

## MEDIDA 13: CONSIDERACIÓN DE CRITERIOS QUE MINIMICEN EL CONSUMO ENERGÉTICO EN EL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LA ZMVM.

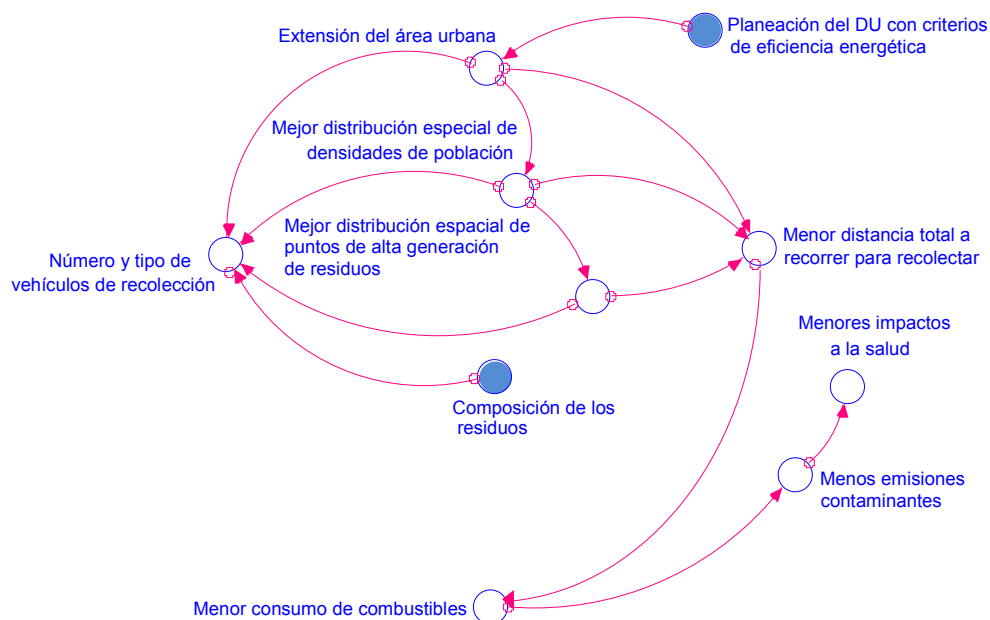
### Acción 13.1. Desarrollar criterios técnicos y normativos que puedan ser usados para reducir los costos ambientales del ciclo de manejo de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

#### Objetivo

Ofrecer a los sectores responsables del tratamiento y manejo de los residuos sólidos urbanos, elementos y criterios para conciliar los aspectos de infraestructura urbana y de servicios, generación y recolección de residuos, consumo energético y emisiones contaminantes, con el propósito de reducir los costos ambientales del ciclo de los residuos sólidos.

**Actores responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SEDUR, SEMARNAT, instituciones de investigación y académicas y SOSGDF.

#### Integración ecosistémica



### Justificación

El ciclo de vida de los residuos sólidos urbanos se puede resumir en tres fases principales: la generación, que se refiere al proceso en el que los generadores desechan diversos materiales que ya no les sirven; la recolección y el transporte, agrupados en un solo proceso que incluye la necesidad de movilizar los residuos desde el punto de generación hasta el sitio de disposición final; y, por último, la disposición, entendida como el proceso en donde se retiran los materiales que pueden ser reciclados o reutilizados y se desechan definitivamente aquellos que ya no tienen valor económico.

Al abordar estos procesos desde una perspectiva espacial se observa que éstos forman una compleja red de viajes, una parte importante de los cuales se realiza en diferentes vehículos de recolección. La intensidad de los flujos vehiculares depende, entre otras variables, de los volúmenes tanto de generación de residuos como de reúso, reciclaje y disposición, así como de la distribución espacial de las fuentes, de los centros de transferencia y de los sitios de disposición final. Estas mismas variables determinan los requerimientos del sistema de manejo de residuos para cada nivel de servicio, por ejemplo, cuántos vehículos y de qué tipos, así como sus frecuencias de paso y sus rutas para que los residuos no se acumulen en las fuentes de generación, en las calles, en baldíos, barrancas o cualquier otro lugar.

El funcionamiento del sistema de manejo de residuos, dadas las características de la estructura urbana de la ZMVM, requiere de un enorme consumo de combustibles y emite una cantidad muy importante de emisiones, pero también contribuye en el incremento de las densidades viales, en la obstrucción de vialidades y por lo tanto en la disminución de las velocidades promedio de circulación. La suma de las externalidades o costos externos de este servicio público es altamente significativa.

### Descripción

Coordinar los proyectos de investigación y los estudios que establezcan los criterios de disminución del consumo energético en el tratamiento y disposición de los residuos sólidos urbanos de la ZMVM.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Conformación de equipo de trabajo							
Definición de estudios requeridos							
Integración de equipos interdisciplinarios							
Desarrollo de estudios							
Presentación de resultados							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Reducir el consumo energético asociado al manejo y tratamiento de los residuos sólidos urbanos.

### Costo estimado

3 millones de pesos.

---

## ESTRATEGIA 3: CALIDAD Y EFICIENCIA ENERGÉTICAS EN TODAS LAS FUENTES

---

### MEDIDA 14: MODERNIZACIÓN Y HOMOLOGACIÓN DEL PROGRAMA DE VERIFICACIÓN VEHICULAR

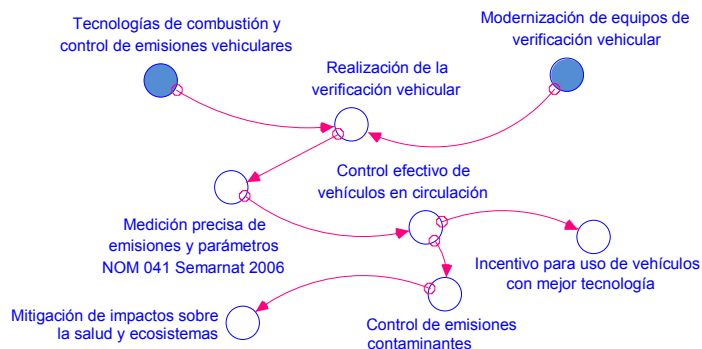
#### **Acción 14.1. Modernizar el equipamiento de los centros de verificación vehicular de la ZMVM.**

##### **Objetivo**

Reducir las emisiones de los vehículos en circulación de la ZMVM, con la utilización de mejores tecnologías de medición en los centros de verificación vehicular.

**Actores responsables:** SMAGDF y SMAGEM.

##### **Integración ecosistémica**



##### **Justificación**

La infraestructura que opera en los centros de verificación de emisiones vehiculares en la ZMVM comprende equipos analizadores de gases, dinamómetros, estaciones meteorológicas, opacímetros y sistemas de cómputo, vídeo y aforo vehicular. Esta infraestructura fue desarrollada, instalada y se encuentra en operación a partir de 1996. Los avances tecnológicos tanto en la industria automotriz como en los sistemas de verificación de emisiones vehiculares demandan la necesidad de modernizar los centros de verificación vehicular del Valle de México.

Las generaciones vehiculares actuales incluyen sistemas de diagnóstico a bordo "OBD II" que permiten conocer las fallas que los vehículos presentan en distintos componentes que impactan en la tasa de emisión de la unidad y que en algunas ciudades internacionales aplican un protocolo basado en el reporte del "OBD II" para complementar y/o sustituir la evaluación tradicional de gases.

Por lo anterior, la modernización de la infraestructura de los verificentros en la ZMVM se plantea para resolver los problemas operativos y para adecuar la infraestructura de medición a las nuevas condiciones tecnológicas de los automotores.

### Descripción

Establecer los cambios necesarios en la infraestructura y equipos, implementando un proceso gradual en la modernización de los centros de verificación vehicular.

Adicionalmente, se desarrollará conjuntamente un programa piloto de revisión de condiciones operativas automotrices a través del sistema OBD II y similares.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Actualización de equipos en verificentros del Distrito Federal							
Actualización de equipos en verificentros del Estado de México							
Modernización de sistemas de administración y vigilancia de los verificentros							
Diseño del programa piloto de revisión de OBD II							
Aplicación del programa piloto de OBD II							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Reducción de 12 ton/año de PM<sub>10</sub>, 6 ton/año de PM<sub>2.5</sub>, 17,643 ton/año de CO, 666 ton/año de NO<sub>x</sub>, 2,613 ton/año de COV, 602 ton/año de tóxicos y 72,014 ton/año de CO<sub>2</sub>.

### Costo estimado

360 millones de pesos.

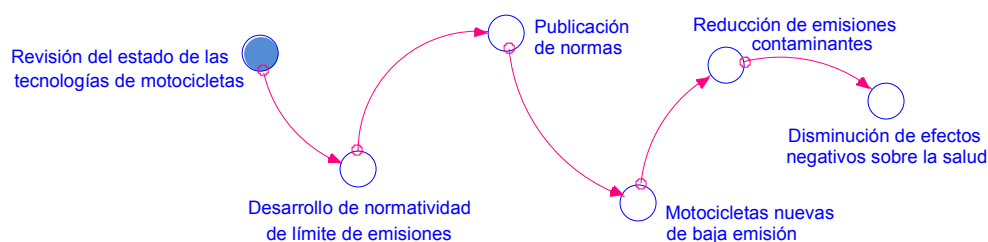
### **Acción 14.2. Desarrollar y aplicar normas oficiales mexicanas para la evaluación de las emisiones provenientes de motocicletas nuevas y en circulación en la ZMVM.**

#### Objetivo

Reducir las emisiones vehiculares provenientes de las motocicletas en circulación a través de la regulación de sus emisiones contaminantes y diseñar la normatividad correspondiente para las motocicletas nuevas.

**Actores responsables:** SEMARNAT, SMAGDF, SMAGEM, AMIA, sector académico.

## Integración ecosistémica



### Justificación

El inventario de emisiones vehiculares 2008 de la ZMVM registra alrededor de 238,000 motocicletas, que representan cerca del 10% de la emisión de las fuentes móviles, las cuales no están sujetas al cumplimiento de normatividad ambiental como automotor nuevo y no se les aplican los programas de verificación de emisiones vehiculares en la ZMVM debido a omisiones técnicas contenidas en las actuales normas oficiales mexicanas para motocicletas en circulación.

A pesar de que las motocicletas presentan una mayor tasa de emisión de contaminantes por kilómetro recorrido que los automóviles de uso particular, las motocicletas se encuentran exentas de la revisión de sus emisiones debido a la falta de normas que definan protocolos de evaluación y de límites máximos permisibles de emisión de contaminantes.

### Descripción

La SEMARNAT actualizará las normas oficiales mexicanas aplicables a las motocicletas de dos y cuatro tiempos en circulación en el país.

Posteriormente a la publicación de las normas correspondientes, se realizarán las adecuaciones necesarias en los verificentros para la aplicación de las normas.

Asimismo, la SEMARNAT establecerá el grupo de trabajo que desarrollará la norma ambiental para regular las emisiones de las motocicletas nuevas considerando las nuevas tecnologías.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Revisión, desarrollo y publicación del protocolo de prueba y límites máximos permisibles de emisión para motocicletas							
Aplicación de la normatividad en verificentros							
Conformación del grupo de trabajo para desarrollar la norma para regular las motocicletas nuevas							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
●	●		●	●	●	●	●	●

**Beneficios esperados**

Contar con la normatividad adecuada para regular las motocicletas en circulación y propiciar la introducción de motocicletas con las mejores tecnologías a nivel internacional.

**Costo estimado**

4.5 millones de pesos.

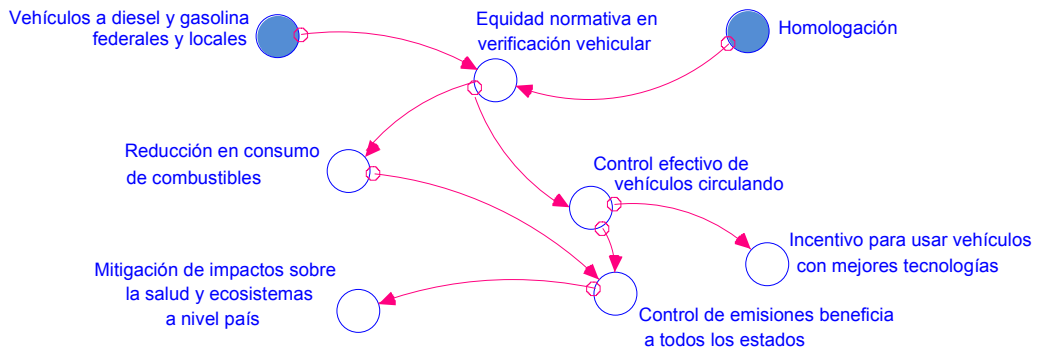
**Acción 14.3. Homologar los procedimientos y criterios de verificación de los vehículos con placas federales y locales.**

**Objetivo**

Homologar los procesos de verificación de los vehículos a gasolina y diesel con placas federales y locales.

**Actores responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SEMARNAT y SCT.

**Integración ecosistémica**



**Justificación**

Diariamente circulan por la ZMVM vehículos a diesel y gasolina, de carga y de pasajeros, que son verificados en centros autorizados por los gobiernos locales y el gobierno federal, sin embargo, en ocasiones para acreditar la verificación de estas unidades, se manipula el motor para que la medición de sus emisiones estén dentro de norma.

**Descripción**

Se impulsará con las autoridades federales de la SCT, responsables de la regulación del transporte de carga y pasajeros con placa federal, realizar la homologación de los procedimientos de la verificación de emisiones de los automotores.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Diseño de un programa para homologación de procedimientos y criterios técnicos							



Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Reducción de 548 ton/año de PM<sub>10</sub>, más de 26 mil ton/año de CO, 2,765 ton/año de NO<sub>x</sub>, 2,745 ton/año de COV, 374 ton/año de contaminantes tóxicos y 728 mil ton/año CO<sub>2</sub>.

### Costo estimado

107 millones de pesos.

## MEDIDA 15: FORTALECIMIENTO DEL PROGRAMA DE SUSTITUCIÓN DE CONVERTIDORES CATALÍTICOS.

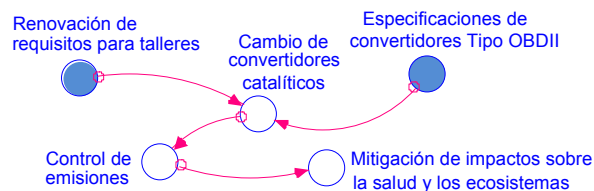
### Acción 15.1. Fortalecer la aplicación del programa para la sustitución de convertidores catalíticos.

#### Objetivo

Actualizar los requerimientos tecnológicos de los talleres autorizados y las especificaciones técnicas de los convertidores catalíticos permitidos en la ZMVM, con el objeto de ampliar el programa a unidades con OBD II y/o similares.

**Actores responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SEMARNAT-INE y AMIA.

#### Integración ecosistémica



#### Justificación

El parque vehicular que incluye sistemas OBD II generalmente no acepta el uso de convertidores catalíticos genéricos dada la especificidad en la configuración del convertidor catalítico y la ubicación de los sensores que alimentan de información al sistema OBD II.

El programa de sustitución de convertidores catalíticos (PIREC) no contempla especificaciones técnicas que deben cumplir los convertidores catalíticos en vehículos que cuentan con tecnología OBD II.

#### Descripción

Se definirán las especificaciones para el registro de convertidores catalíticos para vehículos con tecnología OBD II, así como las marcas y submarcas de los vehículos que se irán integrando al Programa PIREC, y el criterio de obligatoriedad en la sustitución de los convertidores a través de la identificación de una mala operación del convertidor

registrada por el sistema OBD II (en adición y/o sustitución del algoritmo actualmente utilizado).

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Diseñar un nuevo programa de reemplazo de convertidores catalíticos, incluyendo los requisitos para su sustitución, para la autorización de talleres y la definición de las características de los CC							
Implementar su aplicación en verificentros							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
	•		•	•	•	•	•	

**Beneficios esperados**

Reducir las emisiones CO en 3,177 mil ton/año, 382 ton/año de NO<sub>x</sub> y alrededor de 421 ton/año de COV.

**Costo estimado**

500 millones de pesos.

**MEDIDA 16: MODERNIZACIÓN DEL PROGRAMA DE DETECCIÓN Y RETIRO DE VEHÍCULOS OSTENSIBLEMENTE CONTAMINANTES.**

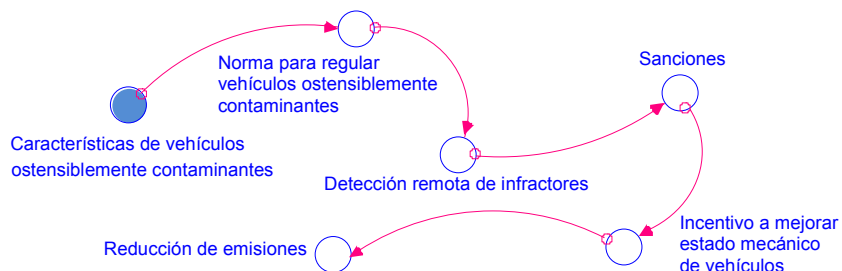
**Acción 16.1. Fortalecer el programa ostensiblemente contaminante con nuevo equipo para su operación y tecnología de detección.**

**Objetivo**

Incrementar y fortalecer las labores de detección y retiro de vehículos ostensiblemente contaminantes.

**Actores responsables:** SMAGDF, SMAGEM y SEMARNAT.

**Integración ecosistémica**



### Justificación

En la ZMVM opera desde hace varios años un programa de detección y retiro de unidades ostensiblemente contaminantes.

En vehículos con motores ciclo Otto sólo se sancionan a las unidades cuando las emisiones son visibles (humo negro o azul), situación que es indicador de altas emisiones de hidrocarburos por paso de aceite al motor o por falta de quemado de combustible. Sin embargo, algunas unidades con altos niveles de emisión no presentan emisiones visibles (por ejemplo vehículos con altos niveles de óxidos de nitrógeno).

En unidades a diesel no es posible evaluar las emisiones en pruebas dinámicas, de forma tal que las unidades en circulación pueden emitir niveles de emisión ostensibles dado que muchos de ellos pueden estar sobrecargados y, al aplicarles la prueba de opacidad, resulta que las emisiones bajo el protocolo de prueba normado actualmente, muestra niveles de emisión dentro de norma.

### Descripción

Se realizará la evaluación del uso de la tecnología de sensores remotos de medición de emisiones contaminantes con el objeto de aprovechar la tecnología disponible en la detección de unidades ostensiblemente contaminantes.

Esta evaluación determinará la posibilidad de formular propuestas normativas respecto al uso de sensores remotos, protocolo de medición y límites máximos permisibles.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Evaluación del equipo y realización de propuesta de norma							
Publicación de la norma							
Puesta en operación del programa							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
●	●	●	●	●	●	●	●	●

### Beneficios esperados

Reducir las emisiones en alrededor de 165 ton/año de partículas PM<sub>10</sub>, 14,641 ton/año de CO, 2,242 ton/año de NO<sub>x</sub>, 1,385 ton/año de COV, 317 ton/año de contaminantes tóxicos y más de 226 mil ton/año de CO<sub>2</sub>.

### Costo estimado

50 millones pesos.

## MEDIDA 17: PROMOVER EL USO DE VEHÍCULOS HÍBRIDOS Y ELÉCTRICOS PARA USO PARTICULAR, DE TRANSPORTE PÚBLICO Y DE CARGA.

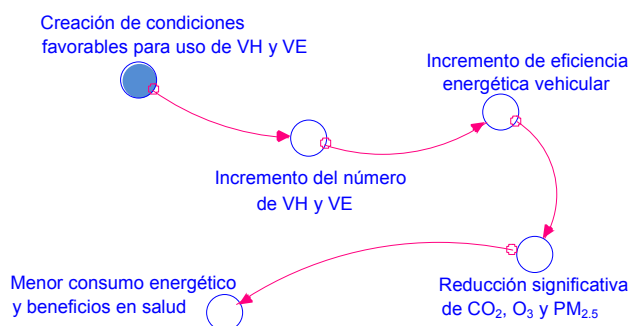
### Acción 17.1. Crear instrumentos que fomenten el uso de vehículos híbridos y eléctricos.

#### Objetivo

Impulsar el uso de tecnologías con bajas emisiones, con el fin de incrementar el número de vehículos híbridos (VH) y eléctricos (VE), que circulen en la ZMVM.

**Actores Responsables:** SEMARNAT, SHCP, SMAGDF, SMAGEM y AMIA.

#### Integración ecosistémica



#### Justificación

La sustitución de vehículos de combustión interna que usan diesel o gasolina por vehículos híbridos o eléctricos asegura una reducción considerable en el consumo de combustibles y en la emisión de partículas, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno contaminantes tóxicos y gases de efecto invernadero.

Después de varios años de desarrollo estas tecnologías han llegado a su etapa de comercialización en países en donde estos vehículos se han probado con éxito. En el caso de los vehículos híbridos el precio relativo de venta sigue siendo alto con respecto a vehículos equivalentes de combustión interna, aún y cuando la comparación de los costos totales a valor presente para la vida útil de las unidades muestre las ventajas del ahorro obtenido como consecuencia de un mayor rendimiento energético.

En un estudio del Dr. Jazcilevich (2011), se presenta una evaluación sobre la introducción sostenida de vehículos híbridos en la ZMVM, hasta llegar al punto en el que la participación de vehículos con tecnología híbrida del año 2002 corresponde al 20% de la flota de autos en el año 2026. Los modelos de simulación desarrollados indican que en ese año se alcanza una reducción de alrededor del 10% en emisiones de bióxido de carbono y reducciones de los promedios diarios de las concentraciones de ozono y de PM<sub>2.5</sub> de hasta 7% y 3.4% respectivamente. Los resultados de un escenario alternativo conformado con la introducción de autos de tecnologías Tier I y II fueron muy inferiores, por lo que la introducción de vehículos híbridos podría ser una medida alentadora para alcanzar importantes beneficios acumulativos en reducciones de bióxido de carbono, consumo energético y a la salud pública.

Ante las ventajas que ofrecen en materia de reducción de emisiones y la oferta comercial cada vez más extensa y variada de estos vehículos, se recomienda impulsar los vehículos híbridos y eléctricos en usos particulares, de transporte público de pasajeros y de carga.

### Descripción

Se promoverán la creación de estímulos e incentivos, para promover vehículos híbridos y eléctricos, así como la instalación de la infraestructura necesaria para la operación en particular de los vehículos eléctricos.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Se evaluará el suministro e infraestructura necesarios en el caso de los vehículos eléctricos							
Se fomentará la sustitución de unidades de combustión interna por unidades eléctricas o híbridas							
Se analizará la factibilidad de que los gobiernos locales y federal utilicen en su flota de uso oficial un porcentaje de este tipo de vehículos eléctricos o híbridos							
Se buscarán incentivos ambientales que permitan impulsar el uso de unidades híbridas y eléctricas en la ZMVM en coordinación con las diversas organizaciones de transportistas							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Reducir las emisiones de partículas PM<sub>10</sub> en alrededor de 19 ton/año, 2,945 ton/año de CO, 360 ton/año de NO<sub>x</sub>, 230 ton/año de COV, 42 ton/año de contaminantes tóxicos y alrededor de 34 mil ton/año de CO<sub>2</sub>.

### Costo estimado

900 millones de pesos.

## MEDIDA 18: MODERNIZACIÓN DEL PROGRAMA “HOY NO CIRCULA” (HNC).

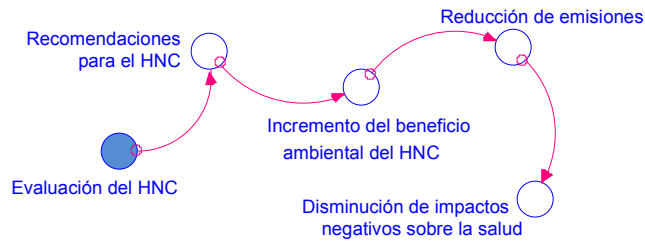
### Acción 18.1 Actualizar el Programa “Hoy No Circula”.

#### Objetivo

Incrementar el beneficio en la disminución de emisiones de vehículos en circulación en la ZMVM con la aplicación del programa “Hoy No Circula”.

**Actores responsables:** SMAGDF, SMAGEM y SEMARNAT.

**Integración ecosistémica**



**Justificación**

Las limitaciones a la circulación que establece el programa “Hoy No Circula” permite no sólo que el 13% del parque vehicular esté sujeto a las restricciones de la circulación de lunes a sábado, sino que también resulta ser un incentivo muy importante para propiciar la renovación de la flota vehicular de la ZMVM y lograr la aplicación de medidas ambientales tales como el uso de combustibles alternos, la autorregulación de unidades a diesel o la verificación dinámica en estados circunvecinos a la metrópoli.

Los beneficios ambientales de este programa demandan mantener su vigencia y buscar mecanismos para asegurar la estrategia encaminada a la renovación de la flota vehicular y el mantenimiento de sus condiciones óptimas en el control de sus emisiones.

**Descripción**

Se evaluará la operación del programa “Hoy No Circula” con el objeto de identificar mejoras que incrementen el beneficio ambiental debiendo analizar los criterios actuales de exención.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Revisiones de la operación del HNC							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

**Beneficios esperados**

La reducción de emisiones es de 71 ton/año de PM<sub>10</sub>, 38 ton/año de PM<sub>2.5</sub>, 55,337 ton/año de CO, 4,707 ton/año de NO<sub>x</sub>, 8,890 ton/año de COV, 1,367 ton/año de tóxicos y 778,992 ton/año de gases de efecto invernadero.

**Costo estimado**

3 millones de pesos.

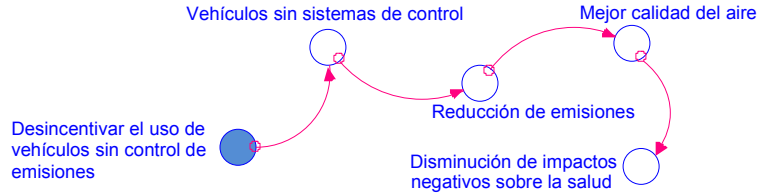
**Acción 18.2. Promover mecanismos para desincentivar el uso de vehículos con carburador.**

**Objetivo**

Disminuir el impacto en la generación de emisiones de los vehículos que carecen de tecnología para el control de las emisiones de contaminantes atmosféricos.

**Actores responsables:** SMAGDF, SMAGEM y SEMARNAT.

**Integración ecosistémica**



**Justificación**

En la ZMVM circulan alrededor de 585 mil vehículos que carecen de sistemas de control de emisiones (con tecnología de carburación), los cuales emiten cerca del 35% de las emisiones de contaminantes a la atmósfera.

**Descripción**

Se diseñarán esquemas para desincentivar el uso y la circulación en la ZMVM de vehículos que carecen de sistemas de control de emisiones, y gradualmente promover la sustitución de éstos por vehículos con tecnología para el control de las emisiones.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Analizar la flota sin control de emisiones							
Diseñar mecanismos para desincentivar el uso							
Sustitución gradual de vehículos							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
●	●	●	●	●	●	●	●	●

**Beneficios esperados**

Una reducción de contaminantes criterio y gases de efecto invernadero de los vehículos con mayores emisiones.

**Costo estimado**

3 millones de pesos.

## MEDIDA 19: ACTUALIZAR LA NORMATIVIDAD PARA VEHÍCULOS AUTOMOTORES.

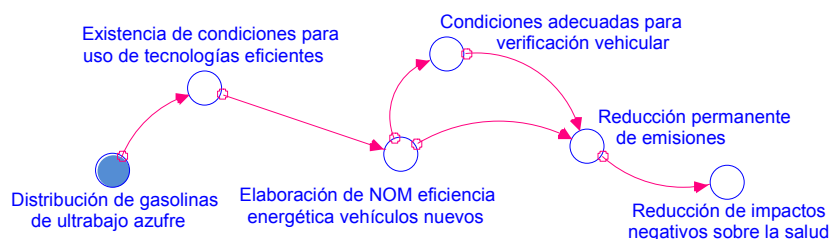
### **Acción 19.1. Publicar la NOM de eficiencia energética para vehículos nuevos.**

#### **Objetivo**

Que los automóviles nuevos que se agreguen al parque vehicular que circula en la ZMVM mejoren progresivamente su eficiencia energética y reduzcan paulatinamente sus emisiones de CO<sub>2</sub>.

**Actores responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SEMARNAT, INE, SENER y CONUEE.

#### **Integración ecosistémica**



#### **Justificación**

Los vehículos automotores consumen más del 50% del combustible que se distribuye en la ZMVM, por ello es importante que los vehículos sean cada vez más eficientes en el uso de energía y con menores emisiones de contaminantes y de GEI, regulando el desempeño ambiental y su eficiencia energética.

#### **Descripción**

Se elaborará la NOM que establezca los límites máximos permisibles de emisión de CO<sub>2</sub> expresados en g/km y de eficiencia energética para los vehículos automotores ligeros nuevos, cuyo peso bruto vehicular no excede los 3,875 kg, que utilizan gasolina y diesel como combustibles y que serán comercializados en México. Esta NOM permitirá que en la ZMVM se reduzca el consumo de combustibles fósiles y se mitiguen las emisiones GEI de los vehículos.

#### **Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Elaborar y presentar para comentarios el proyecto de NOM							
Publicación de la norma							
Introducción de vehículos con mayor eficiencia energética en la ZMVM							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•



**Beneficios esperados**

Disminución del consumo energético y menores emisiones de contaminantes atmosféricos en la ZMVM.

**Costo estimado**

1.5 millones pesos.

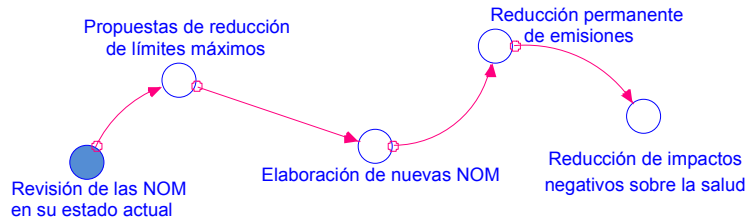
**Acción 19.2. Revisar y actualizar las Normas Oficiales Mexicanas relativas a vehículos en circulación.**

**Objetivo**

Actualizar las normas que establecen los límites máximos permisibles de emisión para vehículos a gasolina y diesel en circulación y su procedimiento de verificación vehicular.

**Actores responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SEMARNAT, SENER y AMIA.

**Integración ecosistémica**



**Justificación**

Las Normas Oficiales 041, 045 y 047, establecen los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible y los límites máximos permisibles de opacidad, procedimiento de prueba y características técnicas de los equipos de medición para vehículos que usan diesel como combustible.

Estas normas requieren de una actualización permanente para adecuarse a los avances tecnológicos de los nuevos vehículos que se comercializan en la ZMVM.

**Descripción**

Las Normas Oficiales Mexicanas para la regulación de emisiones de los vehículos en circulación deben ser acordes a la evolución y avances tecnológicos de la industria automotriz. Por esta razón, la SEMARNAT deberá coordinar los trabajos necesarios para la actualización de dichas normas.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Revisión de NOM 041, 045 y 047							
Propuestas de actualización							
Publicación de nuevas NOM							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Mejorar los mecanismos de regulación de las emisiones de vehículos en circulación con relación a la disponibilidad de mejores tecnologías automotrices.

### Costo estimado

Gasto corriente.

**MEDIDA 20: MAXIMIZAR EL APROVECHAMIENTO DEL DIESEL DE ULTRABAJO AZUFRE DISPONIBLE EN LA ZMVM PARA FLOTAS QUE CIRCULEN EN ELLA.**

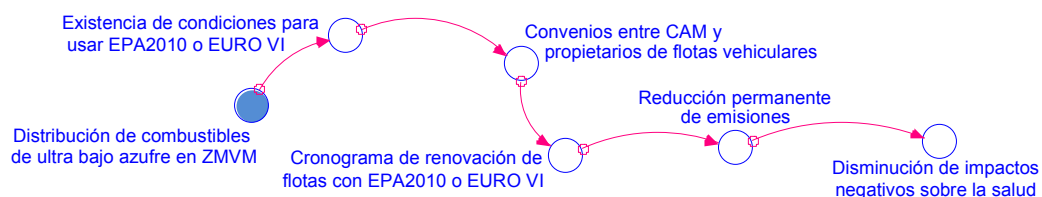
### Acción 20.1. Fomentar la introducción de vehículos y motores con tecnologías de control avanzadas en flotas gubernamentales y de empresas privadas.

#### Objetivo

Maximizar el beneficio de los combustibles UBA que PEMEX distribuye en la ZMVM, a través de la introducción de unidades que cumplan con límites de emisión más estrictos a los que establecen las NOM.

**Actores Responsables:** SEMARNAT, SMAGDF, SMAGEM y ANPACT.

#### Integración ecosistémica



#### Justificación

El diesel y la gasolina que PEMEX distribuye en la ZMVM, tienen ultrabajo contenido de azufre (15 ppm y 30 ppm respectivamente), siendo estos combustibles necesarios para el correcto funcionamiento de vehículos que cumplen con límites de emisión internacionales, los cuales son mucho más estrictos que los establecidos en el país.

#### Descripción

Se impulsará que la renovación del parque vehicular de flotillas de gobierno, particulares o de servicios de transporte, se realice considerando la adquisición de vehículos con los sistemas de control de emisiones más avanzados.

**Calendario Propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Establecer lineamientos para seleccionar las mejores tecnologías							
Promover las tecnologías más limpias							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

**Beneficios esperados**

Reducción directa de emisiones al renovar las unidades por vehículos que usen las tecnologías más limpias ambientalmente.

**Costo estimado**

1.5 a 3 millones de pesos por unidad.

**MEDIDA 21: RENOVACIÓN DE VEHÍCULOS A DIESEL CON LA SUSTITUCIÓN DE MOTORES Y ADAPTACIÓN DE SISTEMAS DE CONTROL DE EMISIONES.**

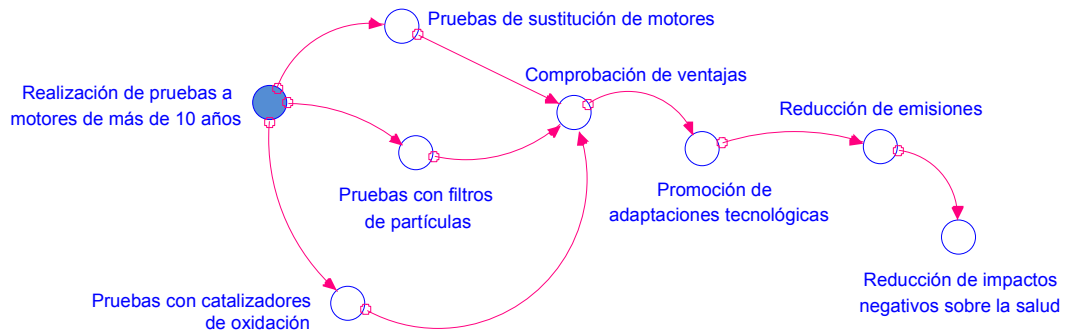
**Acción 21.1. Diseñar un programa de sustitución de motores a diesel con más de 10 años de operación y adaptación de equipos de control de emisiones.**

**Objetivo**

Sustituir motores a diesel de aspiración natural por motores que emplean inyección electrónica con menores niveles de emisión (estándar EPA 2004 o posterior), así como incorporar equipos de control de emisiones (trampas de partículas principalmente).

**Actores Responsables:** SEMARNAT, SCT, SMAGDF, SMAGEM, SETRAVI, STGEM, ANPACT y empresas fabricantes de los equipos de control.

**Integración ecosistémica**



**Justificación**

Los resultados del primer proyecto de "Retrofit" para autobuses urbanos a diesel, en la ZMVM (realizado en 2004) mostraron que es factible reducir más del 90% las emisiones

de partículas en autobuses a diesel con inyección electrónica y combustible de ultra-bajo azufre.

Considerando que Petróleos Mexicanos ya distribuye en la ZMVM diesel con 15 ppm, es posible llevar a cabo pruebas para diseñar un programa para el uso de filtros de partículas en el parque vehicular a diesel que permita reducir las emisiones en más de un 90%. Asimismo, el cambio de motores puede ser una alternativa para reducir las emisiones de estos vehículos.

**Descripción**

Diseñar un procedimiento para acreditar los mejores sistemas de control de partículas en unidades a diesel, así como en el desarrollo de un programa que incentive su uso en dichas unidades.

Además, se promoverá en las unidades a diesel del transporte de pasajeros y de carga que circulen en la ZMVM, la sustitución de motores en aquellas unidades con más de 10 años de antigüedad.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Diseño del programa							
Pruebas y acreditación de sistemas anticontaminantes							
Aplicación del programa							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

**Beneficios esperados**

Reducir 64 ton/año de PM<sub>10</sub>, 54 ton/año de PM<sub>2.5</sub>, 557 ton/año de CO, 55 ton/año de NO<sub>x</sub>, 43 ton/año de COV, 5 ton/año de tóxicos y 18,757 ton/año de GEI.

**Costo estimado**

422 millones.

**MEDIDA 22: RENOVACIÓN DE LAS FLOTAS VEHICULARES DE TRANSPORTE DE PASAJEROS DE BAJA, MEDIANA Y ALTA CAPACIDAD.**

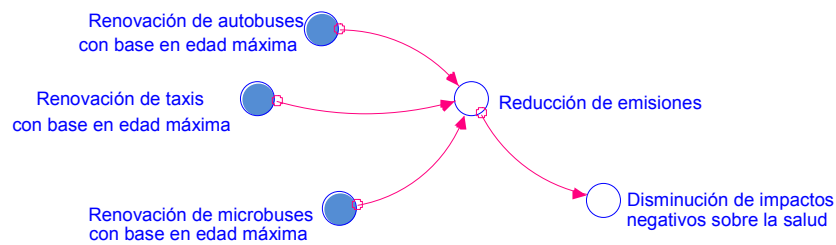
**Acción 22.1. Renovar la flota vehicular de transporte de pasajeros de baja, mediana y alta capacidad de la ZMVM.**

**Objetivo**

Contar con una flota de transporte público en la que la edad promedio de las unidades cumpla con la edad máxima permitida de operación, y que usen tecnologías cada vez menos contaminantes.

**Actores responsables:** SETRAVI, STGEM, SCGEM, RTP, Metrobús, Mexibús y concesionarios.

### Integración ecosistémica



### Justificación

Una proporción importante del total de las emisiones provenientes de los vehículos de transporte público de pasajeros, incluidos los taxis, se deben a la antigüedad de las tecnologías de combustión y control de emisiones con que cuentan. Se estima que actualmente la edad promedio de la flota de transporte público de pasajeros en la ZMVM está en 12 años en promedio, lo que los hace altamente contaminantes. La renovación permanente debe formar parte de la regulación del transporte público de pasajeros en la ZMVM, de manera que la edad máxima promedio del parque vehicular activo sea menor a 10 años.

### Descripción

Se continuará promoviendo la renovación del parque vehicular del transporte público de pasajeros de alta, mediana y baja capacidad en la ZMVM, para mantener estos vehículos dentro de la edad promedio establecida por la normatividad en materia de transporte.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Renovación de taxis y microbuses							
Renovación de metrobuses, mexibuses y autobuses							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Reducir las emisiones en por lo menos 60 ton/año de partículas PM<sub>10</sub>, 73,000 ton/año de CO, alrededor de 10,700 ton/año de NO<sub>x</sub>, 9,257 ton/año de COV, 1,297 ton/año de contaminantes tóxicos y alrededor de 168,000 ton/año de CO<sub>2</sub>.

### Costo estimado

15,900 millones de pesos.

**MEDIDA 23: PROMOCIÓN DEL USO DE ENERGÍAS Y COMBUSTIBLES ALTERNOS.**

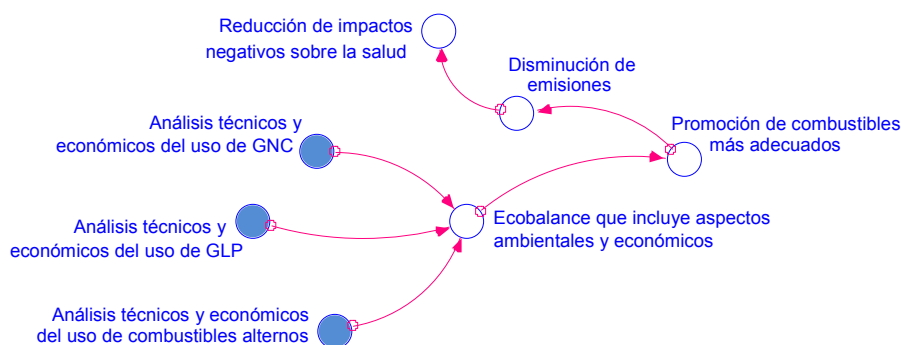
**Acción 23.1. Promover el uso de combustibles menos contaminantes en vehículos de transporte público de pasajeros y de carga.**

**Objetivo**

Reducir las emisiones generadas por los vehículos automotores utilizados en el transporte público de pasajeros y de carga.

**Actores responsables:** SENER, PEMEX, SMAGEM, SMAGDF, SETRAVI, STGEM y SEMARNAT.

**Integración ecosistémica**



**Justificación**

El uso de gas licuado de petróleo y gas natural comprimido en vehículos que cuentan con sistemas electrónicos de control de mezcla y convertidores catalíticos, tienen menores emisiones comparándolos con vehículos tradicionales a gasolina y diesel.

Actualmente los biocombustibles (biodiesel y etanol), se suman a la oferta de combustibles alternos que prometen reducciones en las emisiones vehiculares; además de la oferta ya existente en el mercado nacional de diesel y gasolina UBA que permiten el uso de unidades con tecnologías avanzadas de control de emisiones.

**Descripción**

Realizar un estudio sobre la factibilidad y conveniencia ambiental respecto a la promoción de las distintas opciones energéticas existentes para el uso en toda clase de vehículos.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Elaboración de un estudio técnico y ambiental de factibilidad del uso de combustibles alternos para la ZMVM							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Reducir 26 ton/año de PM<sub>10</sub>, 10 ton/año de PM<sub>2.5</sub>, 39,595 ton/año de CO, 715 ton/año de NOx, 96 ton/año de COV, 24 ton/año de tóxicos y 79,000 ton/año de GEI.

### Costo estimado

8 millones de pesos.

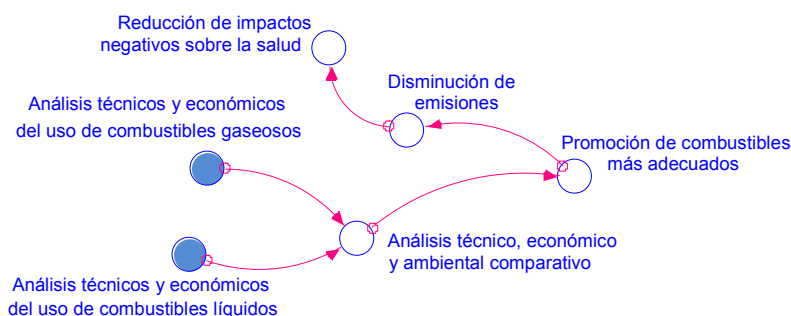
## **Acción 23.2. Promover el uso de combustibles gaseosos en establecimientos industriales y de servicios.**

### Objetivo

Incrementar el uso de combustibles menos contaminantes en los sectores industrial y de servicios.

**Actores responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SEMARNAT, SENER y empresas concesionarias de combustibles.

### Integración ecosistémica



### Justificación

El uso de combustibles menos contaminantes debe corresponder a una política permanente de mejoramiento en la calidad de los mismos. La combustión de gas natural, por ejemplo, tiene la ventaja de disminuir la emisión de partículas, de SO<sub>2</sub> y produce mucho menos CO<sub>2</sub> que otros combustibles que suelen usarse en establecimientos industriales, como el carbón, el diesel y el gasóleo.

### Descripción

Se promoverá el cambio de combustibles líquidos por combustibles gaseosos en los sectores industrial, comercial y de servicios, estableciendo mecanismos que favorezcan la reconversión.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Promoción de la reconversión energética							
Establecimiento de un programa de reconversión energética							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Se reducirán 73 ton/año de partículas PM<sub>10</sub>, 281 ton/año de SO<sub>2</sub>, 204 ton/año de CO, 1,050 ton/año de NO<sub>x</sub>, 21 ton/año de COV.

### Costo estimado

405 millones de pesos.

## MEDIDA 24: MODERNIZACIÓN DE LA FLOTA VEHICULAR DEL SERVICIO DE LIMPIA.

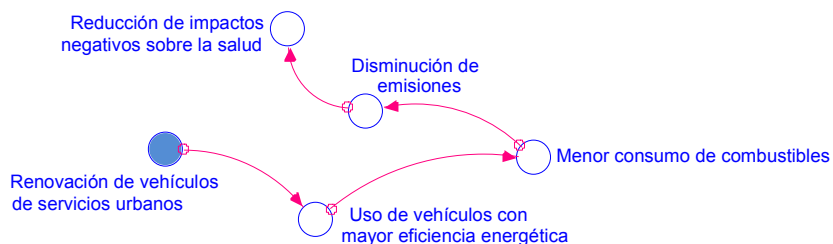
### Acción 24.1. Renovar la flota vehicular del servicio de limpia por vehículos eficientes y con bajas emisiones contaminantes.

#### Objetivo

Contar en la ZMVM con una flota del servicio de limpia más moderna y menos contaminante.

**Actores Responsables:** SMAGEM, SMAGDF y SEMARNAT.

#### Integración ecosistémica



#### Justificación

El servicio de limpia requiere de un importante número de vehículos para brindar el servicio de recolección de residuos sólidos urbanos a la población de la ZMVM, por lo cual es prioritario mantener un programa permanente de renovación de esta flota vehicular.

#### Descripción

Implentar un programa permanente de renovación de la flota vehicular del servicio de limpia de la ZMVM.

#### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Renovación de parque vehicular del servicio de limpia							



Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•		•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Reducir las emisiones de PM<sub>10</sub> en 51 ton/año, 1,000 ton/año de CO, 217 ton/año de NO<sub>x</sub>, 113 ton/año de COV, 43 ton/año de tóxicos y más de 10,193 ton/año de CO<sub>2</sub>.

### Costo estimado

3,700 millones de pesos.

## MEDIDA 25: IMPULSO DE LOS PROGRAMAS DE AUTORREGULACIÓN PARA LAS EMPRESAS CON FLOTAS DE VEHÍCULOS A DIESEL

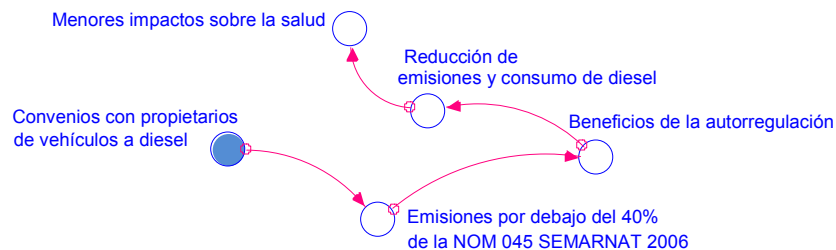
### Acción 25.1. Fortalecer el programa de autorregulación de vehículos a diesel.

#### Objetivo

Reducción de emisiones a través de la operación del programa de autorregulación de vehículos a diesel.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM y empresas.

#### Integración ecosistémica



#### Justificación

De 173 mil unidades a diesel que circulan en la ZMVM, 30 mil unidades están matriculadas en el Valle de México, de las cuales 6 mil participan en un programa de autorregulación que les permite exentar el programa "Hoy No Circula", ya que estos vehículos reciben un cuidadoso mantenimiento para asegurar que sus emisiones se ubiquen por debajo del 40% del límite máximo permisible establecido en la norma correspondiente.

#### Descripción

Promover con propietarios de flotillas y empresas, incentivos que incrementen la participación en el programa de autorregulación.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Evaluación del programa de autorregulación							
Diseño de incentivos							
Implementación del programa							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

**Beneficios esperados**

Reducción de 51 ton/año de partículas PM<sub>10</sub>, 1,138 ton/año de CO, 856 ton/año de NO<sub>x</sub>, 210 ton/año de COV, 29 ton/año de tóxicos y 84,000 ton/año de CO<sub>2</sub>.

**Costo estimado**

240 millones de pesos.

**MEDIDA 26: INCREMENTO DEL USO DE ENERGÍA SOLAR PARA CALENTAMIENTO DE AGUA.**

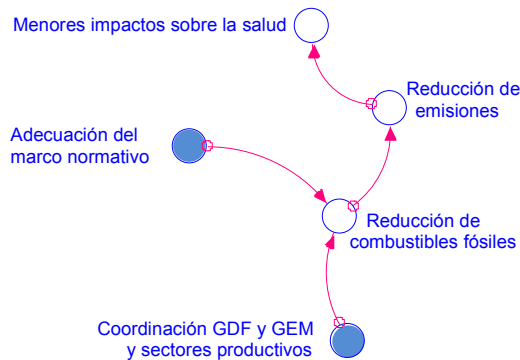
**Acción 26.1. Fomentar el uso de energía solar para el calentamiento de agua en los sectores doméstico, comercial, de servicios e industrial.**

**Objetivo**

Promover el uso de energía solar en el calentamiento de agua para disminuir el consumo de combustibles fósiles.

**Actores Responsables:** SENER, SEDUVI, SDURGEM, SMAGDF, SMAGEM y SEMARNAT.

**Integración ecosistémica**



**Justificación**

En la ZMVM predomina el uso de combustibles fósiles como fuente de energía primaria, sin embargo, también es la principal fuente de generación de contaminantes

atmosféricos. Por ello es importante establecer políticas públicas que fomenten el uso de las energías renovables no contaminantes en la ZMVM.

**Descripción**

Elaborar una norma federal para el aprovechamiento de la energía solar para el calentamiento de agua y promover en los sectores doméstico, industrial, comercial y de servicios, la utilización de sistemas de calentamiento a través de energía solar.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Elaboración de una norma							
Diseño de incentivos							
Aplicación del sistema de incentivos							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

**Beneficios esperados**

Reducción del consumo de energía y de emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes locales.

**Costo estimado**

7 mil pesos por equipo de calentamiento de agua.

**MEDIDA 27: REEMPLAZO DE LÁMPARAS DE ALUMBRADO PÚBLICO POR SISTEMAS AHORRADORES DE ENERGÍA.**

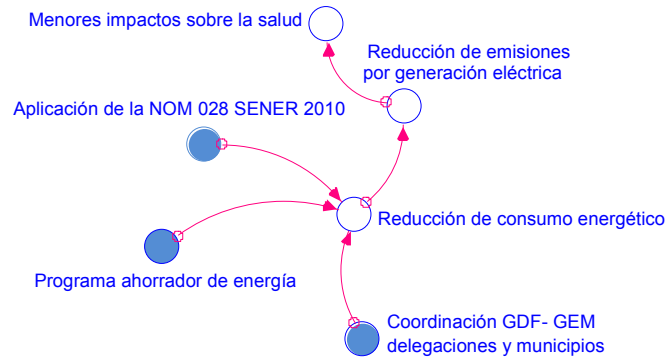
**Acción 27.1. Reemplazar las lámparas de alumbrado público por sistemas ahorradores de energía que incluyan focos y lámparas con nuevas tecnologías y la relocalización de éstas para incrementar su eficacia en términos de cobertura.**

**Objetivo**

Obtener cobeneficios permanentes en materia de ahorro energético y reducción de emisiones contaminantes.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SEMARNAT, SCGEM SOGDF, SEDURGEM, delegaciones y municipios.

## Integración ecosistémica



### Justificación

Actualmente existen tecnologías de iluminación que son más eficientes que las convencionales y, por consiguiente, utilizan menor energía. Algunas de estas tecnologías, además de lograr una mayor eficiencia en la conversión de energía en iluminación, tienen una vida útil significativamente más larga en comparación con las tecnologías convencionales.

De acuerdo al Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, se estima que el consumo energético por iluminación en México representa aproximadamente el 18% del consumo total de energía eléctrica.

El gobierno federal publicó la norma oficial mexicana NOM-028-SENER-2010 que aplica a las lámparas de uso general destinadas para iluminación de los sectores residencial, comercial, servicios, industrial y alumbrado público, así como a todas las lámparas que se comercialicen en el territorio nacional. Por lo que se establece que a partir de 2011 todas las lámparas que se comercialicen en el país deberán cumplir el requisito de ser lámparas ahorradoras de energía.

### Descripción

Se deberá continuar impulsando programas de ahorro de energía en diversas vialidades de la ZMVM.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Programa de cambio de lámparas normales por ahorradoras							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
								•

### Beneficios esperados

Reducción del consumo de energía y en consecuencia reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

### Costo estimado

1,200 millones de pesos.

**MEDIDA 28: PROMOCIÓN DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN EFICIENTE EN EDIFICIOS PÚBLICOS, PRIVADOS Y DESARROLLOS INMOBILIARIOS.**

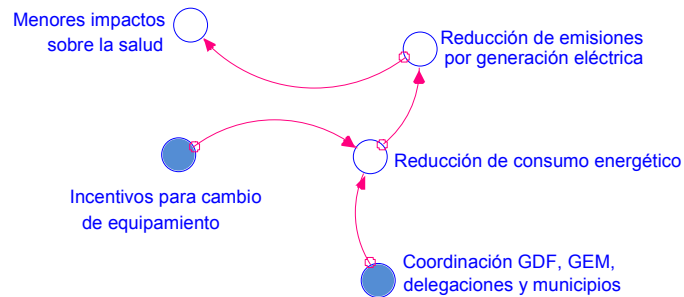
**Acción 28.1. Aplicar programas de sustitución de sistemas de iluminación y de mejora de la eficiencia energética en inmuebles públicos y privados.**

**Objetivo**

Incorporar sistemas eficientes en el ahorro de energía (iluminación, elevadores, aire acondicionado, refrigeración, etc.) en edificios públicos, privados y desarrollos inmobiliarios de la ZMVM para disminuir las emisiones contaminantes.

**Actores Responsables:** SEMARNAT, SMAGDF, SMAGEM, SEDUVI, SEDURGEM y CONUEE.

**Integración ecosistémica**



**Justificación**

La demanda de energía para uso en oficinas gubernamentales y privadas en la ZMVM es significativa, por lo cual reducir el consumo permitiría un ahorro energético y económico en la generación de energía eléctrica.

**Descripción**

Promover la realización de los diagnósticos energéticos, sistemas de control y la renovación del equipamiento en inmuebles públicos y privados.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Promoción de un programa de sustitución con equipamiento eficiente							
Proyectos piloto							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
								•

**Beneficios esperados**

Reducción del consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero.

**Costo estimado**

20 millones de pesos.

## MEDIDA 29: INCLUSIÓN DE CRITERIOS AMBIENTALES Y DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y REMODELACIÓN DE INMUEBLES.

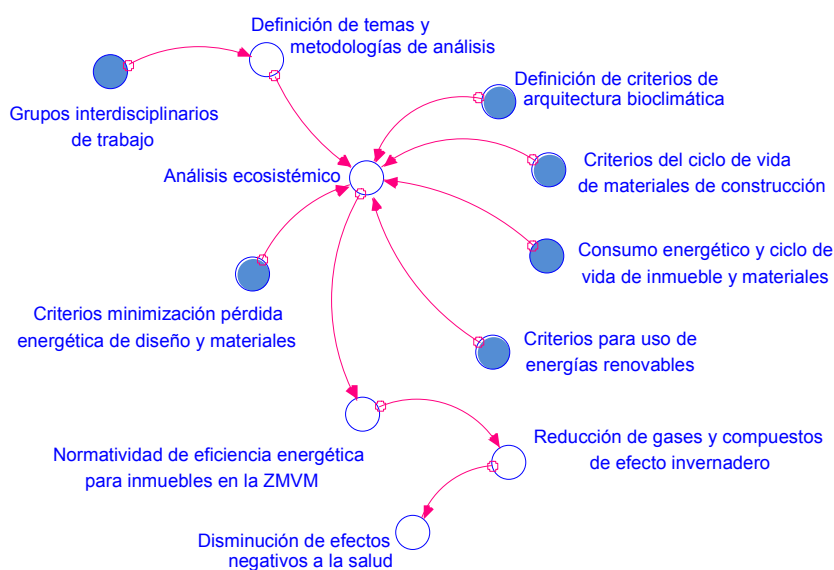
### Acción 29.1. Desarrollar y homologar la normatividad aplicable en la ZMVM, que incorpore criterios ambientales y de eficiencia energética en el diseño, construcción y remodelación de inmuebles.

#### Objetivo

Asegurar que el diseño, la construcción y remodelación de inmuebles incorporen requerimientos mínimos de sustentabilidad ambiental.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SEDUVI, SEDURGEM, CONUEE y CONAVI.

#### Integración ecosistémica



#### Justificación

La inclusión de criterios ambientales y de eficiencia energética en el diseño y construcción de nuevos inmuebles se alinea con la exigencia internacional de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de edificaciones urbanas. Asimismo, la aplicación de dichos criterios en la remodelación de inmuebles existentes es importante para guardar la equidad en la aplicación de este ordenamiento así como para coadyuvar en la difusión de una cultura ambiental aplicable a los procesos constructivos.

#### Descripción

Se diseñarán y propondrán criterios de eficiencia energética a las autoridades competentes para que se incluyan en la autorización de diseño, construcción y remodelación de inmuebles.

Se trabajará bajo cuatro ejes principales:

1. Arquitectura bioclimática, para asegurar que se atienden temas relacionados con ventilación e iluminación naturales;
2. Flujo de energía (envolvente), para asegurar que el diseño, construcción y materiales empleados, minimicen la transferencia (pérdida o ganancia) de energía en forma de calor;
3. Equipamiento y sus implicaciones en el uso de energía, de manera que minimice el consumo de energía durante el ciclo de vida de la edificación (p. ej. iluminación, transporte, electrodomésticos, etc.); y,
4. Fomento creciente del uso de energías renovables, de la naturación de los espacios, y de la reducción de emisiones para mejorar la calidad de aire intramuros y de otras emisiones, como las de la pintura arquitectónica.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Formación de grupos de trabajo interdisciplinarios para diseñar criterios ambientales para inmuebles							
Incorporación de criterios ambientales							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
					•	•	•	•

**Beneficios esperados**

Reducir las emisiones de contaminantes y de gases de efecto invernadero.

**Costo estimado**

3 millones de pesos.

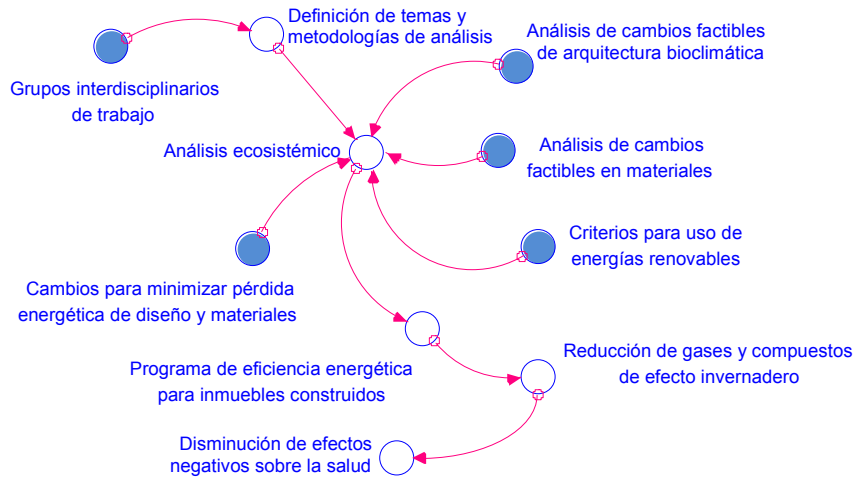
**Acción 29.2. Elaborar un programa de conversión sustentable en inmuebles construidos.**

**Objetivo**

Promover un proceso de conversión de edificaciones existentes orientado a mejorar su desempeño energético y ambiental.

**Actores responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SEDUVI, SEMARNAT, CONUEE y CONAVI.

## Integración ecosistémica



### Justificación

Las edificaciones urbanas contribuyen de manera importante en la generación de emisiones de gases de efecto invernadero y consecuentemente en el proceso de cambio climático. Por ello y considerando el gran número de inmuebles de la ZMVM, además de contar con normatividad que establezca los parámetros de desempeño ambiental y de consumo energético para la construcción de nuevos inmuebles, se requiere incidir sobre los inmuebles ya construidos.

### Descripción

Desarrollar los manuales que orienten la conversión energética y ambiental de inmuebles construidos. Asimismo, se buscarán los mecanismos que apoyen la implementación del programa.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Desarrollo de manuales							
Aplicación de los elementos y criterios técnicos y ambientales							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
								•

### Beneficios esperados

Reducir las emisiones de contaminantes de efecto invernadero.

### Costo estimado

2 millones de pesos.



---

## ESTRATEGIA 4: MOVILIDAD Y REGULACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO DEL PARQUE VEHICULAR

---

### MEDIDA 30: PLANEACIÓN DE LAS REDES DE TRANSPORTE COMO UN SOLO SISTEMA METROPOLITANO.

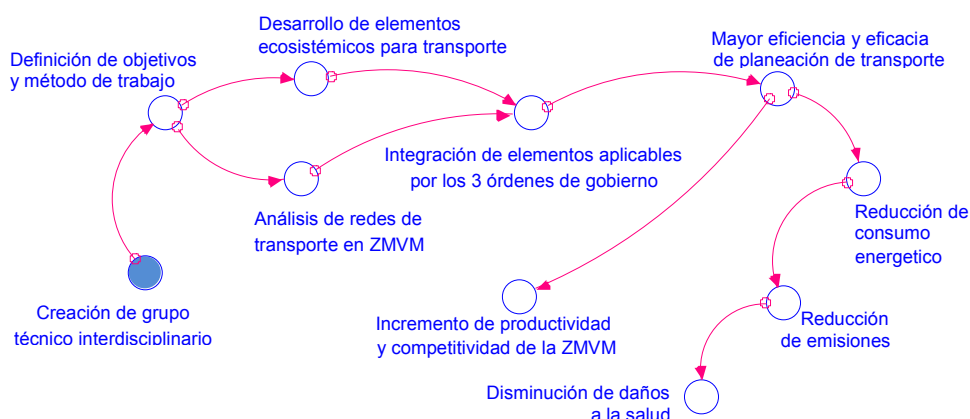
#### Acción 30.1. Promover el desarrollo de una herramienta de planeación metropolitana en materia de transporte.

##### Objetivo

Ofrecer a las autoridades de transporte de los gobiernos locales elementos ecosistémicos que puedan ser considerados en la planeación de los sistemas de transporte metropolitano y que ayuden a mejorar la eficiencia general de éstos.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SEMARNAT, SETRAVI, SCGEM, STGEM y COMETRAVI.

##### Integración ecosistémica



##### Justificación

El funcionamiento de la ZMVM corresponde al de un sistema abierto y complejo que no reconoce, desde el punto de vista de su operación cotidiana, los límites político-administrativos que la cruzan. El desempeño de la ZMVM en materia de movilidad es el resultado de los grados de interdependencia e interconexión de dichos sistemas de transporte, así como de los niveles de eficiencia con el que operan esas relaciones funcionales.

La visión ecosistémica planteada en este PROAIRE reconoce esta cotidianeidad y plantea la necesidad de avanzar en su entendimiento para poder mejorar la movilidad de la ZMVM, así como reducir los enormes costos económicos, ambientales y sociales derivados de su operación actual.

**Descripción**

Realizar trabajos de coordinación con las diferentes autoridades de transporte y vialidad, para promover el diseño de una herramienta de planeación integrada de los sistemas de transporte de la ZMVM, a través de acciones como el incremento de nodos de interconexión y de estaciones intermodales y promoviendo los mecanismos que faciliten la operación de las rutas y modos interconectados.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Diseño de la herramienta de planeación							
Puesta en operación de la herramienta							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

**Beneficios esperados**

Contar con una herramienta de planeación que integre los sistemas de transporte de la ZMVM para mejorar la eficiencia de las redes de transporte y su reducción de emisiones.

**Costo estimado**

7 millones de pesos.

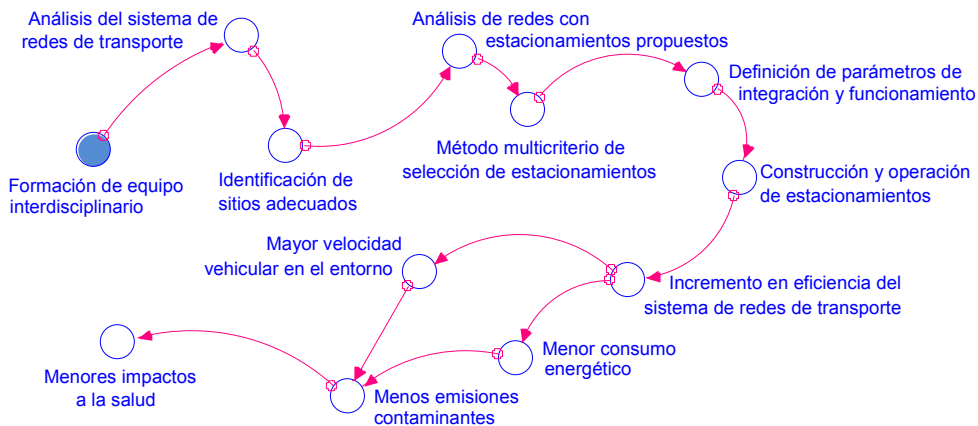
**Acción 30.2. Establecer estacionamientos planeados para mejorar la eficiencia del sistema de transporte metropolitano.**

**Objetivo**

Fomentar la construcción de estacionamientos planeados para facilitar la alimentación de rutas y viajes intermodales dentro de los sistemas de transporte.

**Actores Responsables:** SETRAVI, SCGEM, SOGDF, SEDUVI, SDURGEM, STGEM y SCT.

**Integración ecosistémica**



### Justificación

La falta de estacionamientos adecuados es un factor que contribuye a obstaculizar la circulación vehicular y que evita que se puedan aprovechar adecuadamente las economías de red de los sistemas de transporte público y privado. En lo que se refiere al primer punto, se observa que en las zonas atractoras de viajes en automóvil una parte no despreciable de la densidad vehicular se debe a que los conductores deambulan alrededor de su destino para encontrar un lugar de estacionamiento, además de ocuparse uno o dos de los carriles de circulación. Si bien no se encontraron estudios que hayan medido específicamente este tipo de aforo en la ZMVM, algunas referencias internacionales indican que estos flujos deambulatorios contribuyen con porcentajes que van del 15 al 30 por ciento de la densidad vehicular en ciertas zonas de diversas ciudades (Shoup, 2005). Esto obstaculiza la circulación, reduce la velocidad promedio e incrementa la emisión de contaminantes.

Por otro lado, la eficiencia de la red de transporte público en general y la de algunos sistemas específicos en lo particular, como el Metrobús, Mexibús y el tren suburbano, dependen de factores como las posibilidades de interconexión y los procesos de alimentación de pasajeros que también usan el automóvil.

### Descripción

Realizar trabajos de coordinación con las diferentes autoridades de desarrollo urbano, y de transporte y vialidad de los gobiernos locales para elaborar los estudios correspondientes y promover la construcción de estacionamientos.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Elaboración de un estudio de planeación para promover la construcción de estacionamientos							
Promoción de la construcción de estacionamientos							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•		•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Los estudios aportarán elementos para promover la construcción de estacionamientos públicos y privados, lo cual permitirá mejorar la circulación en zonas fuertemente atractoras de viajes e incrementar la eficiencia general de las redes de transporte al facilitar y mejorar los procesos de interconexión modal.

### Costo estimado

5 millones de pesos.

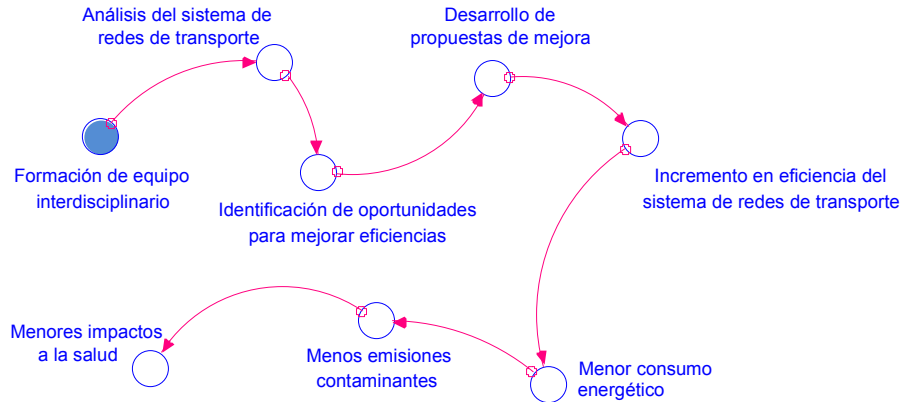
**Acción 30.3. Continuar con el establecimiento de rutas express, locales y metropolitanas de transporte público, así como continuar promoviendo la construcción de los sistemas de transporte público de alta capacidad y eficiencia.**

**Objetivo**

Ofrecer a las autoridades locales, elementos ecosistémicos que contribuyan a fortalecer el sistema metropolitano de transporte.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SCT, SETRAVI, SCGEM y STGEM.

**Integración ecosistémica**



**Justificación**

La interconexión de redes de distinta jerarquía, desde un punto de vista sistémico, incrementa las economías de alcance y facilita la movilidad de las personas en un área como la ZMVM. El uso de sistemas de transporte de alta capacidad y eficiencia, contribuye por su parte con menores emisiones por pasajero/kilómetro.

**Descripción**

Se realizará la coordinación con las autoridades de transporte, para proporcionar los elementos ecosistémicos que permitan fortalecer la planeación y puesta en marcha de rutas de servicio exprés que se interconecten tanto a nivel local como metropolitano, además de continuar promoviendo los sistemas de transporte de alta capacidad y eficiencia.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Estudio de demandas locales y metropolitanas de viaje							
Planeación de nuevos sistemas de transporte y rutas exprés							
Construcción de sistemas de transporte de alta capacidad							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

**Beneficios esperados**

Reducción de 20 ton/año de partículas PM<sub>10</sub>, 16,824 ton/año de CO, 2,038 ton/año de NO<sub>x</sub>, 3,061 ton/año de COV, 461 ton/año de tóxicos y 368,000 ton/año de CO<sub>2</sub>.

**Costo estimado**

23,000 millones de pesos.

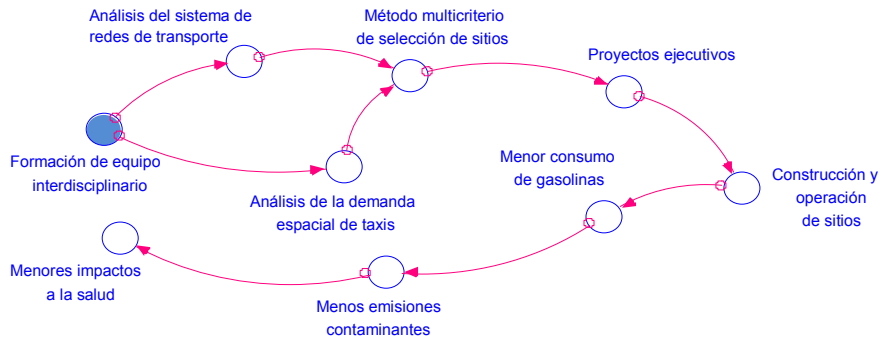
**Acción 30.4. Promover la instalación estratégica de bases para taxis en el Distrito Federal.**

**Objetivo**

Diseñar un sistema de bases de taxis integrado a las redes de transporte para minimizar la circulación sin pasaje y disminuir las emisiones.

**Actores Responsables:** SMAGDF y SETRAVI.

**Integración ecosistémica**



**Justificación**

Para evitar la circulación de taxis sin pasaje y con ello disminuir el consumo de combustible y la generación de emisiones, se establece como medida la colocación estratégica de bases para taxis en lugares de afluencia masiva como hospitales, escuelas, centros comerciales, etc. Adicionalmente esta medida influirá en la seguridad de los usuarios de taxi.

**Descripción**

Se ordenarán las bases y sitios de taxis en el Distrito Federal, autorizando su instalación y definir una red oficial de bases revalidando todas aquellas que cuenten con los requisitos necesarios y que por su ubicación no entorpezcan el tráfico.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Estudio de ubicación de bases de taxis							
Construcción de bases							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
	•		•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Reducción de 41 ton/año de partículas PM<sub>10</sub>, 42,808 ton/año de CO, 4,724 ton/año de NO<sub>x</sub>, 3,231 ton/año de COV, 984 ton/año de tóxicos y 493,000 ton/año de CO<sub>2</sub>.

### Costo estimado

5 millones de pesos.

## MEDIDA 31: REORDENACIÓN DE LAS PARADAS PARA EL TRANSPORTE PÚBLICO DE PASAJEROS.

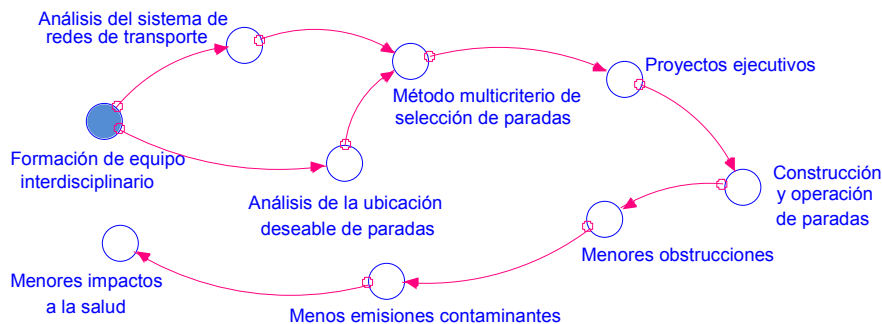
### Acción 31.1. Fortalecer los sistemas de paradas del transporte público.

#### Objetivo

Agilizar la circulación vial, mediante la reubicación y reordenación de paradas exclusivas para el servicio de transporte público.

**Actores Responsables:** SETRAVI, SSP, STGEM y SCGEM.

#### Integración ecosistémica



#### Justificación

En el esquema de operación del transporte público los operadores de las unidades realizan paradas no autorizadas. Los efectos que ocasiona sobre la circulación vehicular van desde la disminución de la velocidad, hasta la generación de congestionamientos.

#### Descripción

Se elaborarán estudios para identificar obstrucciones viales ocasionadas por las paradas no autorizadas, con la finalidad de identificar y establecer las paradas necesarias así como aquellas en donde se pueda considerar establecer bahías que mitiguen la obstrucción de la vialidad.

#### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Elaborar estudio para el reordenamiento de paradas del transporte público de pasajeros							
Establecimiento del programa de reordenamiento de paradas							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Reducir las emisiones generadas por los vehículos del transporte público que hace paradas no autorizadas.

### Costo estimado

10 millones de pesos.

## MEDIDA 32: CREACIÓN DE LA RED DE MONITOREO EN TIEMPO REAL DE LOS FLUJOS VEHICULARES DE LA ZMVM.

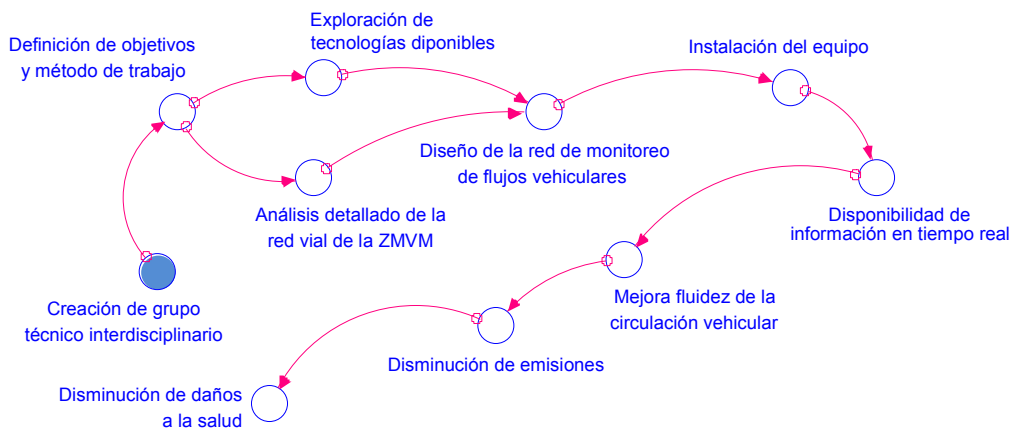
### Acción 32.1. Diseñar, desarrollar y poner en operación una red que monitoree e informe en tiempo real sobre la situación de los principales flujos vehiculares en la ZMVM.

#### Objetivo

Contar con un sistema que permita ofrecer públicamente información en tiempo real sobre el estado de la circulación vehicular en la ZMVM y que pueda ser utilizado como fuente de información para el control y agilización de los flujos vehiculares.

**Actores Responsables:** SSPGDF, SMAGDF, STGEM, ASEGEM y SMAGEM.

#### Integración ecosistémica



#### Justificación

Los costos totales de los congestionamientos vehiculares en la ZMVM no sólo merman la productividad individual y de las instituciones públicas y privadas, o demeritan la competitividad metropolitana, sino que contribuyen a la emisión incremental de contaminantes atmosféricos y al deterioro de la salud de la población. Por ello, una

herramienta que sirva para monitorear, controlar y agilizar los flujos vehiculares, resulta valiosa en términos ambientales y sociales.

**Descripción**

Planeación, diseño e instalación de la red de monitoreo en tiempo real de los flujos vehiculares de la ZMVM. Asimismo, se promoverá el uso de esta herramienta como sistema de control y agilización del tránsito vehicular.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Diseño y adquisición de la red							
Instalación y pruebas del equipo							
Operación de la red							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
	•		•	•	•	•	•	•

**Beneficios esperados**

Contar con información de los flujos vehiculares de las principales vialidades de la ZMVM.

**Costo estimado**

30 millones de pesos.

**MEDIDA 33: REGULACIÓN DE LA CIRCULACIÓN DE VEHÍCULOS DE CARGA EN RUTAS SELECCIONADAS.**

**Acción 33.1. Concertar con el sector transporte de carga un programa que oriente la circulación de estos vehículos.**

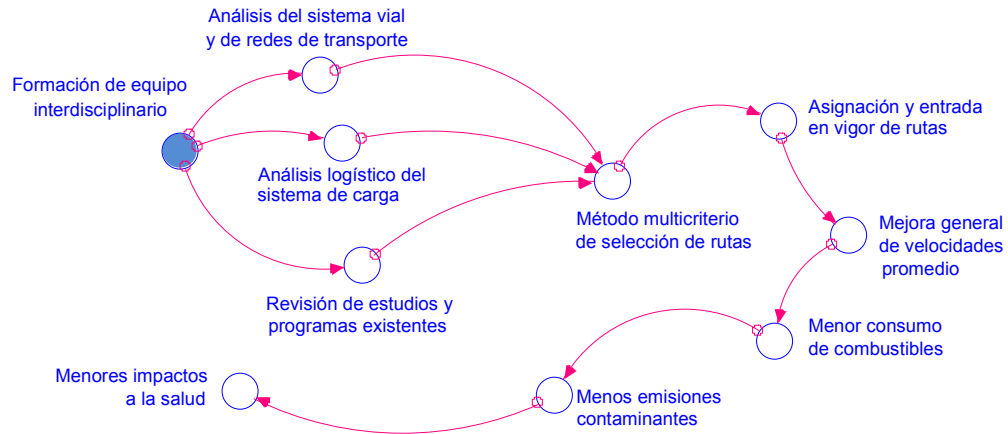
**Objetivo**

Promover el reordenamiento de las rutas y acceso de vehículos de carga con peso bruto vehicular mayor a 8 toneladas en vialidades seleccionadas y en horarios preestablecidos.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SSPGDF, SETRAVI, STGEM, SCGEM, SCT, COMETRAVI y organizaciones de transportistas de carga.



## Integración ecosistémica



### Justificación

Es necesario reordenar la circulación de vehículos de carga en rutas seleccionadas y en los horarios adecuados para aprovechar las vialidades que cuentan con las características técnicas para este tipo de transporte, ya que en muchas ocasiones los vehículos de carga por sus grandes dimensiones utilizan vialidades muy angostas en donde no existe el espacio ni las condiciones de rodamiento suficiente para su circulación.

### Descripción

Se diseñará un programa integral que defina los corredores y los horarios más adecuados para la circulación del transporte de carga en la ZMVM.

Para esto las autoridades podrán tomar como base el estudio que realizó el Instituto de Ingeniería de la UNAM para la Comisión Ambiental Metropolitana y proponer su actualización con base en el planteamiento ecosistémico propuesto en este programa.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Diseño del programa							
Puesta en operación del programa							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Reducción de 748 ton/año de PM<sub>10</sub>, 78,000 ton/año de CO, 4,926 ton/año de NO<sub>x</sub>, 4,547 ton/año de COV, 707 ton/año de tóxicos y alrededor de 639,000 ton/año de CO<sub>2</sub>.

### Costo estimado

10 millones de pesos.

**MEDIDA 34: CONSIDERACIÓN DEL MARCO ECOSISTÉMICO DE LA ZMVM EN LA PLANEACIÓN DE LOS NUEVOS PROYECTOS DE TRANSPORTE PÚBLICO Y VIALIDADES.**

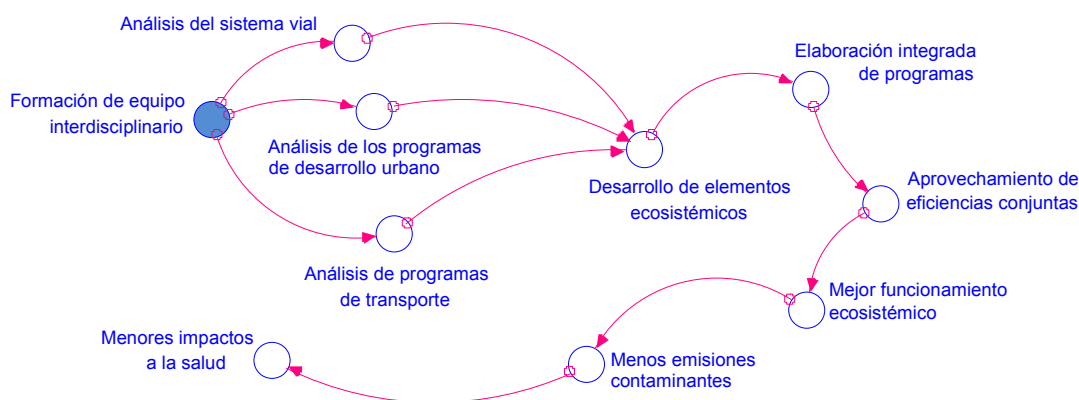
**Acción 34.1. Utilizar el marco ecosistémico para identificar principios, relaciones funcionales y aspectos críticos a tomar en cuenta dentro del proceso de planeación conjunta de nuevos proyectos de transporte y vialidades.**

**Objetivo**

Diseñar un esquema de planeación en el que se incluyan los aspectos relacionados con otros sectores, en calidad de variables endógenas en la concepción de planes, programas y proyectos de transporte público y de vialidades.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SETRAVI, STGEM, SCT y COMETRAVI.

**Integración ecosistémica**



**Justificación**

El marco jurídico institucional vigente en materia de planeación, menciona en algunos casos la consideración de aspectos extrasectoriales en la elaboración de planes, programas y proyectos. Por ejemplo, los estudios de impacto urbano y las manifestaciones de impacto ambiental de proyectos urbanos solicitan información y datos sobre aspectos hidráulicos, viales o de tránsito. Pero lo hacen con una visión *ex post*, para estimar los impactos que sobre estos aspectos tienen proyectos que no suelen ser concebidos desde la óptica de la interdisciplinariedad, la obtención de cobeneficios y el aprovechamiento de eficiencias compartidas.

Desde el punto de vista de la gestión de la calidad de aire, la concepción de los planes, programas y proyectos urbanos, de vialidad y de transporte bajo estos principios, es una manera de incluir los criterios de sustentabilidad ambiental necesarios para reducir la emisión de contaminantes en el largo plazo.

**Descripción**

Se impulsará la integración de grupos interdisciplinarios de técnicos, científicos y especialistas para desarrollar estudios que identifiquen y desarrollen los criterios de sustentabilidad aplicables a este tipo de planes, programas y proyectos.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Instalación de un grupo de especialistas							
Trabajo interdisciplinario							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Contar con un esquema de planeación integral que permita trascender el requerimiento actual de evaluar los impactos *ex post* y de manera no acumulativa, e incorpore las ventajas y efectos de mediano y largo plazos.

### Costo estimado

6 millones de pesos anuales.

**MEDIDA 35: ELABORACIÓN DE UN PROGRAMA DE AGILIZACIÓN PERMANENTE DE LOS FLUJOS VEHICULARES.**

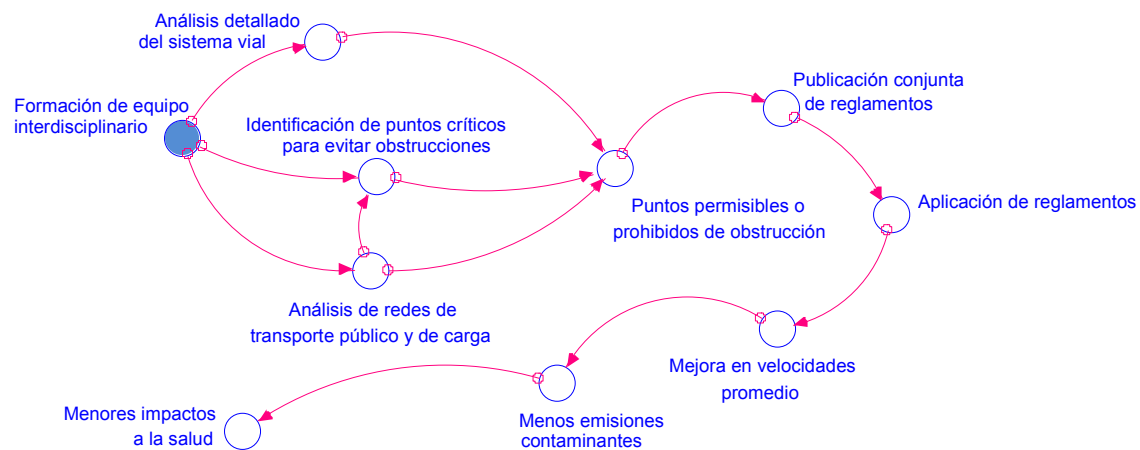
**Acción 35.1. Identificar, catalogar y analizar todo tipo de reductores y obstrucciones del flujo vehicular para proponer medidas y acciones que agilicen permanentemente la circulación de los vehículos en el sistema vial metropolitano.**

### Objetivo

Identificar los reductores y las obstrucciones que afectan el flujo vehicular para resolver, mitigar y modificar aquellas situaciones o conductas que sean identificadas como las causas del empantanamiento de los flujos.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SETRAVI, SSPGDF y STGEM.

## Integración ecosistémica



### Justificación

El congestionamiento vial en un tramo dado y en un lapso específico es causado, en términos generales, por la relación entre dos variables básicas: el área ocupada por el total de vehículos dentro del tramo y el área libre efectiva que puede ser usada para la circulación. La primera de las áreas depende a su vez del número, tamaño y tipo de vehículos circulando, y la segunda de la sección de la vialidad y del área y de la forma en la que los obstáculos y los reductores, planeados o no, legales o no, ocupan o alteran la vialidad. En un segundo nivel de análisis habría que considerar una larga lista de variables que incluyen la geometría de la traza vial, el funcionamiento de los sistemas de semafORIZACIÓN y señalización, los patrones de manejo y el número de intersecciones en el tramo, entre muchas otras.

Entre los reductores se encuentran trazos o adecuaciones geométricas, topes muy altos y postes o mobiliario urbano mal colocados. Entre las obstrucciones están las provocadas por vehículos estacionados en doble fila, maniobras de carga o de ascenso y descenso de personas usando vehículos privados y públicos, puestos ambulantes, paraderos de transporte público, filas a la entrada a estacionamientos mal diseñadas, entre otras.

De acuerdo con estudios de la OMS, los efectos derivados del congestionamiento vehicular sobre la salud física y psicológica, incluyen:

- Nerviosismo, depresión, irritabilidad, cansancio, problemas de sueño y estrés.
- Falta de concentración y baja productividad en el trabajo y la escuela.
- Los congestionamientos mantienen a las personas en la inmovilidad, elevando la presión arterial y disminuyendo la tolerancia a la frustración, lo que propicia mayor agresividad.
- Las personas atrapadas en los congestionamientos y las que circulan o viven por vías de alta densidad de tránsito, están expuestas a niveles de contaminantes que pueden triplicar los niveles promedio observados para la ciudad en su conjunto.
- Pueden identificarse al menos tres aspectos relacionados con la inmovilidad que afectan la calidad de vida de la población: el estrés y el cansancio que ocasionan los viajes largos y cotidianos en condiciones difíciles, la reducción del

tiempo disponible para actividades familiares y de esparcimiento como consecuencia de las horas destinadas a los viajes aludidos, y el deterioro de su poder adquisitivo debido a la proporción de sus ingresos que deben destinar al pago de servicios de transporte.

Los impactos acumulativos que varios tipos de obstrucciones generan sobre los flujos viales llegan a ser graves y altamente costosos si se les mide por el tiempo adicional de operación de los motores, por el tiempo perdido en llegar a los destinos, por el incremento en los costos del transporte de mercancías, lo cual impacta sobre la productividad y la competitividad, y por los efectos sobre la salud.

### Descripción

Elaborar un estudio que permita identificar las principales obstrucciones y reductores que causan congestiones viales para diseñar un programa permanente de agilización de los flujos vehiculares.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Elaboración del estudio de identificación de obstrucciones y reductores							
Diseño del programa							
Identificación y aplicación de medidas							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Reducción de los costos económicos, ambientales y sociales asociados a los congestionamientos de tránsito.

### Costo estimado

5 millones de pesos.

**MEDIDA 36: REVISIÓN DE LA NORMATIVIDAD METROPOLITANA PARA MEJORAR LA CIRCULACIÓN VEHICULAR.**

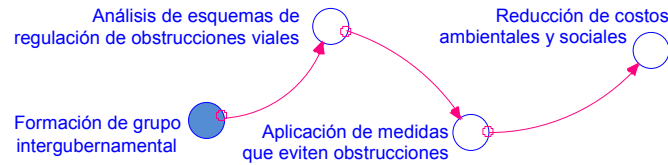
### **Acción 36.1. Ofrecer elementos normativos para minimizar los incrementos en la emisión de contaminantes atmosféricos causados por obstrucciones viales o asociadas a eventos masivos y de alta atracción de viajes.**

#### **Objetivo**

Reducir los impactos ambientales causados por obstrucciones a la circulación vehicular.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SETRAVI, SSPGDF, ASEGEM y STGEM.

## Integración ecosistémica



### Justificación

Las obstrucciones viales que se presentan en la ZMVM como consecuencia de la ocupación de parte de las vialidades por actividades diversas y eventos masivos, ocasionan un mayor consumo de combustible y generación de emisiones de contaminantes, aumentan la pérdida de horas laborables, generan estrés, hipertensión, reducen la productividad laboral y académica provocando pérdida de competitividad de la ZMVM.

### Descripción

Se analizarán varios esquemas regulatorios con base en criterios ambientales y de movilidad, para proponer modificaciones normativas que permitan reducir los costos ambientales y sociales provocados por las obstrucciones viales cuyos impactos pueden reducirse mediante actividades de planeación y mitigación.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Realizar un diagnóstico sobre los impactos asociados a los eventos masivos							
Análisis de los esquemas regulatorios							
Promoción ante las autoridades competentes							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Reducción de los impactos sobre la circulación vial así como los costos económicos, sociales y ambientales causados por obstrucciones viales derivadas de eventos masivos.

### Costo estimado

3 millones de pesos.

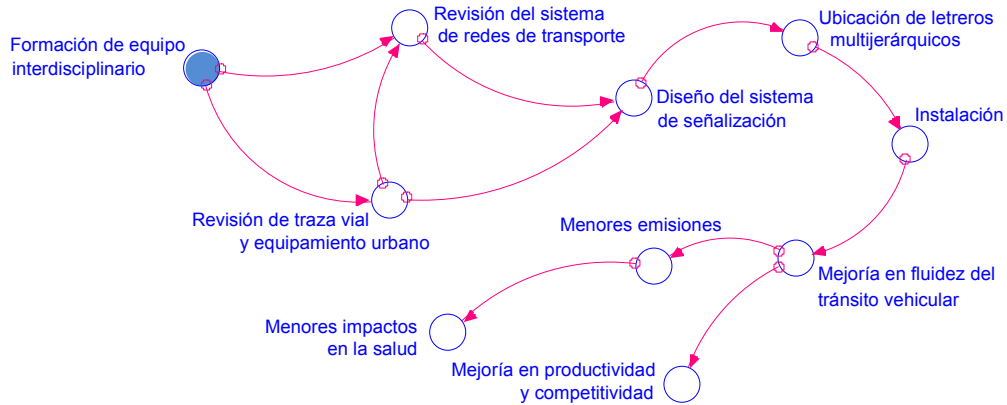
### **Acción 36.2. Promover la elaboración de un sistema metropolitano de señalización.**

#### Objetivo

Agilizar la circulación vehicular mediante la señalización adecuada.

**Actores responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SETRAVI, SSPGDF y SCGEM.

## Integración ecosistémica



### Justificación

La señalización vial puede ser un factor importante en los esfuerzos para mejorar la fluidez de la circulación vial en toda la ZMVM. Cuando los conductores se pueden apoyar en un sistema multinivel de señalización para llegar a sus destinos, ya sea en un viaje corto que requiere por ejemplo de algún retorno o de evitar alguna vuelta prohibida, o para un viaje largo que implica cruzar una parte de la ZMVM, se obtienen varios beneficios ambientales, económicos y sociales. Por un lado, la ruta tomada puede ser más corta y por lo tanto consumir menos tiempo y combustible, y por otro, el ciclo de manejo es menos errático o deambulatorio, porque reduce la frecuencia de paradas para retomar la ruta, lo cual provoca menos efectos de turbulencia y congestionamientos en la traza vial.

### Descripción

Se promoverá con las autoridades de tránsito y vialidad, la elaboración de un sistema de señalización jerárquico o multinivel, que indique adecuadamente destinos próximos y lejanos, que guarde consistencia a lo largo de las rutas. El sistema deberá asimismo informar y dirigir adecuadamente hacia estacionamientos públicos y destinos patrimoniales, históricos, turísticos y culturales. La información de los señalamientos deberá de contener códigos que sean reconocidos por los sistemas GPS.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Elaboración del proyecto							
Instalación de señalamientos							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Reducción de los costos económicos, ambientales y sociales asociados a los congestionamientos de tránsito.

### Costo estimado

25 millones de pesos.

## MEDIDA 37: FOMENTO DEL USO DE TRANSPORTE ESCOLAR.

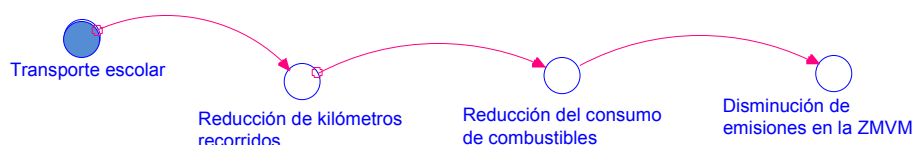
### Acción 37.1. Fomentar la utilización del transporte escolar en la ZMVM.

#### Objetivo

Promover los beneficios del servicio de transporte escolar en toda la ZMVM.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SEDUVI, SSP y STGEM.

#### Integración ecosistémica



#### Justificación

Los beneficios ambientales del servicio de transporte escolar deben crecer más que proporcionalmente que el número de escuelas participantes. Adicionalmente, el uso de un transporte colectivo contribuye a la formación ambiental y social de los educandos. Asimismo, por cada autobús escolar empleado se puede sustituir más de treinta automóviles disminuyendo hasta en un 70-90% el número de kilómetros recorridos.

#### Descripción

Fomentar y mejorar el servicio de transporte escolar con base en los procedimientos y disposiciones establecidos en cada entidad federativa.

#### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Incorporación de nuevas escuelas al programa							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

#### Beneficios esperados

Reducción de 31 ton/año de partículas PM<sub>10</sub>, 8,820 ton/año de CO, 709 ton/año de NO<sub>x</sub>, 733 ton/año de COV, 204 ton/año de tóxicos y 471,000 ton/año de CO<sub>2</sub>.

#### Costo estimado

5 millones de pesos.



**MEDIDA 38: DISEÑO Y APLICACIÓN DE UN PROGRAMA DE TRANSPORTE DE PERSONAL A NIVEL METROPOLITANO.**

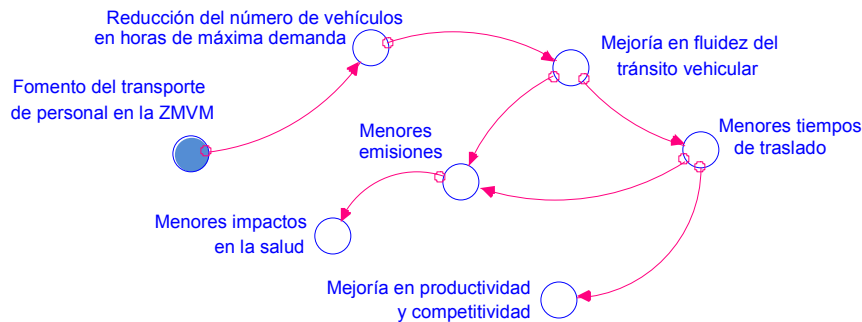
**Acción 38.1. Promover el servicio de transporte de personal en la ZMVM.**

**Objetivo**

Contribuir en la mejoría de los flujos vehiculares y en la reducción de emisiones mediante la sustitución de automóviles privados por vehículos de transporte de mayor capacidad y de última tecnología.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SETRAVI, STGEM, cámaras, asociaciones, sectores productivos y de comercio.

**Integración ecosistémica**



**Justificación**

La pérdida de la productividad asociada a la necesidad de invertir tiempos significativos en el transporte cotidiano, se ha comprobado en estudios y encuestas nacionales e internacionales. Algunos de los efectos relacionados por dichos elementos con los largos trayectos cotidianos son incapacidades por accidentes de trabajo, faltas injustificadas, solicitud de permisos sin goce de sueldo, fatiga en horario laboral, suspensiones, incapacidades por enfermedad o por accidentes de tránsito, ausencias frecuentes y retardos sistemáticos.

Las implicaciones asociadas a los tiempos de transporte restan competitividad a las empresas, incrementando los costos laborales por razones ajenas a la economía o los procesos productivos.

**Descripción**

Se promoverá la aplicación de un programa de transporte de personal en oficinas públicas y privadas ubicadas en la ZMVM.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Elaboración del programa							
Instrumentación de los programas en la ZMVM							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Reducción de los costos económicos, ambientales y sociales asociados a los congestionamientos de tránsito.

### Costo estimado

4 millones de pesos.

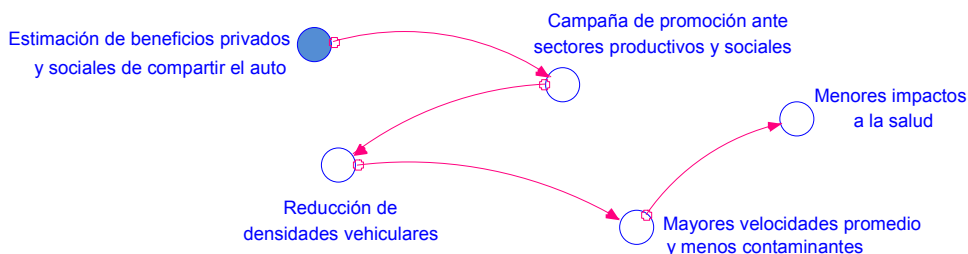
## **Acción 38.2. Promover el uso del automóvil compartido en instituciones públicas y privadas.**

### Objetivo

Contribuir a mejorar los flujos vehiculares y la reducción de emisiones promoviendo el uso compartido de los automóviles particulares.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM, cámaras, asociaciones y sectores productivos y de comercio.

### Integración ecosistémica



### Justificación

Estudios de movilidad realizados por las autoridades encargadas del transporte en la ZMVM y los resultados de la EOD 2007, muestran que de los modos de transporte disponibles en esta zona, el uso del automóvil corresponde al 20% del total con una tasa de ocupación promedio de 1.2 pasajeros/auto. Esto hace que los autos sean los mayores generadores per cápita de emisiones contaminantes y que su contribución en las reducciones de las velocidades promedio de circulación sea muy significativa.

### Descripción

Se promoverá ante los sectores comerciales y productivos el uso compartido de los automóviles, utilizando para ello campañas de concientización y sistemas de información y de comunicación.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Promoción del programa							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Reducción de los costos económicos, ambientales y sociales asociados a los congestionamientos de tránsito.

### Costo estimado

4 millones de pesos.

## MEDIDA 39: PROMOCIÓN DEL USO DE LA BICICLETA COMO MEDIO ALTERNATIVO DE TRANSPORTE NO CONTAMINANTE.

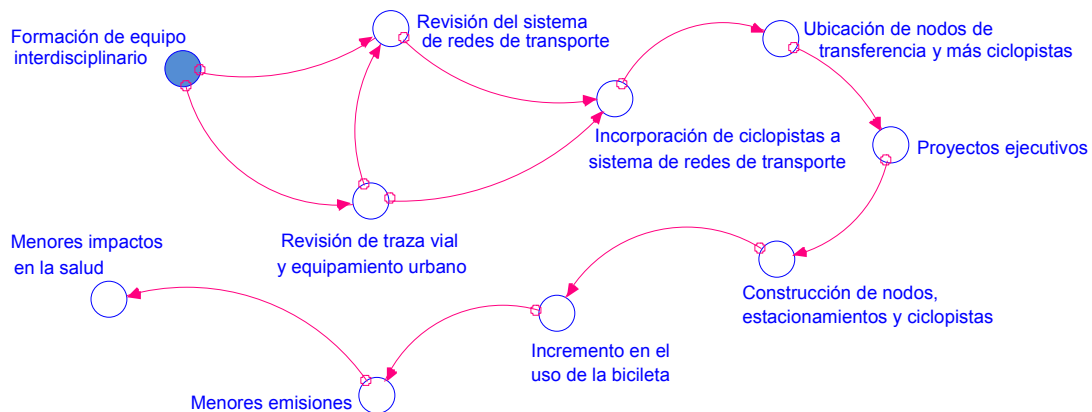
### Acción 39.1. Promover el uso de la bicicleta como un medio de transporte en la ZMVM.

#### Objetivo

Continuar promoviendo e incrementar el uso de la bicicleta como un medio de transporte local no motorizado.

**Actores Responsables:** SMAGDF y SMAGEM.

#### Integración ecosistémica



#### Justificación

La falta de ciclovías es un factor que contribuye a obstaculizar el uso de la bicicleta como medio de transporte. Aunque en el mundo se fabrican más de 100 millones de bicicletas anualmente, tres veces más que el número de automóviles, únicamente en países desarrollados y en países asiáticos son utilizadas como un medio de transporte formal, no recreativo. En algunos de esos países se les da la misma prioridad que a autobuses y automóviles en la planeación y en el desarrollo de la infraestructura vial y de transporte.

La consideración de lo anterior en el caso de la ZMVM, sería una contribución adicional en los esfuerzos para reducir los congestionamientos de tránsito y la contaminación atmosférica. Los costos de la infraestructura necesaria representan una pequeña

fracción de los correspondientes a otros medios y si se le incorpora como parte del sistema de redes de transporte metropolitanas, los usuarios tendrían una opción viable de transporte alternativo local, eficiente, económico, rápido y no contaminante, que coadyuvaría a incrementar la eficiencia global de las redes de transporte.

### Descripción

Diseñar y promover un programa encaminado a fomentar el uso de la bicicleta como un medio de transporte local no contaminante para la ZMVM.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Construcción de ciclovías							
Promoción del uso de la bicicleta							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Se reducirán 12 ton/año de PM<sub>10</sub>, 6 ton/año de PM<sub>2.5</sub>, 7,431 ton/año de CO, 704 ton/año de NO<sub>x</sub>, 1,094 ton/año de COV, 237 ton/año de tóxicos y 132,138 ton/año de gases de efecto invernadero

### Costo estimado

1,500 millones de pesos.

## MEDIDA 40: MODERNIZACIÓN DE LOS PARADEROS DEL TRANSPORTE EN LA ZMVM.

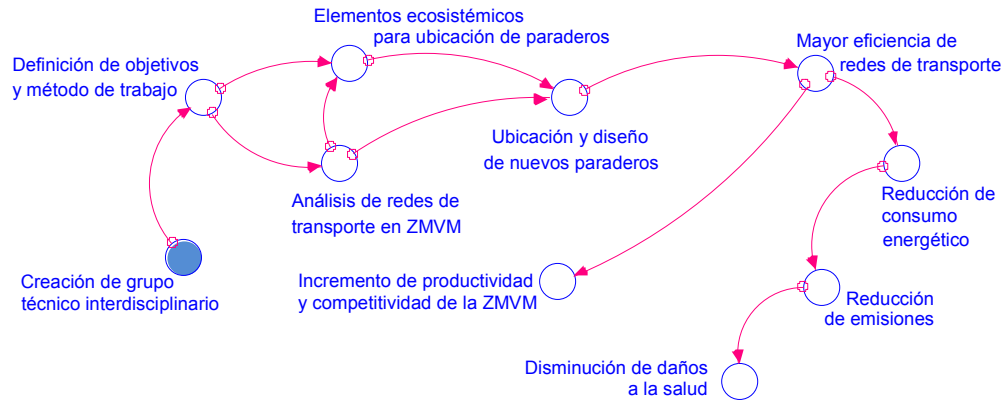
### Acción 40.1. Ofrecer elementos ecosistémicos para incrementar el número de paraderos y modernizar los existentes.

#### Objetivo

Modernizar los paraderos intermodales con criterios de eficiencia urbana, económica y ambiental.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SETRAVI, SOSGDF, SDURGEM, STGEM y COMETRAVI.

## Integración ecosistémica



### Justificación

Los paraderos de transporte se han ido convirtiendo en centros de transferencia modal, lo cual ayuda a mejorar la interconectividad de diferentes redes de transporte. Sin embargo, a la luz del sistema de redes de transporte que se pretende desarrollar en la ZMVM, hay un margen interesante de mejora si se incrementa el número de estos paraderos y si se diseñan en función de las necesidades de la red. La ubicación de los mismos también debe ser valorada, pues en algunos casos la eficiencia general puede mejorar si son reubicados o ampliados.

### Descripción

Se propondrán los criterios ambientales que coadyuven en la ubicación y diseño de paraderos de transporte intermodal.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Proponer criterios ambientales para mejorar los paraderos							
Ubicación, modernización y construcción de los nuevos paraderos							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Incrementar la eficiencia de las redes de transporte de la ZMVM.

### Costo estimado

Por definir.

**MEDIDA 41: SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE A LAS ESTACIONES DE SERVICIO EN HORARIO NOCTURNO.**

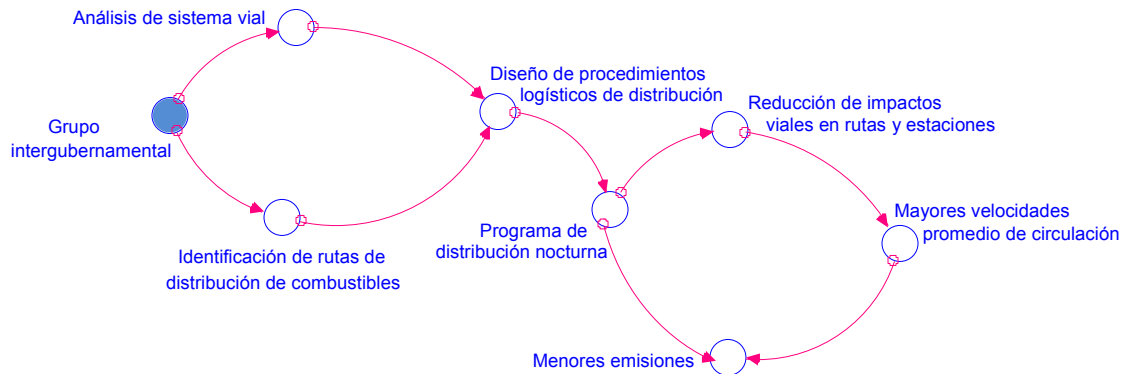
**Acción 41.1. Acordar con PEMEX un programa de suministro nocturno a las estaciones de servicio.**

**Objetivo**

Contribuir a reducir el congestionamiento vehicular, especialmente en el entorno de las estaciones de servicio cuya operación contribuye a la generación de conflictos viales y disminuir las emisiones en el trasvasado de combustibles.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SEMARNAT, PEMEX y estaciones de servicio.

**Integración ecosistémica**



**Justificación**

La distribución de combustible a las estaciones de servicio se hace mediante una flota numerosa de camiones de PEMEX, que contribuye a densificar las vialidades y a crear congestionamientos alrededor de las estaciones mientras realizan sus operaciones de suministro. Se sugiere, para evitar que estas unidades circulen en horas de máxima demanda vial, que distribuyan los combustibles en horarios nocturnos. Con ello ayudarían a reducir el congestionamiento vehicular y a reducir las emisiones contaminantes.

Además, en horario nocturno la temperatura ambiente es menor que durante el día y por lo tanto, de llevarse a cabo la distribución de los combustibles durante la noche implica menores emisiones de COV.

**Descripción**

Se evaluará con PEMEX que la distribución de combustibles en la ZMVM se realice preferentemente en horarios nocturnos.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Gestión de las autoridades de la CAM con PEMEX							
Instrumentación de las acciones							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Contribuir a la reducción de emisiones vehiculares y evaporativas en el trasvasado de combustibles.

### Costo estimado

Gasto corriente.

## MEDIDA 42: REGULACIÓN DE LA CIRCULACIÓN DE VEHÍCULOS CUYO ÚNICO PROPÓSITO SEA EL DE LA PUBLICIDAD MÓVIL.

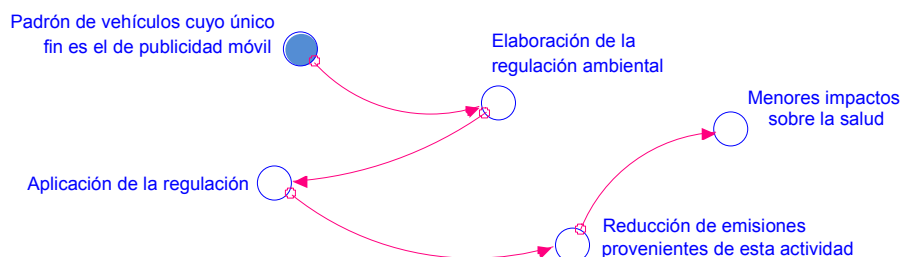
### Acción 42.1. Regular la circulación de vehículos utilizados para fines publicitarios.

#### Objetivo

Regular las emisiones que se generan por los vehículos cuyo propósito único es el de la publicidad móvil.

**Actores Responsables:** SETRAVI, SMAGDF, SMAGEM y STGEM.

#### Integración ecosistémica



#### Justificación

Los vehículos que circulan con el único propósito de mostrar mensajes publicitarios ocupan el espacio vial como un fin, no como un medio para desplazar personas o mercancías de un lugar a otro. Su actividad es lucrativa y reciben un pago por ocupar la vialidad y circular en aquellas zonas y horas que maximizan la exposición o el número de impactos del mensaje comercial. La actividad por la que reciben ingresos incrementa la densidad vehicular y reduce la velocidad de circulación de los otros vehículos, cuyos propietarios deben asumir los costos correspondientes sin recibir una compensación a cambio. El resultado es un mayor consumo energético y más generación de emisiones contaminantes.

### Descripción

Se elaborará un padrón de registro de los vehículos cuyo único propósito sea el mostrar la publicidad móvil y se desarrollará un esquema para la regulación de la circulación de estos vehículos con base en criterios ambientales. Se desarrollará una estrategia para que en esta actividad se utilicen vehículos eléctricos.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Elaboración de un padrón de vehículos de publicidad móvil							
Establecimiento y publicación de un esquema regulatorio aplicable a este tipo de vehículos							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Reducir las emisiones provenientes de los vehículos que circulan con fines únicamente publicitarios, mitigar su impacto vial y las emisiones asociadas a los congestionamientos de tránsito.

### Costo estimado

Gasto corriente.

**MEDIDA 43: DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MOVIMIENTO DE CARGA QUE CONSIDERE LA UBICACIÓN ESPACIAL DE SITIOS DE ALMACENAMIENTO Y CENTROS DE DISTRIBUCIÓN.**

### Acción 43.1. Diseñar un sistema logístico de movimiento de carga en la ZMVM.

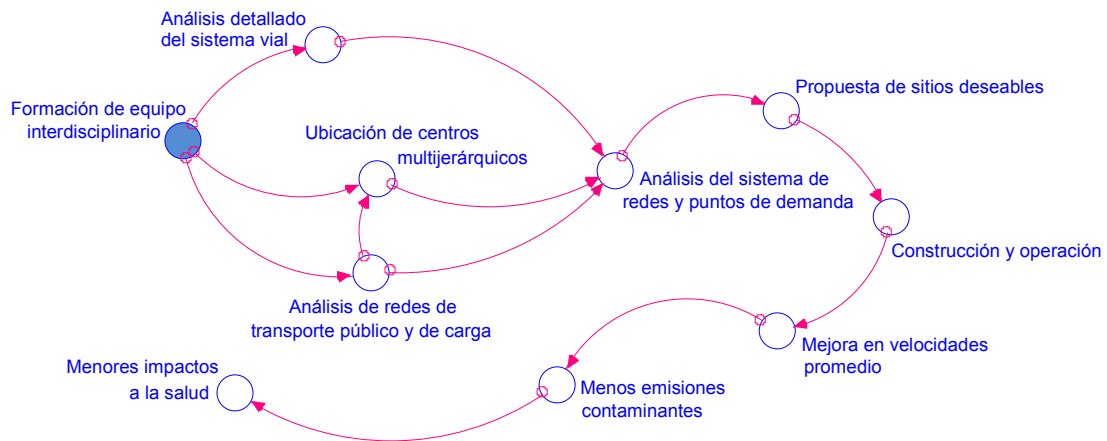
#### Objetivo

Reducir los impactos de la circulación y la generación de emisiones de los vehículos de carga, a través de mejorar la ubicación espacial y los accesos viales de centros de almacenamiento y de distribución en la ZMVM.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SCT, STGEM SETRAVI y organizaciones de transportistas.



## Integración ecosistémica



### Justificación

Con la finalidad de controlar el número y las rutas de los vehículos pesados de transporte de carga que ingresan a la ZMVM, se hace indispensable desarrollar un sistema que contemple la ubicación de sitios de almacenamiento y centros de distribución en puntos estratégicos y que abarquen las principales áreas de acceso a la ZMVM a fin de contar con un sistema logístico que distribuya las rutas de vehículos tomando en cuenta su capacidad de carga por jerarquías.

### Descripción

Promover el desarrollo de un sistema que permita ubicar los sitios para fomentar la construcción de los centros de distribución y sitios de almacenamiento que permitan la consolidación de carga en lugares estratégicos de la ZMVM y que de ahí se distribuya en unidades más pequeñas.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Desarrollo de sistemas logísticos							
Promover los sistemas con las autoridades de desarrollo económico e iniciativa privada							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Mejorar la circulación de los vehículos de carga disminuyendo su impacto vial y ambiental.

### Costo estimado

12 millones de pesos.

**MEDIDA 44: REVISAR LA LICENCIA AMBIENTAL PARA QUE INCLUYA EMISIONES GENERADAS POR TRAYECTOS VEHICULARES ASOCIADOS A LA OPERACIÓN DE ESTABLECIMIENTOS PÚBLICOS Y PRIVADOS.**

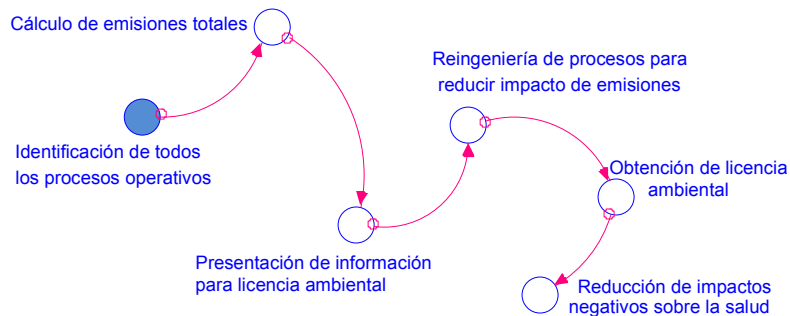
**Acción 44.1. Actualizar el concepto de la licencia ambiental para que incluya el total de las emisiones asociadas a la operación de todo tipo de establecimientos.**

**Objetivo**

Propiciar un cambio en la cultura organizacional de entidades públicas y privadas para que contabilicen todas las emisiones contaminantes generadas por su operación, mismas que incluyen tanto las emitidas por sus procesos intramuros como las emitidas por vehículos en recorridos relacionados con el funcionamiento de la organización.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM y SEMARNAT.

**Integración ecosistémica**



**Justificación**

La información tomada en cuenta para autorizar el funcionamiento de los establecimientos incluye emisiones a la atmósfera de fuentes fijas ubicadas intramuros, descarga de aguas residuales, generación y disposición de residuos no peligrosos, generación de ruido y vibraciones y el registro de emisiones y transferencia de contaminantes. Sin embargo, es necesario considerar los procesos y actividades en los que participan fuentes móviles relacionadas directa o indirectamente con el funcionamiento, servicio u operación de todo tipo de establecimiento público o privado.

**Descripción**

Realizar las modificaciones necesarias de los ordenamientos legales y reglamentarios para modificar el concepto, los alcances y la aplicación de las licencias de funcionamiento en materia de emisiones a la atmósfera, así como elaborar el registro de intensidad de emisiones por unidad de producto.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Actualización correspondiente de la licencia ambiental							
Publicación y aplicación de los nuevos esquemas							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

**Beneficios esperados**

Reducción de los costos económicos, ambientales y sociales asociados a los congestionamientos de tránsito.

**Costo estimado**

2 millones de pesos.

---

## ESTRATEGIA 5: CAMBIO TECNOLÓGICO Y CONTROL DE EMISIONES

---

**MEDIDA 45: ELABORACIÓN DE NORMAS PARA REDUCIR EL CONTENIDO DE SOLVENTES ORGÁNICOS EN PRODUCTOS DE CONSUMO PERSONAL Y DE USO EN SERVICIOS.**

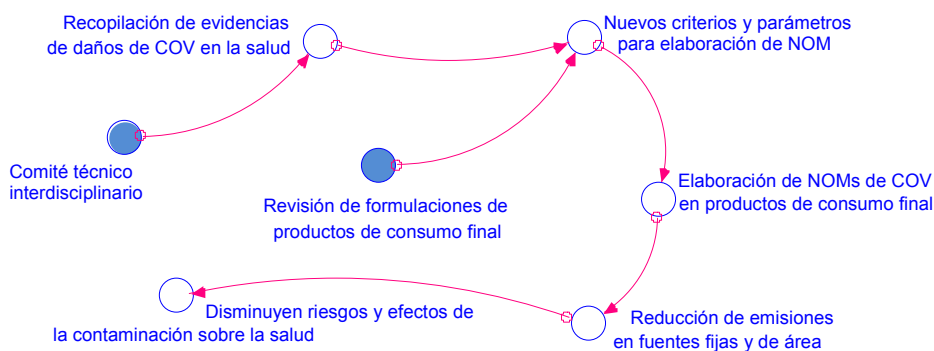
**Acción 45.1. Desarrollar normas para reducir el contenido, toxicidad y la reactividad de los compuestos orgánicos que se utilizan en productos de consumo personal y de limpieza en la industria y los servicios.**

**Objetivo**

Reducir la cantidad y composición de los solventes orgánicos o reemplazarlos por otros de menor reactividad y/o toxicidad.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM y SEMARNAT.

**Integración ecosistémica**



**Justificación**

Es necesario desarrollar la normatividad que regule el contenido, la toxicidad y la reactividad de los solventes empleados en la fabricación e importación de productos de uso doméstico y en servicios. La regulación puede elaborarse de manera que se incentive la sustitución de dichos compuestos por otros menos reactivos y/o tóxicos.

**Descripción**

La SEMARNAT promoverá la elaboración de las normas oficiales mexicanas que establezcan los límites permisibles de contenido de solventes, su toxicidad y su reactividad máximas en los productos de uso doméstico y de servicios.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Integración del grupo de trabajo							
Elaboración de la NOM							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
	•				•	•	•	•

**Beneficios esperados**

Reducir las emisiones de compuestos orgánicos volátiles para reducir la reactividad y la toxicidad de las emisiones, mejorar la calidad del aire y proteger la salud de la población.

**Costo estimado**

1 millón de pesos.

**MEDIDA 46: ELABORACIÓN DE NORMAS PARA EL CONTROL DE EMISIONES DE MERCURIO, DIOXINAS Y FURANOS.**

**Acción 46.1. Desarrollar la normatividad necesaria para limitar las emisiones de mercurio, dioxinas y furanos.**

**Objetivo**

Reducir las emisiones de mercurio, dioxinas y furanos.

**Actores Responsables:** SEMARNAT, SMAGDF, SMAGEM, SSA y COFEPRIS.

**Integración ecosistémica**



### Justificación

El mercurio, las dioxinas y los furanos son emitidos y descargados a la atmósfera por diversos procesos como la combustión generada por la quema de combustibles fósiles, la incineración de residuos sólidos, los lodos provenientes de las plantas de tratamiento y la quema de residuos domésticos, entre otros. Estudios de monitoreo recientes en la ZMVM, indican la presencia de estos compuestos en concentraciones que pueden afectar la salud de la población.

### Descripción

La SEMARNAT integrará y coordinará el grupo técnico para elaborar una NOM para el control de emisiones de mercurio, dioxinas y furanos, con el concurso de los gobiernos locales, universidades, centros de investigación, organizaciones no gubernamentales y representantes industriales.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Integración del grupo técnico							
Elaboración de la norma							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
							•	

### Beneficios esperados

Contar con la normatividad para el control y la reducción de emisiones de mercurio, dioxinas y furanos.

### Costo estimado

1 millón de pesos.

**MEDIDA 47: ESTABLECIMIENTO DE METAS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES PARA LA INDUSTRIA Y LOS SERVICIOS.**

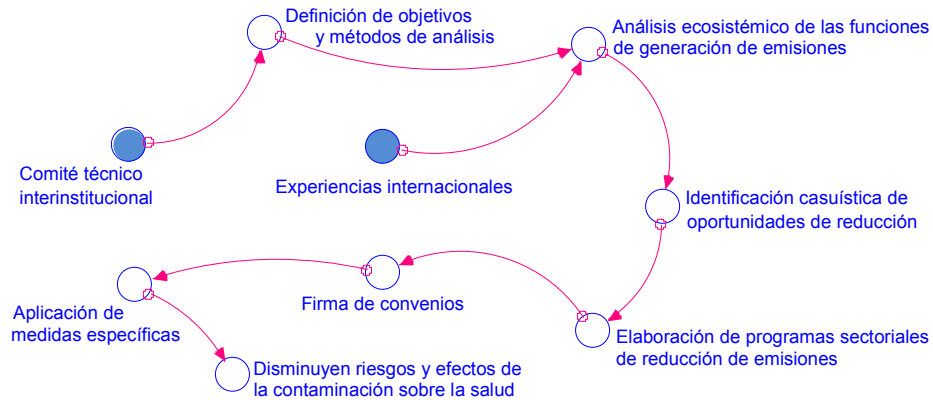
### Acción 47.1. Establecer instrumentos de reducción adicional de emisiones con la iniciativa privada.

#### Objetivo

Obtener reducciones adicionales de emisiones provenientes de los sectores industrial y de servicios, a través del establecimiento conjunto de acciones y metas.

**Actores responsables:** SMAGDF, SMAGEM, PROPAEM, PAOT, SEMARNAT, PROFEPA, sector industrial y sector de servicios.

## Integración ecosistémica



### Justificación

Las emisiones contaminantes asociadas a la operación ordinaria de un establecimiento industrial o de servicios proviene de dos tipos de fuentes: las fijas y las móviles. Las que provienen de fuentes fijas o intramuros dependen de factores como la cantidad y calidad de los combustibles utilizados y las tecnologías de las actividades realizadas, de los procesos y de los sistemas de control. Las emisiones provenientes de las fuentes móviles dependen entre otros factores, del total de kilómetros recorridos por los vehículos que contribuyen a la operación normal del establecimiento. En dichos vehículos se incluyen aquellos que mueven los insumos y los productos, así como a los que transportan empleados, trabajadores y a clientes que visitan las instalaciones del establecimiento.

### Descripción

Con las cámaras, asociaciones y demás instancias representantes de la industria y los servicios se realizará un análisis ecosistémico de sus funciones de generación de contaminantes atmosféricos, lo cual servirá de base para elaborar un programa de reducción de emisiones y establecer los mecanismos para su implementación. En caso de cumplimiento con la reducción de emisiones establecida, la autoridad correspondiente en el ámbito de su jurisdicción podrá otorgar reconocimientos o incentivos a la industria limpia.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Análisis ecosistémico y diseño del programa integral de metas de reducción de emisiones							
Establecimiento del programa							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
●	●	●	●	●	●	●	●	●

### Beneficios esperados

Con la inclusión de tecnologías y la mejora en las prácticas productivas se estima que 301 industrias pueden reducir 72,068 ton/año de COV; para el caso de partículas 14 industrias pueden reducir 1,608 ton/año de PM<sub>10</sub>.

### Costo estimado

682 millones de pesos.

## MEDIDA 48: FORTALECIMIENTO DE LA SUPERVISIÓN Y LA VIGILANCIA PARA QUE SE CUMPLAN LAS NORMAS FEDERALES Y LOCALES EN MATERIA AMBIENTAL.

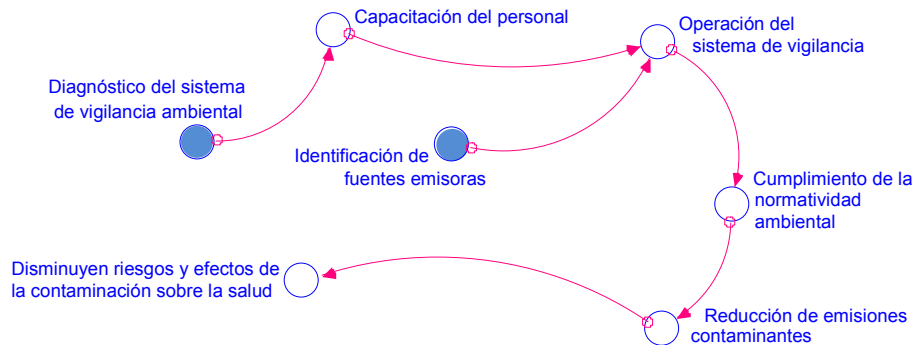
### Acción 48.1. Fortalecer los programas de vigilancia e inspección ambiental.

#### Objetivo

Fortalecer las capacidades técnicas del personal y el equipamiento de la actividad de inspección y vigilancia para el cumplimiento en la legislación ambiental correspondiente.

**Actores responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SEMARNAT, PROFEPA, PROPAEM y PAOT.

#### Integración ecosistémica



#### Justificación

El crecimiento de las actividades económicas en la ZMVM, requiere fortalecer las capacidades técnicas y de equipamiento para la vigilancia en la regulación de emisiones contaminantes a la atmósfera.

#### Descripción

Diseñar programas de capacitación en las áreas de inspección que permitan elevar la eficacia de los procedimientos de inspección y vigilancia ambiental en todos los sectores generadores de emisiones ubicados en la ZMVM. Asimismo, dotar de instrumentos tecnológicos de medición para el cumplimiento de sus funciones.



### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Diseño de programas de capacitación							
Fortalecimiento de las capacidades técnicas de las áreas de inspección							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Incrementar las capacidades técnicas de inspección para controlar y reducir las emisiones de fuentes industriales.

### Costo estimado

25 millones de pesos.

**MEDIDA 49: AMPLIACIÓN DE LOS ALCANCES DE LOS PROGRAMAS DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA.**

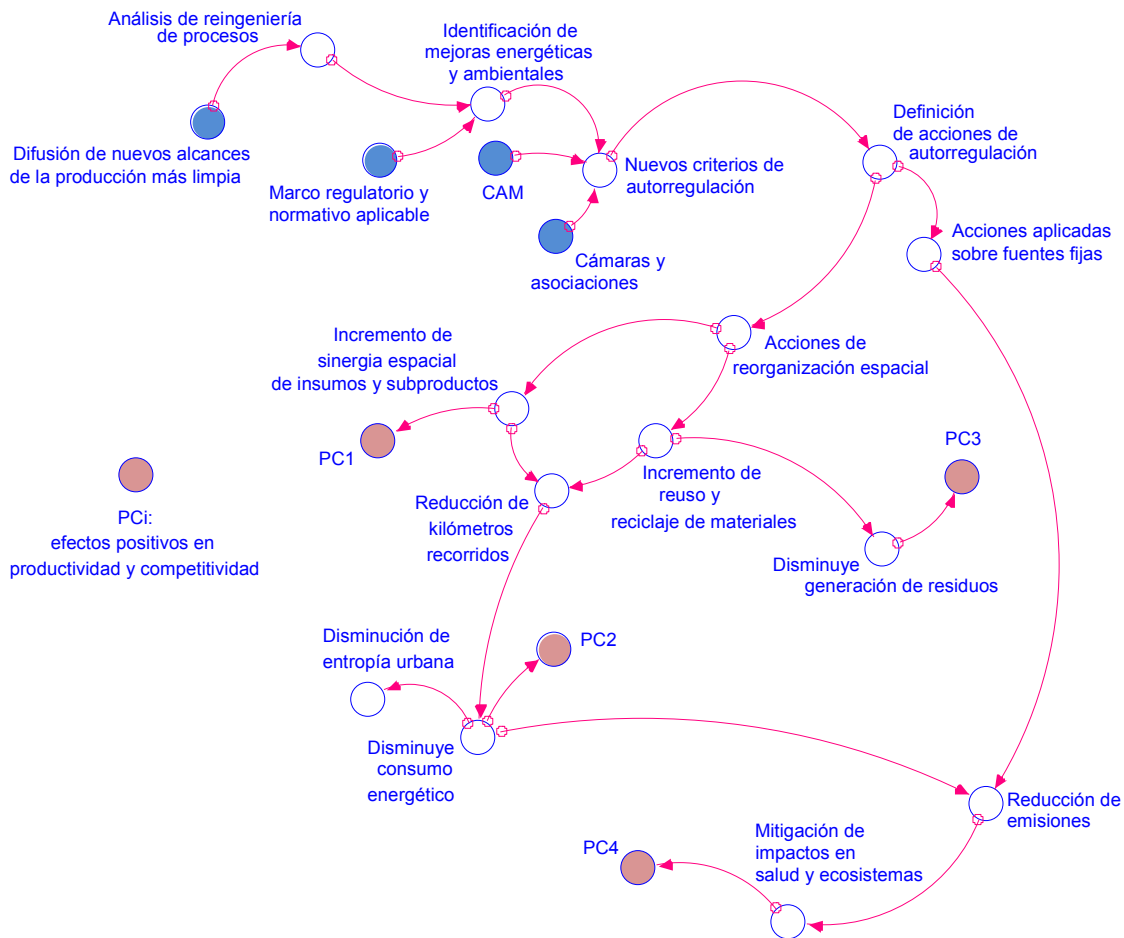
### **Acción 49.1. Rediseñar los programas de autorregulación y de auditoría ambiental en la industria.**

#### Objetivo

Fortalecer los programas de autorregulación y de auditoría ambiental de los establecimientos industriales incorporando en estas tareas variables de ahorro de energía, reorganización espacial de actividades y procesos, reducción de trayectos, entre otros.

**Actores responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SEMARNAT, PROFEPA, CMP+L, cámaras y asociaciones involucradas.

## Integración ecosistémica



### Justificación

Las emisiones asociadas a la operación ordinaria de un establecimiento industrial tienen dos componentes, uno fijo y otro espacial. El primero se refiere a las emisiones generadas por fuentes intramuros, las cuales dependen de factores como la cantidad y calidad de los combustibles utilizados y de las tecnologías utilizadas tanto en los procesos de producción como en los de control de emisiones. En lo que toca al componente espacial, éste se determina por las emisiones provenientes de todas las fuentes móviles asociadas al funcionamiento ordinario del establecimiento.

Dos acciones son importantes de realizar en las industrias: la primera es la auditoría ambiental, procedimiento con el cual el establecimiento conocerá cuáles son sus emisiones totales emitidas; la segunda es la de iniciar un proceso de autorregulación, por medio del cual se pueden iniciar programas voluntarios de reducción de emisiones, mismos que pueden ser reconocidos por las autoridades ambientales.

### Descripción

Se promoverán los programas de auditoría ambiental y autorregulación en el sector industrial para disminuir las emisiones totales de los establecimientos.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Establecer nuevos alcances de la auditoría y autorregulación							
Aplicación de nuevas actividades de auditoría y autorregulación							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
●	●	●	●	●	●	●	●	●

### Beneficios esperados

Contribuir a la reducción de emisiones a través de mecanismos voluntarios con la industria.

### Costo estimado

Gasto corriente.

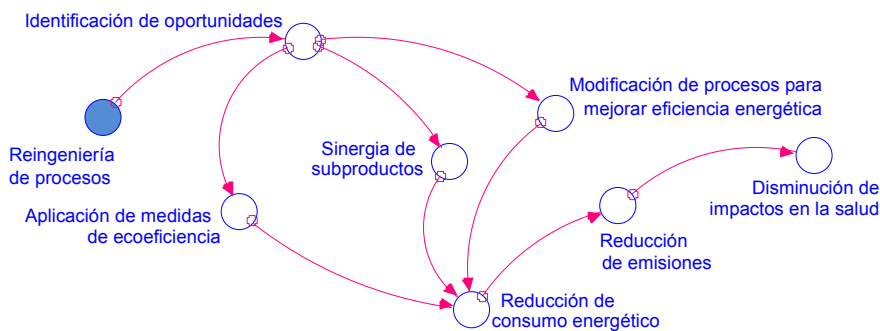
### Acción 49.2 Promover programas de producción más limpia.

#### Objetivo

Promover programas de ecoeficiencia y de eficiencia energética en la industria, como una herramienta para propiciar la reducción del consumo energético, la disminución de emisiones y el incremento de la productividad.

**Actores responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SEMARNAT, PROFEPA, cámaras y asociaciones involucradas, CMP+L.

#### Integración ecosistémica



#### Justificación

La pequeña y mediana industria contribuye significativamente a las emisiones del sector industrial de la ZMVM, en particular a las emisiones de PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub> y COV.

Estos contaminantes son generados en los procesos de combustión y como emisiones fugitivas, provocando con ello, además de emisiones a la atmósfera, pérdidas económicas que en algunos casos resultan significativas.

Existe una serie de herramientas que contribuyen significativamente a la reducción y control de la contaminación atmosférica de la ZMVM, atendiendo el aspecto preventivo, como son los sistemas de administración ambiental, la evaluación del ciclo de vida de productos y procesos, el ecodiseño, el etiquetado ambiental y la contabilidad total de costos.

### Descripción

Promover acciones para el uso eficiente de materias primas y buenas prácticas de gestión empresarial incluyendo la componente ambiental en la pequeña y mediana industria.

Además, se promoverá el uso de programas de inspección y mantenimiento internos, en almacenamiento, transporte y transformación de materias primas, productos y subproductos con el fin de minimizar las pérdidas por emisiones fugitivas y evaporativas a la atmósfera.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Promoción de programas de producción más limpia							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Contribuir a la reducción de emisiones industriales.

### Costo estimado

50 millones de pesos.

**MEDIDA 50: REVISIÓN Y VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE SISTEMAS DE RECUPERACIÓN DE VAPORES INSTALADOS EN LAS ESTACIONES DE SERVICIO.**

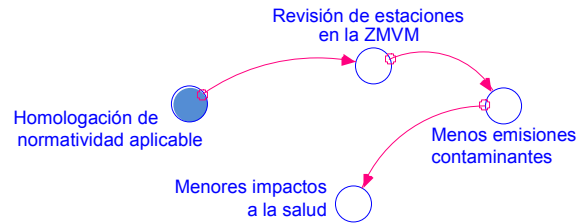
### Acción 50.1. Verificar los sistemas de recuperación de vapores en todas las estaciones de servicio de la ZMVM.

#### Objetivo

Verificar la instalación y operación de los sistemas de recuperación de vapores en las estaciones de servicio.

**Actores Responsables** SMAGDF, SMAGEM, PROPAEM y PAOT.

## Integración ecosistémica



### Justificación

El sistema de recuperación de vapores instalado en las estaciones de servicio ubicadas en la ZMVM, ha permitido reducir en más del 90% las emisiones generadas por las operaciones de suministro de combustible. Sin embargo es necesario verificar la correcta operación de estos sistemas.

De igual forma para que esta actividad se realice, se debe contar con empresas acreditadas que suministren e instalen sistemas de recuperación de vapores en las estaciones de servicio.

### Descripción

Elaborar un estudio de diagnóstico de la recuperación de vapores del ciclo completo del sistema de abastecimiento, almacenamiento y distribución de combustibles en la ZMVM.

Verificar en forma permanente el cumplimiento normativo de los sistemas de recuperación de vapores.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Elaboración de diagnóstico							
Fortalecimiento del Programa de Recuperación de Vapores							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
	•				•	•	•	•

### Beneficios esperados

Contribuir a la reducción de emisiones evaporativas y tóxicas generadas dentro de los sistemas de llenado de las estaciones de servicio.

### Costo estimado

9 millones de pesos.

**MEDIDA 51: ESTABLECIMIENTO DE LÍMITES DE EMISIÓN DE GASES Y PARTÍCULAS PARA CALENTADORES DE AGUA, PEQUEÑAS CALDERAS Y CALENTADORES DE PROCESO.**

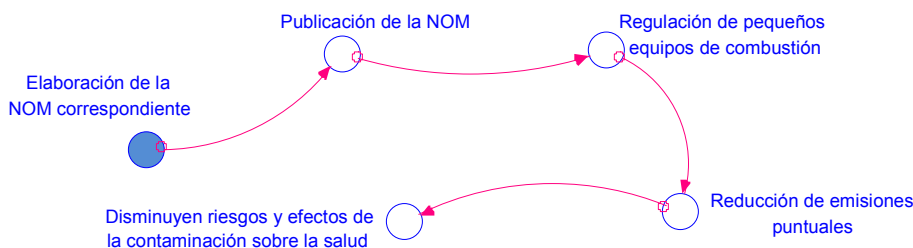
**Acción 51.1. Desarrollar la normatividad para fijar los límites de emisiones en calentadores y calderas.**

**Objetivo**

Normar los límites de emisiones de gases y partículas de calentadores de agua, de proceso y de pequeñas calderas.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM y SEMARNAT.

**Integración ecosistémica**



**Justificación**

Actualmente se encuentra en vigor la NOM-085-SEMARNAT-1994, que establece los niveles máximos permisibles de emisión de humo, partículas, CO, SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> de los equipos de combustión de calentamiento indirecto que utilizan combustibles convencionales o sus mezclas, aunque esta norma sólo contiene límites máximos permisibles de emisión de contaminantes a la atmósfera para equipos de combustión de calentamiento indirecto mayores a 15 caballos caldera.

Sin embargo, las pequeñas industrias, así como los establecimientos de servicios, cuentan en sus instalaciones para realizar sus procesos con calderas y calentadores menores a 15 HP, que no están reguladas a pesar de ser fuentes de generación de contaminantes atmosféricos.

**Descripción**

Se establecerán a través de la norma correspondiente los límites máximos permisibles de emisión de los contaminantes para los pequeños equipos de combustión.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Elaboración de la norma							
Aplicación de la norma							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
●	●	●	●	●	●	●	●	●

### Beneficios esperados

Contar con un instrumento normativo para regular y reducir las emisiones de pequeñas calderas y calentadores que son usados en el sector de servicios y comercios.

### Costo estimado

2 millones de pesos.

## MEDIDA 52: APLICACIÓN DE PROGRAMAS DE REDUCCIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN ESTABLECIMIENTOS INDUSTRIALES Y DE SERVICIOS.

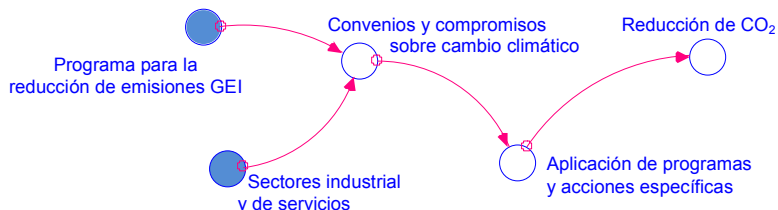
### Acción 52.1. Desarrollar programas para contribuir en la reducción de gases de efecto invernadero.

#### Objetivo

Generalizar la aplicación de programas de mitigación de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero en los establecimientos industriales y de servicios de la ZMVM.

**Actores responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SEMARNAT e industriales.

#### Integración ecosistémica



#### Justificación

Estudios recientes sobre el clima han señalado que la ZMVM es altamente vulnerable a condiciones extremas, trátase de mayores temperaturas, lluvias intensas o sequías, al mismo tiempo que es un contribuyente importante de gases y compuestos de efecto invernadero. Esta dualidad le da a la relación que liga a la ZMVM con el cambio climático un compromiso que exige la adopción de medidas de mitigación, de largo plazo, con los sectores contaminantes.

#### Descripción

Promover con los sectores industriales y de servicios, la adopción de medidas y acciones específicas de reducción de gases y compuestos de efecto invernadero en establecimientos de la ZMVM.

#### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Promoción de acciones para reducir la emisión de gases de efecto invernadero							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
	•		•	•	•	•		•

### Beneficios esperados

Se estima una reducción de 29 ton/año de PM<sub>2.5</sub>, 76 ton/año de CO, 577 ton/año de NO<sub>x</sub>, 17 ton/año de COV y 977,995 ton/año de CO<sub>2</sub>.

### Costo estimado

199 millones de pesos.

## MEDIDA 53: REDUCCIÓN DE EMISIONES INDUSTRIALES EN EL CORREDOR TULA-VITO-APAXCO.

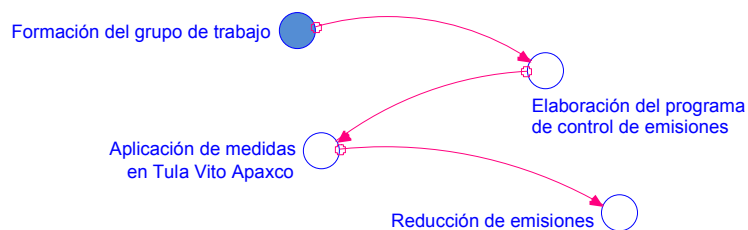
### Acción 53.1. Cambiar a combustibles más limpios e instalar sistemas de control de emisiones en centrales termoeléctricas, refinerías e industrias mayores.

#### Objetivo

Reducir las emisiones del corredor industrial Tula-Vito-Apaxco.

**Actores Responsables:** SENER, CFE, PEMEX, SMAGDF, SMAGEM, SEMARNAT e Industrias.

#### Integración ecosistémica



#### Justificación

En el corredor industrial Tula-Vito-Apaxco se desarrollan de manera intensiva actividades extractivas, industriales, agrícolas y de transporte, entre otras, que lo convierten en una zona de elevadas emisiones atmosféricas, que potencialmente afecta la calidad del aire en la ZMVM. Se ha estimado que en esta zona se emiten más de 300 mil toneladas de contaminantes anuales, los cuales tienen efectos negativos sobre la salud de los habitantes de la región.

Estudios realizados en años recientes por el Centro Mario Molina, por el IMP, así como por la campaña MILAGRO han mostrado que las emisiones generadas en esta zona, bajo ciertas condiciones meteorológicas son transportadas hacia la ZMVM. Por ejemplo, de los eventos de alta concentración de SO<sub>2</sub> que registra la red de monitoreo, 18% de ellos tiene su origen en esta región.



### Descripción

Las autoridades federales deberán establecer un programa de reducción de emisiones en esa región, el cual formará parte de un programa de calidad del aire para la región de Tula-Vito-Apaxco que elaborará la SEMARNAT.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Diseño del programa de reducción de emisiones							
Implementación de acciones							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Reducir las emisiones en el corredor Vito-Tula-Apaxco, para con ello contribuir a mejorar la calidad del aire de la región y mitigar los eventos de transporte de contaminantes hacia la ZMVM.

### Costo estimado

3 millones de pesos.

**MEDIDA 54: ACTUALIZACIÓN DE LAS NORMAS DE EMISIÓN DE PARTÍCULAS EN LA INDUSTRIA Y DESARROLLAR LAS CORRESPONDIENTES PARA EL CONTROL DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES.**

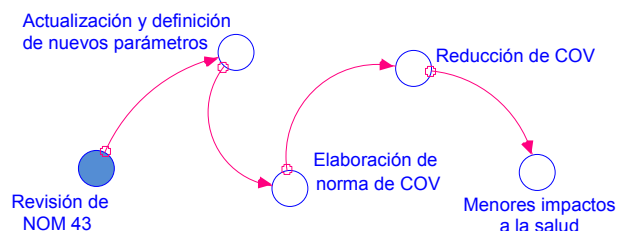
### Acción 54.1. Desarrollar la normatividad para limitar las emisiones de partículas y COV en la industria.

#### Objetivo

Fortalecer el marco regulatorio para el control de las emisiones de partículas y COV generadas por la industria a través de la elaboración y actualización de normas de emisiones en sus procesos de combustión y producción.

**Actores responsables:** SEMARNAT, SMAGDF y SMAGEM.

#### Integración ecosistémica



### Justificación

La norma NOM-043-SEMARNAT-1993 regula la emisión de partículas totales en el sector industrial considerando las concentraciones de los contaminantes y no la masa de éstos a la emisión, asimismo no toma en cuenta su tamaño y su composición.

Lo anterior ocasiona que en la práctica los límites de emisión son insuficientes, por lo que es necesario fortalecerla estableciendo límites más estrictos de emisión. Es importante además especificar límites de emisión para la fracción PM<sub>10</sub>.

Por otra parte, el inventario de emisiones de la ZMVM para el 2008, tiene un registro de más de 180 empresas que se consideran grandes emisoras de COV, contaminantes que ahora son muy relevantes para la formación del ozono en la ZMVM.

### Descripción

La SEMARNAT, actualizará la NOM-043-SEMARNAT-1993 y elaborará normas para el control de compuestos orgánicos volátiles.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Actualización de la NOM 043-SEMARNAT-1993							
Desarrollar normas para reducir emisiones de COV en la industria							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•				•		•	•

### Beneficios esperados

Reducción de 21,102 ton/año de COV.

### Costo estimado

2 millones de pesos.

## MEDIDA 55: REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES DE HIDROCARBUROS EN LAVANDERÍAS DE LAVADO EN SECO.

### Acción 55.1. Desarrollar la normatividad para limitar las emisiones de HC en los procesos de lavado en seco.

#### Objetivo:

Reducir las emisiones de COV generadas por los establecimientos de lavado en seco mediante el uso de sistemas cerrados en el proceso de limpieza de ropa.

**Actores involucrados:** SMAGDF, SMAGEM, SEMARNAT, cámaras y asociaciones de lavanderías.

## Integración ecosistémica



### Justificación

De acuerdo con la Cámara Nacional de la Industria de Lavanderías (CANALAVA), el consumo nacional de percloroetileno en el año 2009 fue de 7,363 toneladas, de las cuales el 42% se consume en la industria de lavado en seco en la ZMVM. Asimismo, el 52% del consumo de gas nafta es usado para la misma actividad.

Actualmente la mayoría de los establecimientos de lavado en seco, utilizan máquinas de lavado con sistema abierto, las cuales no recuperan los vapores de gas nafta y/o percloroetileno, sustancias con propiedades tóxicas y reactivas.

Es necesario regular los establecimientos que utilicen sistemas de lavado en seco de varios pasos o sistemas abiertos, en especial aquellos que utilicen percloroetileno que contribuyen a la emisión de hidrocarburos. Los sistemas modernos de lavado en seco permiten reducir hasta en un 90% las emisiones de este tipo y además es posible recuperar el hidrocarburo residual para su posterior tratamiento, disposición o aprovechamiento.

### Descripción

Realizar un censo en la ZMVM de los establecimientos de lavado en seco, para conocer el número de establecimientos y la cantidad de solvente utilizado y tipo de equipo empleado. A partir del análisis de la información, elaborar la norma respectiva.

Se diseñará un esquema de apoyos para la reconversión de sistemas abiertos a sistemas cerrados.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Realización de un censo de los establecimientos de lavandería							
Elaborar la Norma							
Programa de sustitución de equipos							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
	●				●		●	●

### Beneficios esperados

Disminuir el impacto en la generación de contaminantes del aire por el uso de gas-nafta y percloroetileno en el proceso de lavado en seco.

### Costo estimado

3 millones de pesos.

**MEDIDA 56: REGULACIÓN DE LAS EMISIONES EN RESTAURANTES Y PUESTOS DE COMIDA.**

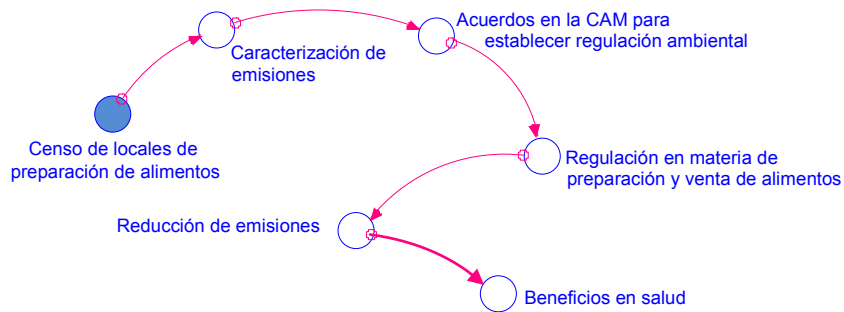
**Acción 56.1. Desarrollar la normatividad y los programas para regular las emisiones en locales de preparación y venta de alimentos.**

**Objetivo**

Disminuir las emisiones de partículas suspendidas y COV que se producen durante la preparación y cocción de alimentos en lugares fijos y en la vía pública.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM y SEMARNAT.

**Integración ecosistémica:**



**Justificación**

Los combustibles utilizados por este tipo de establecimientos son generalmente gas licuado de petróleo y carbón, liberando altas concentraciones de monóxido de carbono, partículas, compuestos orgánicos y tóxicos, entre otros.

**Descripción**

Se elaborará un estudio para regular las emisiones generadas en restaurantes y puestos de comida, lo que permitirá contar con un registro del número de establecimientos y los giros de los mismos. Asimismo, se realizarán mediciones para caracterizar las emisiones de estos establecimientos y con los resultados obtenidos se elaborará un paquete normativo para el control de emisiones de este sector.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Elaboración de un estudio							
Implementación de medidas para el control de emisiones							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

**Beneficios esperados**

Regular las emisiones de partículas suspendidas y COV que se producen durante la preparación y cocción de alimentos en lugares fijos y en la vía pública.

**Costo estimado**

5 millones de pesos.

**MEDIDA 57: REDUCCIÓN DE EMISIONES GENERADAS POR AGUAS RESIDUALES.**

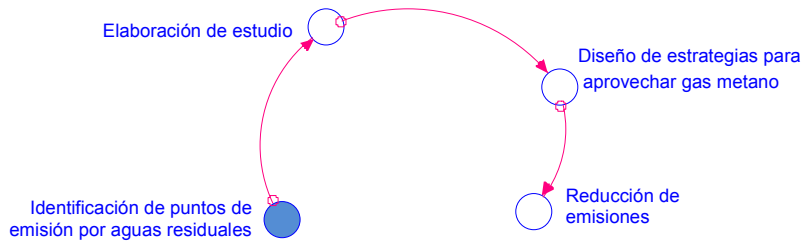
**Acción 57.1. Elaborar un estudio que permita conocer el volumen de las emisiones asociadas a las aguas residuales de la ZMVM.**

**Objetivo**

Estimar las emisiones generadas por las aguas residuales.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SACM, SMAGEM, SAOPGEM, SEMARNAT y CONAGUA.

**Integración ecosistémica**



**Justificación**

La generación de aguas residuales en la ZMVM tienen una aportación importante en la emisión de gases de efecto invernadero, por lo cual se considera necesario identificar el volumen de las emisiones emitidas por las plantas de tratamiento y por las propias descargas.

**Descripción**

Realizar un estudio para estimar las emisiones generadas por las aguas residuales, con el fin de identificar la potencialidad de implementar acciones para el aprovechamiento del gas metano y reducir su impacto ambiental.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Estimación de las emisiones							
Propuestas de medidas para reducir emisiones							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
					•			•

### Beneficios esperados

Contribuir a la reducción de emisiones contaminantes de GEI.

### Costo estimado

5 millones de pesos.

## MEDIDA 58: REGULACIÓN DE ACTIVIDADES DE PINTURA AL AIRE LIBRE.

### Acción 58.1. Desarrollar la normatividad y los programas para regular las emisiones en actividades de pintado al aire libre.

#### Objetivo

Reducir las emisiones generadas por la actividad de pintado al aire libre.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM y SEMARNAT.

#### Integración ecosistémica



#### Justificación

Las actividades de pintado al aire libre contribuyen con una gran cantidad de compuestos orgánicos volátiles derivados del propio contenido de solventes orgánicos en las pinturas y los solventes que se emplean para diluirlas, al ser una actividad que no es controlada. Además esta actividad también es una práctica que se lleva a cabo en algunas de las pequeñas, medianas y grandes industrias de fabricación de muebles y piezas automotrices.

En México las pinturas tienen un alto contenido de sustancias que al evaporarse y en presencia de radiación solar producen cantidades importantes de O<sub>3</sub>.

#### Descripción

Estimar la cantidad y características de los solventes utilizados en las actividades de pintado al aire libre, con el fin de contar con los elementos para proponer la regulación ambiental, en la que se especifique las condiciones de empleo de las pinturas y solventes.

La SEMARNAT actualizará la norma de fabricación de pinturas para reducir el contenido de solventes, de tal forma que la reducción de emisiones sea inducida desde la fabricación de los productos utilizados en estas actividades.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Estimación y caracterización de solventes							
Actualización de la NOM de fabricación de pinturas							
Elaboración de la normatividad							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•				•		•	•

**Beneficios esperados**

Contar con la normatividad que permita reducir las emisiones de COV y tóxicos.

**Costo estimado**

3 millones de pesos.

**MEDIDA 59: REDUCCIÓN DE EMISIONES POR FUGAS DE GAS LP EN ACTIVIDADES DE DISTRIBUCIÓN Y LLENADO, ASÍ COMO EN INSTALACIONES DOMÉSTICAS Y COMERCIALES Y EN EL TRANSPORTE.**

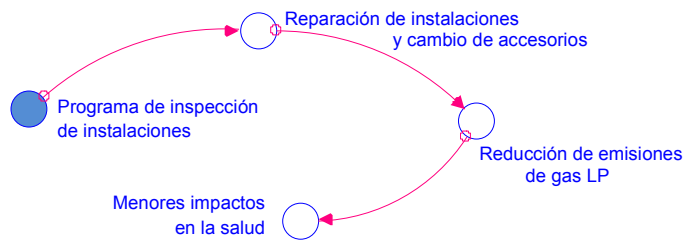
**Acción 59.1. Elaborar un programa para la reducción de fugas en instalaciones de gas LP.**

**Objetivo**

Controlar las fugas de gas licuado de petróleo en las actividades de llenado, trasvasado y distribución a instalaciones domésticas, de transporte y comerciales de la ZMVM.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SEMARNAT, SENER y distribuidores de gas.

**Integración ecosistémica**



**Justificación**

El inventario de emisiones de la ZMVM indica que el 86% de las fugas de gas LP proviene de instalaciones domésticas. De éstas, la gran mayoría se presenta en conexiones y tuberías, en los piteles y reguladores de la instalación con recipiente portátil en mal

estado y en las válvulas de llenado de recipientes estacionarios. También se registran emisiones fugitivas en las estufas de encendido por pilotos y en cilindros en mal estado.

Asimismo, el gas LP sigue siendo una opción para su uso en vehículos de transporte de pasajeros y de carga, sin embargo en muchos de ellos las instalaciones no cumplen con la reglamentación para evitar fugas de dicho combustible.

La importancia de controlar fugas de gas LP, se refuerza debido a que el monitoreo de compuestos orgánicos volátiles que se ha realizado en la atmósfera de la ZMVM, indica que los componentes principales del gas LP (propano y butano) siguen siendo las sustancias químicas más abundantes que es necesario reducir.

**Descripción**

Promover con la sociedad la revisión y reparación de las fugas de gas LP en instalaciones domésticas y fortalecer el cumplimiento de la normatividad en las instalaciones comerciales y el transporte.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Programa de detección y reparación de fugas de gas LP							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
	•				•	•		•

**Beneficios esperados**

Reducir las emisiones de propano y butano y con ello la formación de contaminantes secundarios.

**Costo estimado**

15 millones de pesos.

**MEDIDA 60: CAPTURA Y APROVECHAMIENTO DEL BIOGÁS PRODUCIDO EN LOS SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.**

**Acción 60.1. Desarrollar programas para aprovechar el biogás producido en los sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos.**

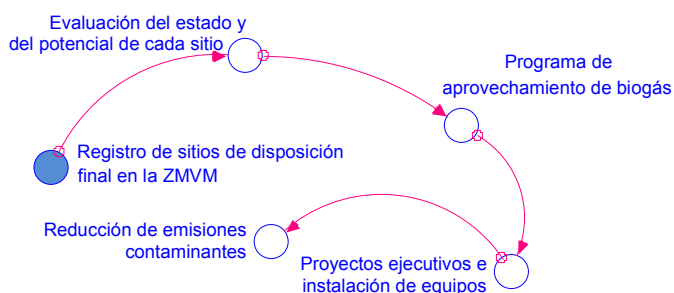
**Objetivo**

Capturar el biogás proveniente de los sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos para su aprovechamiento en la cogeneración de energía eléctrica.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM y SEMARNAT.



## Integración ecosistémica



### Justificación

Los grandes volúmenes de residuos sólidos que se depositan en los sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos generan biogás (metano), que puede capturarse y aprovecharse para la cogeneración de energía eléctrica.

### Descripción

Se realizarán acciones para promover el aprovechamiento del biogás emitido en sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Captura y aprovechamiento del biogás							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
					•			•

### Beneficios esperados

Aprovechar las emisiones de gas metano que se generan en los sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos para contribuir a la reducción de gases de efecto invernadero.

### Costo estimado

2,500 millones de pesos.

**MEDIDA 61: REGULACIÓN DE LA OPERACIÓN DE PLANTAS DE EMERGENCIA QUE OPEREN PARA LA AUTOGENERACIÓN Y COGENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.**

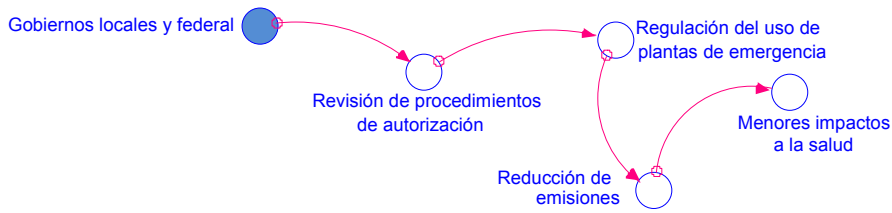
### Acción 61.1. Elaborar la normatividad para regular las plantas de emergencia que son usadas como generadores eléctricos.

#### Objetivo

Regular la operación de las plantas de emergencia utilizadas para cogenerar energía eléctrica en establecimientos comerciales y de servicios en la ZMVM.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM y SEMARNAT.

**Integración ecosistémica**



**Justificación**

Actualmente algunas empresas cuentan con plantas de emergencia que generan energía eléctrica cuando existen fallas en el sistema interconectado, sin embargo, en algunos casos estas plantas son utilizadas para generar energía todos los días, principalmente en el horario de máxima demanda que es de las 18:00 a las 22:00 horas. En este horario la tarifa eléctrica es la más alta, lo cual ha propiciado que centros comerciales, hoteles, industrias e instalaciones varias autogeneren su energía con este tipo de equipos para disminuir el costo de su consumo energético.

**Descripción**

Definir los requisitos ambientales que deberán cumplir los establecimientos que autogeneren y cogeneren energía eléctrica. En la actualidad la generación de energía eléctrica es una actividad de jurisdicción federal, por lo que la SEMARNAT es la autoridad competente para autorizar el impacto ambiental y otorgar el permiso para operar o la licencia de funcionamiento.

Para el caso de las licencias locales de funcionamiento, se establecerá que una planta operará solamente cuando el suministro eléctrico presente alguna falla. Esto significa la no autorización para usar este tipo de equipos para autogeneración de energía eléctrica. En el caso de la cogeneración, ésta deberá contar con la autorización de la SEMARNAT.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Definir los requisitos ambientales para las plantas de cogeneración y autogeneración							
Aplicación de la normatividad							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

**Beneficios esperados**

Disminuir la emisión de contaminantes por la generación de energía eléctrica en plantas de emergencia en la ZMVM.

**Costo estimado**

3 millones de pesos.

## MEDIDA 62: REDUCCIÓN Y MONITOREO DE LAS EMISIONES DEL SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA.

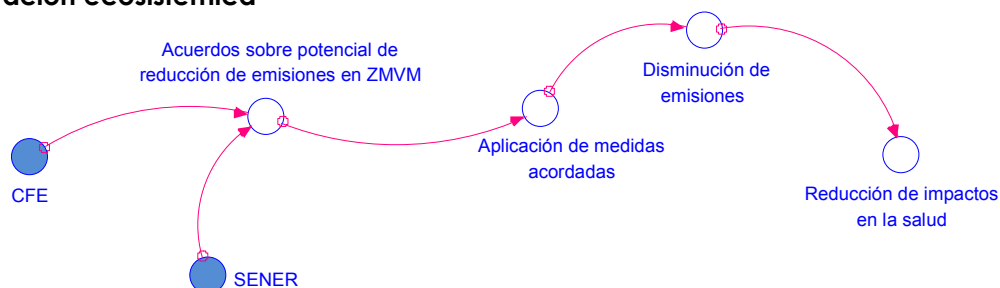
### Acción 62.1 Reforzar los programas de reducción de las emisiones en centrales termoeléctricas.

#### Objetivo

Reducir las emisiones provenientes de las plantas de generación de energía eléctrica para el abastecimiento de la ZMVM.

**Responsables:** CFE, SENER y SEMARNAT.

#### Integración ecosistémica



#### Justificación

En la ZMVM se encuentran algunas plantas de generación de energía eléctrica que emiten alrededor de 13,500 ton/año de emisiones a la atmósfera, por lo cual deberán reducir sus emisiones.

#### Descripción

Establecer un programa de reducción de emisiones y de monitoreo continuo de las emisiones provenientes de las centrales termoeléctricas ubicadas en el Valle de México.

#### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Definición del potencial de reducción de emisiones en las plantas ubicadas en la ZMVM							
Elaborar el programa							
Monitoreo continuo de emisiones							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

#### Beneficios esperados

Reducir las emisiones de las plantas de generación de energía eléctrica en el Valle de México, en particular los NO<sub>x</sub>, precursores de ozono.

#### Costo estimado

4 millones de pesos.

---

## ESTRATEGIA 6: EDUCACIÓN AMBIENTAL, CULTURA DE LA SUSTENTABILIDAD Y PARTICIPACIÓN CIUDADANA

---

**MEDIDA 63: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UN PROGRAMA METROPOLITANO DE INCENTIVOS PARA QUE LAS EMPRESAS PÚBLICAS Y PRIVADAS HAGAN USO INCREMENTAL DEL TRABAJO ESPACIAL Y TEMPORALMENTE DISTRIBUIDO (TETD).**

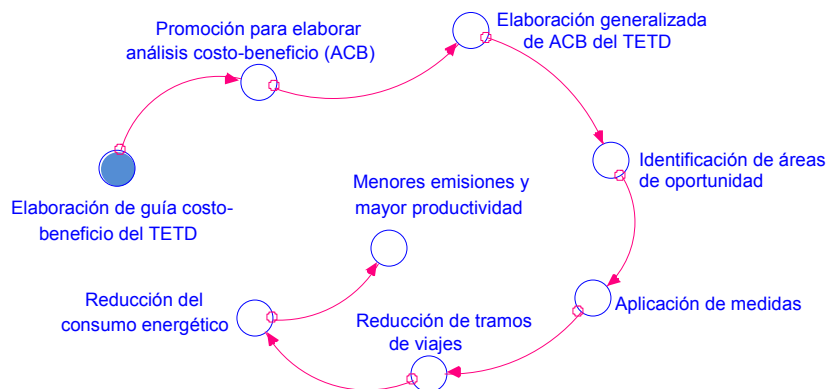
### **Acción 63.1. Aplicar un programa de reubicación de empleados públicos a oficinas cercanas a sus domicilios, para reducir tramos de viajes.**

#### **Objetivo**

Contribuir, a través de la disminución del tiempo total destinado a los desplazamientos cotidianos, en el incremento de la productividad de las personas económicamente activas y en la reducción del consumo de combustibles y emisión de contaminantes.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM y SEMARNAT.

#### **Integración ecosistémica**



#### **Justificación**

El enfoque ecosistémico de la generación de contaminantes atmosféricos relaciona a la producción de viajes y consecuentemente al consumo energético y emisión de contaminantes, con la localización relativa de los sitios de trabajo y los hogares, así como con las prácticas laborales y los hábitos sociales de la población. En ese marco de referencia, una de las prácticas organizacionales que pueden ayudar a reducir las emisiones de las fuentes móviles y mejorar la calidad de vida de los habitantes de la ZMVM, es la reubicación de empleados a sitios de trabajo más accesibles y cercanos a sus hogares.

#### **Descripción**

Impulsar acciones para promover la reubicación de personal con el propósito de reducir tramos de viajes y consecuentemente emisiones. Se desarrollará un programa para

otorgar estímulos a quienes lleven a cabo políticas y programas laborales de reubicación de personal y de habilitación de espacios comunes de trabajo en diferentes edificios, para lograr la reducción de tramos de viaje.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Elaboración de una análisis de costo-beneficio para evaluar la viabilidad de esta medida							
Diseño de programas de reubicación de personal							
Difusión de los beneficios ambientales, sociales y de productividad del uso de trabajo espacial y temporalmente distribuido							
Aplicación de las medidas propuestas							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

**Beneficios esperados**

La disminución de emisiones derivada de la reducción de tramos de viaje y el aumento en la calidad de vida de los empleados beneficiados.

**Costo estimado**

2 millones de pesos.

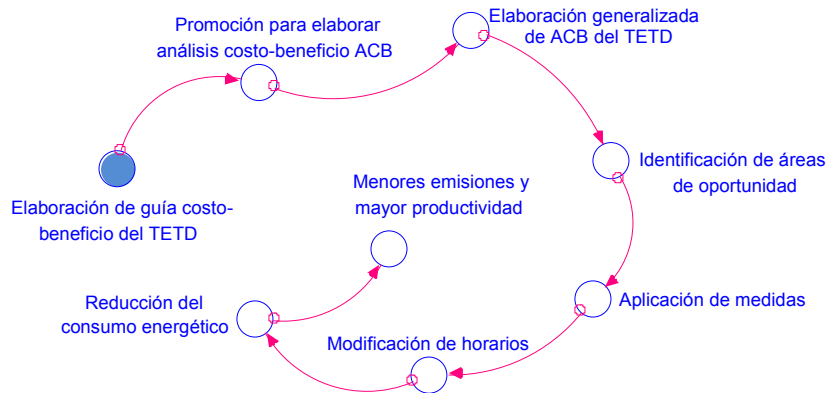
**Acción 63.2. Promover el escalonamiento de horarios de entrada y salida, el establecimiento de horarios corridos y el trabajo en casa en organizaciones públicas y privadas.**

**Objetivo**

Modificar los criterios organizacionales para el establecimiento de horarios de los empleados y trabajadores, a través de su escalonamiento y de la consideración de horarios corridos, así como el trabajo en casa.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM y SEMARNAT.

## Integración ecosistémica



### Justificación

Las horas de máxima demanda de viajes coinciden con las horas de entrada y salida del trabajo y las escuelas. Sin embargo, son varias las razones por las que hay mayor flexibilidad y viabilidad para hacer este tipo de cambios en el ámbito laboral, que en el caso de las escuelas. En ese contexto es recomendable promover la ampliación de las franjas horarias de entrada y salida del trabajo, así como el trabajo en casa.

### Descripción

Elaborar programas para fomentar en las oficinas gubernamentales y empresariales el escalonamiento de horarios para la entrada del personal y el trabajo en casa, en las dependencias de gobierno y en la iniciativa privada, con la finalidad de reducir los congestionamientos viales y las emisiones a la atmósfera.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Elaboración de los estudios de factibilidad y realización de un proyecto piloto							
Elaboración de los programas							
Aplicación de la medida							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Reducción de la densidad vehicular y aumento de la velocidad de circulación, lo cual disminuye el consumo energético y las emisiones de contaminantes.

### Costo estimado

2 millones de pesos.

**MEDIDA 64: FOMENTO DE LA SIMPLIFICACIÓN DE TRÁMITES EN DEPENDENCIAS GUBERNAMENTALES Y EMPRESAS PRIVADAS, INCLUYENDO LA ELIMINACIÓN DEL REQUERIMIENTO DE PRESENCIA FÍSICA Y PROMOCIÓN DEL USO INTENSIVO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIONES.**

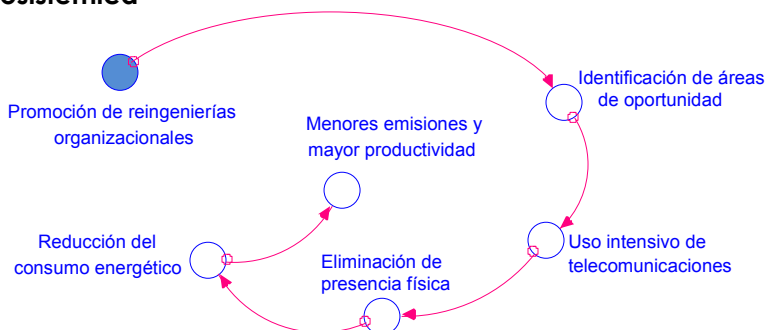
**Acción 64.1. Desarrollar reingenierías organizacionales y rediseños institucionales en oficinas públicas y privadas.**

**Objetivo**

Elevar la eficiencia organizacional, reducir la huella ecológica y disminuir los costos totales del funcionamiento de empresas públicas y privadas.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SEMARNAT, cámaras y asociaciones industriales y comerciales.

**Integración ecosistémica**



**Justificación**

Las experiencias obtenidas en otras ciudades nacionales e internacionales, indican que este tipo de reingenierías muestran beneficios ambientales y económicos, así como el incremento en la productividad, que resultan de la eliminación del requisito de la presencia física para la realización de trámites y del uso intensivo de las tecnologías de telecomunicación.

**Descripción**

Promover en las dependencias de gobierno, así como en las cámaras industriales, de servicios y en los organismos sociales programas de simplificación de trámites administrativos, transacciones y compras electrónicas, tele y video conferencias para realizar reuniones de trabajo, etc.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Promover programas de modernización administrativa							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Reducción de los costos económicos, ambientales y sociales asociados a los congestionamientos de tránsito, incrementos en la productividad y la competitividad.

### Costo estimado

20 millones de pesos.

## MEDIDA 65: PROMOCIÓN DE LA EDUCACIÓN AMBIENTAL EN EL SISTEMA NACIONAL DE EDUCACIÓN Y FOMENTO A LA EDUCACIÓN AMBIENTAL NO FORMAL.

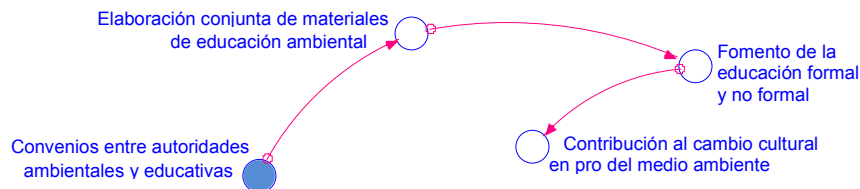
### Acción 65.1. Contribuir en la promoción y el fomento de programas de educación ambiental en el ámbito formal y no formal.

#### Objetivo

Ampliar el espectro de educandos potenciales y el uso de los canales de comunicación de la educación ambiental, para reforzar la incidencia de ésta en el proceso de cambio cultural de la población.

**Actores Responsables:** SEP, SEGDF, SEGEM, SMAGDF, SMAGEM y SEMARNAT.

#### Integración ecosistémica



#### Justificación

La Secretaría de Educación Pública ha modificado la currícula y los materiales educativos relacionados con la educación ambiental a nivel básico, lo cual debe ser apoyado desde el ejercicio de la gestión ambiental en la ZMVM. Una forma de hacerlo es proveer a las autoridades educativas de casos reales en los que se haya enfrentado un problema ambiental y se explique cómo se pueden prevenir estos episodios y qué se hizo para enfrentar o mitigar los impactos ambientales del mismo. En lo que se refiere a la educación no formal, es importante mantener un esquema de retroalimentación entre autoridades ambientales y educativas con el propósito de estar actualizando los materiales desarrollados por las diversas secretarías.

#### Descripción

Implementar en los centros escolares actividades que incrementen el conocimiento en las implicaciones del cambio climático y la contaminación del aire en la ZMVM. Además en el ámbito de la educación ambiental no formal deberán impulsarse acciones en estos temas para la población en general.



**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Acuerdos de colaboración entre autoridades educativas y ambientales							
Actividades de apoyo en ámbitos de educación formal y no formal							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
●	●	●	●	●	●	●	●	●

**Beneficios esperados**

Modificación de conductas y hábitos en la población para consolidar una cultura de la sustentabilidad en la ZMVM. En particular, lograr que la consulta sobre las condiciones de la calidad del aire del Valle de México influya en el comportamiento cotidiano de sus habitantes.

**Costo estimado**

30 millones de pesos.

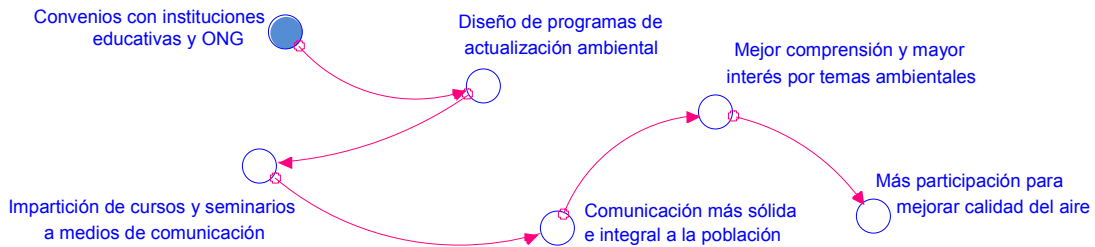
**Acción 65.2. Actualizar de la información ambiental de calidad del aire, para los medios de comunicación.**

**Objetivo**

Diseñar un mecanismo para brindar información permanente y actualizada a los medios de comunicación sobre los avances en la gestión ambiental de la calidad del aire de la ZMVM y de las implicaciones del cambio climático.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SEMARNAT, académicos y medios de comunicación.

**Integración ecosistémica**



**Justificación**

Los medios de comunicación juegan un papel muy importante en la difusión de la información e interés que la población tenga sobre la calidad del aire. Por esta razón, es conveniente establecer un mecanismo para que de manera permanente se proporcione información y conocimiento técnico y científico a los reporteros que cubren el tema de la calidad del aire y cambio climático en la ZMVM.

**Descripción**

Se realizarán talleres, cursos cortos y seminarios a los que se invitará a personal de los medios de comunicación, para transmitir conocimientos sobre los diferentes temas de calidad del aire y cambio climático.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Diseñar programas sobre temas de calidad del aire y cambio climático							
Realización de cursos, talleres y diplomados							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

**Beneficios esperados**

Capacitar al personal encargado del manejo de las notas ambientales para actualizar sus conocimientos y contribuir a que haya una comunicación más sólida e integrada con la población.

**Costo estimado**

3 millones de pesos

**MEDIDA 66: INCORPORACIÓN DE LA SOCIEDAD CIVIL EN LA GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA ZMVM.**

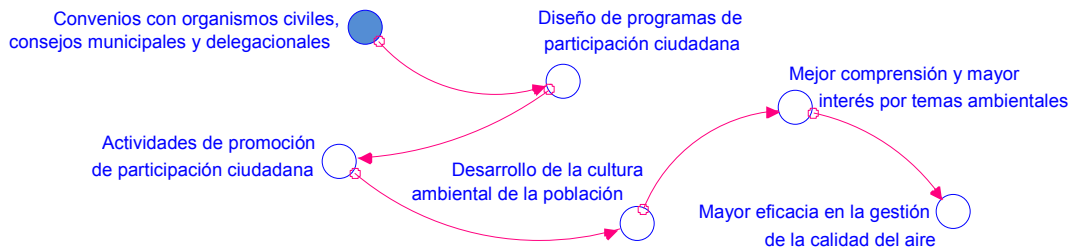
**Acción 66.1. Fomentar la participación ciudadana en la gestión de la calidad del aire.**

**Objetivo**

Promover la participación ciudadana en las tareas de prevención y mejoramiento de la calidad del aire, para fomentar y desarrollar una cultura ambiental en la ZMVM.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SEMARNAT, organizaciones civiles, consejos municipales y delegacionales.

**Integración ecosistémica**



### Justificación

La participación de la sociedad, a través de las organizaciones civiles y de los consejos ciudadanos municipales y delegacionales, es una de las herramientas valiosas que tienen las autoridades locales y federales para sumar esfuerzos en la implementación de acciones, particularmente los referentes al cuidado del medio ambiente.

### Descripción

Promover la participación ciudadana para fortalecer la implementación de las acciones del nuevo PROAIRE 2011-2020 que permita alcanzar los objetivos y las metas establecidos.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Promover la participación ciudadana en la gestión ambiental local							
Realizar talleres de capacitación							
Promover la cultura ambiental							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Reducción de los costos económicos, ambientales y sociales asociados a fomentar en la ZMVM una cultura ambiental dirigida a la prevención y mejoramiento de la calidad del aire en la ZMVM.

### Costo estimado

10 millones de pesos.

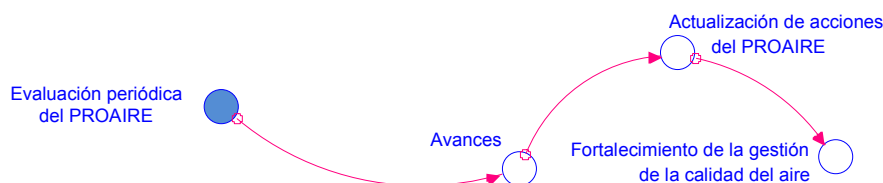
### Acción 66.2. Evaluación permanente del PROAIRE de la ZMVM 2011-2020.

#### Objetivo

Evaluar la aplicación de las acciones del nuevo PROAIRE 2011-2020 y emitir recomendaciones de política pública en materia de calidad del aire.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SEMARNAT, centros de investigación e instituciones académicas.

#### Integración ecosistémica



### Justificación

Una manera de asegurar la actualidad y vigencia del PROAIRE es la de crear y aprovechar canales de comunicación permanente con las comunidades que cuentan con conocimientos científicos y experiencias profesionales en las materias incluidas en el enfoque ecosistémico desarrollado para este programa. Por ello, el intercambio fluido de información con estas comunidades representa una oportunidad para enriquecer, orientar y fortalecer las políticas públicas propuestas en el PROAIRE 2011-2020 y con ello impulsar su implementación.

### Descripción

Se evaluarán de manera permanente las acciones del PROAIRE, a través de la conformación de grupos de trabajo de acuerdo a las temáticas que contiene dicho programa, para emitir recomendaciones de política pública que permitan orientar la gestión de la calidad del aire de la ZMVM.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Evaluar el PROAIRE							
Actualización de acciones							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Mantener actualizadas las acciones y en aquellos casos que sea necesario reorientar su aplicación.

### Costo estimado

8 millones.

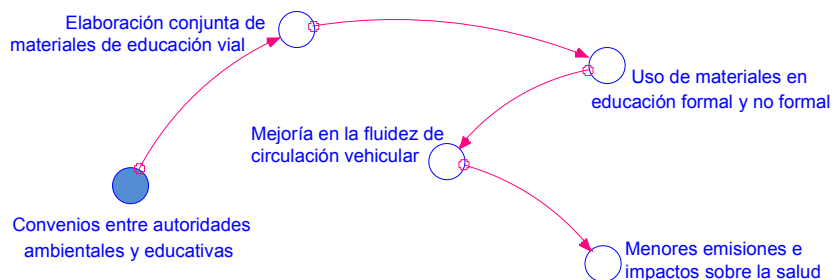
### Acción 66.3. Desarrollar campañas permanentes de educación vial.

#### Objetivo

Fortalecer en los programas de educación formal y no formal el tema de la educación vial.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SSPGDF, ASEGEM, SEGEM y SEGDF.

#### Integración ecosistémica



### Justificación

En materia de vialidad, se reconoce que la realización de buenas prácticas de manejo y de comportamiento de los peatones, ayudan a reducir el número de accidentes y a mejorar la fluidez del tránsito vehicular, lo cual contribuye a reducir el consumo de combustibles y las emisiones a la atmósfera.

Por lo anterior, es necesario hacer del conocimiento de la población en general, el contenido de leyes y reglamentos, a través de campañas de difusión en medios de comunicación para informar a los ciudadanos sobre sus derechos y obligaciones en ámbitos como transporte, vialidad y cultura cívica que permita propiciar cambios conductuales.

### Descripción

Promover campañas, programas y cursos de seguridad y educación vial, mediante la publicación de trípticos y demás medios que se consideren necesarios. Esto se deberá complementar con el material que la SEP haya desarrollado para la educación básica y preescolar.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Elaboración y actualización de los programas de educación vial							
Difusión de la campañas							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Inducir el cambio de hábitos para fortalecer la cultura vial y contribuir en la fluidez de la circulación vehicular.

### Costo estimado

25 millones de pesos.

---

## ESTRATEGIA 7: MANEJO DE ÁREAS VERDES, REFORESTACIÓN Y NATURACIÓN URBANAS

---

**MEDIDA 67: RECUPERACIÓN, RESTAURACIÓN, CONSERVACIÓN Y AMPLIACIÓN DE ÁREAS VERDES URBANAS PARA MITIGAR LA RESUSPENSIÓN DE PARTÍCULAS.**

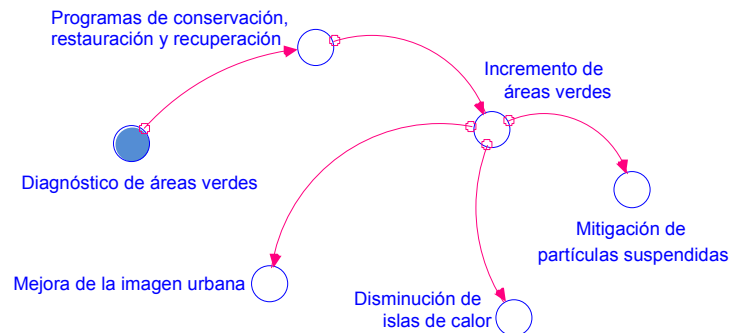
### **Acción 67.1. Desarrollar programas de recuperación, restauración y conservación de áreas verdes urbanas en la ZMVM.**

#### **Objetivo**

Incrementar el número de áreas verdes urbanas en la ZMVM, utilizando las especies adecuadas para mitigar la resuspensión de partículas.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM, delegaciones políticas del DF y municipios del Estado de México.

#### **Integración ecosistémica**



#### **Justificación**

En la ZMVM existen algunas áreas urbanas desprovistas de vegetación las cuales contribuyen en las emisiones de partículas, por lo que se hace necesario llevar a cabo acciones que permitan incrementar la masa forestal y en su caso rehabilitar las existentes.

Asimismo, de acuerdo con datos del inventario de áreas verdes de la ZMVM, éstas se encuentran por debajo de la proporción entre áreas verdes y urbanas que se recomienda a nivel internacional.

#### **Descripción**

Fortalecer la implementación de programas de recuperación, restauración y conservación de las áreas verdes urbanas, así como incrementar la masa forestal urbana en la ZMVM.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Identificación de las áreas verdes a recuperar, restaurar, conservar o ampliar							
Realización de las acciones correspondientes							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•								

**Beneficios esperados**

Obtener beneficios en el ciclo hidrológico, en la imagen urbana y en la calidad del entorno, así como avanzar en la aplicación de medidas que ayuden a abatir la resuspensión de partículas.

**Costo estimado**

200 millones de pesos.

**MEDIDA 68: PROMOCIÓN DEL USO DE ECOTECNIAS.**

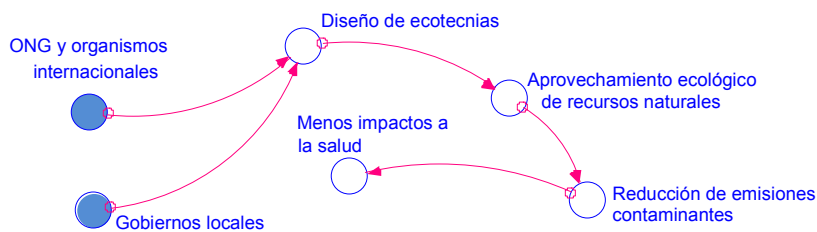
**Acción 68.1. Promover el conocimiento y el uso de ecotecnias para la conservación de los recursos naturales.**

**Objetivo**

Promover el uso de ecotecnias, para el aprovechamiento de los recursos naturales para reducir las emisiones de contaminantes en la ZMVM.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM y SEMARNAT.

**Integración ecosistémica**



**Justificación**

Las ecotecnias son todas aquellas tecnologías que garantizan una operación, económica y ecológica para generar bienes y servicios necesarios para el desarrollo de la vida diaria. Con el uso de estas tecnologías se puede disminuir las emisiones contaminantes y el volumen de residuos sólidos generados diariamente por la población, a través del reúso y del reciclaje.

**Descripción**

Impulsar programas y acciones para la utilización de ecotecnias en la ZMVM.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Elaboración y actualización de los programas							
Aplicación de las acciones							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

**Beneficios esperados**

Reducción de las emisiones generadas por la combustión y del volumen de residuos, además de la exposición directa a los contaminantes emitidos.

**Costo estimado**

200 millones de pesos.

**MEDIDA 69: REVISIÓN Y MODERNIZACIÓN DE LOS PROGRAMAS DE PREVENCIÓN Y COMBATE DE INCENDIOS FORESTALES.**

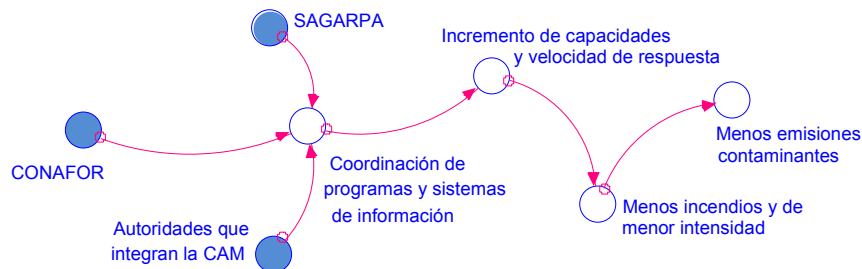
**Acción 69.1. Extender el uso y aprovechamiento de sistemas de detección telemática.**

**Objetivo**

Incrementar la capacidad de reacción en el combate de incendios forestales en la ZMVM.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SEMARNAT, CONAFOR y SAGARPA.

**Integración ecosistémica**





### Justificación

En los meses de febrero a mayo se presentan en la ZMVM las quemas de biomasa más intensas del año. Esto provoca la emisión de hidrocarburos, monóxido de carbono, óxidos de azufre, partículas finas y óxidos de nitrógeno, así como el incremento de un 7 a un 39% de la presencia de carbón orgánico en la atmósfera.

Aunque se han implementado medidas de combate para prevención de los incendios forestales en la ZMVM, se hace necesaria la utilización de nuevas tecnologías de detección de incendios que fortalezcan los programas ya existentes.

### Descripción

Aprovechar la tecnología para operar sistemas de detección remota y monitoreo de los incendios forestales con el fin de reducir el índice de afectación en la ZMVM.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Elaboración de los proyectos							
Aplicación de las acciones							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Reducir el tiempo de respuesta para la atención de los incendios forestales, el índice de afectación y la reducción de emisiones.

### Costo estimado

310 millones de pesos.

**MEDIDA 70: MODERNIZACIÓN DEL MONITOREO DE LAS ÁREAS DE CONSERVACIÓN ECOLÓGICA Y APLICACIÓN DE ESQUEMAS DE PAGO COMPENSATORIO POR SERVICIOS AMBIENTALES.**

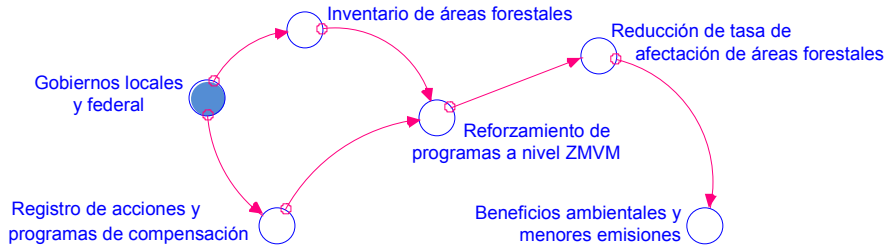
**Acción 70.1. Establecer un sistema de monitoreo que informe de manera oportuna sobre las áreas susceptibles que se pueden incorporar a los programas de pago por servicios ambientales.**

### Objetivo

Evitar la urbanización o el cambio de usos del suelo en áreas de conservación ecológica a través del fortalecimiento de los programas de pago por servicios ambientales.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM y SEMARNAT.

## Integración ecosistémica



### Justificación

La tarea permanente de proteger y conservar las áreas naturales protegidas o de valor ambiental de la ZMVM, demanda la implementación de programas de identificación y caracterización de estas áreas. Se conoce su ubicación y sus características físicas, hidráulicas y biológicas, lo cual es la base para desarrollar acciones de conservación, protección y recuperación a través de programas compensatorios de pago por servicios ambientales.

### Descripción

Promover la realización de un diagnóstico integral del estado en el que se encuentran los recursos naturales forestales de la ZMVM, para ampliar los programas de pagos por compensación de los servicios ambientales.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Desarrollo del estudio							
Aplicación de las acciones							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•								•

### Beneficios esperados

Conservar los recursos naturales de la ZMVM y consolidar los programas de aprovechamiento de los servicios ambientales.

### Costo estimado

200 millones de pesos.

**MEDIDA 71: ELABORACIÓN E INSTRUMENTACIÓN DE LOS PLANES DE MANEJO PARA TODAS LAS ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS Y ÁREAS DE VALOR AMBIENTAL.**

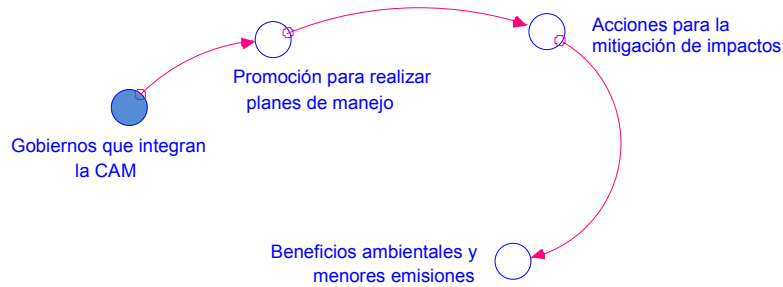
### Acción 71.1. Elaborar, actualizar e instrumentar los planes de manejo en Áreas Naturales Protegidas y Áreas de Valor Ambiental.

### Objetivo

Contar con los instrumentos de planeación para conservar el patrimonio natural mediante el manejo de las áreas naturales protegidas existentes en la ZMVM.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM y SEMARNAT.

### Integración ecosistémica



### Justificación

Un manejo sustentable requiere de estrategias enfocadas a revertir el deterioro y la destrucción de los ecosistemas y su biodiversidad en áreas de conservación. Actualmente en la ZMVM existen 41 Áreas Naturales Protegidas, por lo cual es importante promover una mayor conservación de los ecosistemas y su biodiversidad a través de la instrumentación de prácticas de uso sustentable en áreas protegidas ubicadas en la ZMVM, así como contener los procesos erosivos.

### Descripción

Promover la conservación de los ecosistemas y su biodiversidad con la participación de la población, propietarios y usuarios de los terrenos de las ANP. Para ello, es imprescindible que las áreas naturales protegidas de la ZMVM, cuenten con su plan de manejo.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Elaboración y actualización de los planes de manejo de áreas naturales							
Implementación de acciones para la mitigación de impactos							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
●			●					●

### Beneficios esperados

La conservación del suelo natural y la contención de las actividades de alto impacto ambiental.

### Costo estimado

50 millones de pesos.

**MEDIDA 72: ACTUALIZACIÓN Y MODERNIZACIÓN DE LOS PROGRAMAS DE REFORESTACIÓN.**

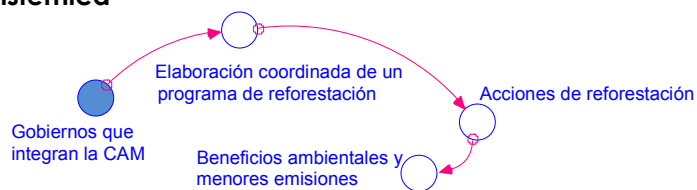
**Acción 72.1. Fortalecer las tareas de reforestación en las áreas naturales protegidas, las de valor ambiental y en el suelo de conservación.**

**Objetivo**

Fortalecer las labores de reforestación y conservación de los ecosistemas forestales de la ZMVM.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SEMARNAT y CONAFOR.

**Integración ecosistémica**



**Justificación**

Debido a las afectaciones que han tenido los ecosistemas forestales tanto por actividades naturales como humanas, se hace indispensable reducir el deterioro de la cubierta vegetal. Esto se puede hacer a través de un sistema de restauración y conservación permanente, tanto para mitigar los efectos que trae consigo las modificaciones que han sufrido estos ecosistemas, como para mejorar la calidad del aire mediante la captura y remoción de contaminantes.

**Descripción**

Incrementar las acciones de reforestación y la tasa de sobrevivencia de las especies plantadas y producidas en la ZMVM. Asimismo, se deberá promover la habilitación de viveros regionales y la participación intensiva de la población en las labores de reforestación.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Fortalecimiento de las acciones de reforestación							
Producción de plantas en viveros regionales							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•		•					•

**Beneficios esperados**

Aumentar la masa forestal en los ecosistemas de la ZMVM, para reducir la generación de partículas y contribuir a la recarga de los mantos freáticos en la ZMVM.

**Costo estimado**

600 millones de pesos.

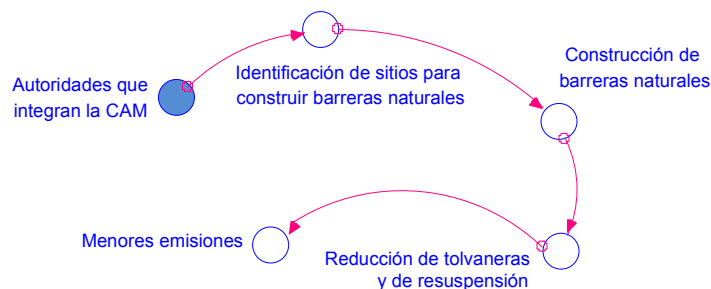
## **Acción 72.2. Construir barreras naturales para mitigar la resuspensión de partículas y tolvaneras.**

### **Objetivo**

Contribuir en la mitigación de partículas y tolvaneras a través de la construcción de barreras naturales.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SEMARNAT y CONAFOR.

### **Integración ecosistémica**



### **Justificación**

En la ZMVM existen áreas desprovistas de vegetación en las cuales el proceso de erosión provoca la generación de partículas que impactan en la calidad del aire. Se ha comprobado que la construcción de barreras naturales a través de la plantación de árboles ayuda a mitigar la generación de partículas, la contención de tolvaneras y a la conservación del suelo.

### **Descripción**

Promover la construcción y conservación de barreras forestales que contribuyan a la mitigación de partículas.

### **Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Identificación de áreas susceptibles para la construcción de barreras forestales							
Construcción de las barreras							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•							

### **Beneficios esperados**

Reducción de partículas, conservación de suelos y reducción de los daños a la salud de la población de la ZMVM.

### **Costo estimado**

100 millones de pesos.

## MEDIDA 73: RECUPERACIÓN DE SUELOS EROSIONADOS EN LA ZMVM.

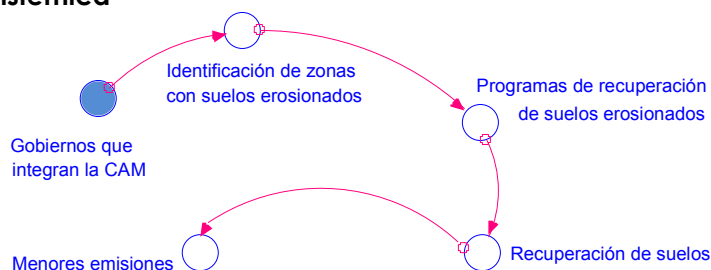
### **Acción 73.1. Realizar trabajos para la recuperación de suelos erosionados.**

#### **Objetivo**

Recuperación de suelos erosionados en la ZMVM, para mitigar la emisión de partículas suspendidas.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SEMARNAT y CONAGUA.

#### **Integración ecosistémica**



#### **Justificación**

Las emisiones de partículas suspendidas producidas por la erosión del suelo representan más del 70% de las emisiones para este contaminante, situación que lo ubica como un problema de atención prioritaria debido al impacto que éste significa en la salud de los habitantes de la ZMVM.

Una de las zonas de mayor contribución la aporta el vaso del ex-lago de Texcoco, por esta razón los trabajos de recuperación de esta zona que se iniciaron en los años 70, se deben continuar para evitar el arrastre y resuspensión de suelos.

#### **Descripción**

Fortalecer los trabajos que favorezcan la recuperación ambiental del ex-lago de Texcoco. Adicionalmente, los gobiernos que integran la CAM, deberán instrumentar acciones para la recuperación de suelos erosionados en la ZMVM.

#### **Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Diagnóstico, revisión y actualización de los programas							
Programa de recuperación ambiental del Ex-lago de Texcoco							
Aplicación de los programas							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•							

### Beneficios esperados

Evitar el arrastre de partículas suspendidas provocado por la erosión, aumentar la cobertura vegetal, disminuir el arrastre de azolve en redes de drenaje y mejorar la calidad del aire.

### Costo estimado

150 millones de pesos.

## MEDIDA 74: LIMPIEZA, PAVIMENTACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE VIALIDADES.

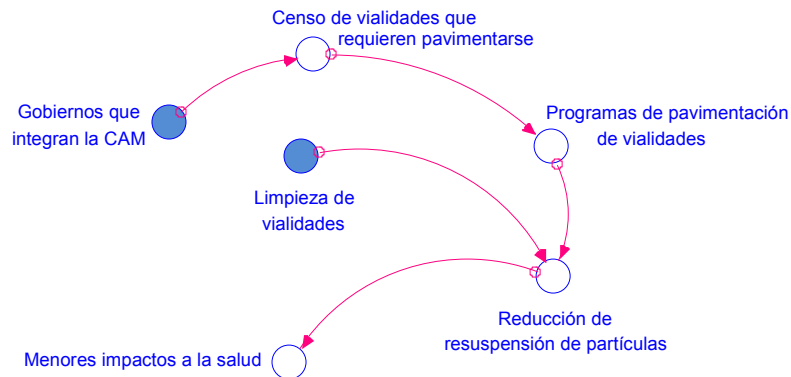
### Acción 74.1. Limpiar y pavimentar las vialidades que formen parte del área urbana.

#### Objetivo

Promover la limpieza y pavimentación de vialidades que carecen de asfalto o caminos urbanos de terracería de la ZMVM para evitar la resuspensión de partículas causada por acción del viento y el paso de los vehículos.

**Actores Responsables:** SOGDF, SEDURGEM, SCGEM, delegaciones y municipios.

#### Integración ecosistémica



#### Justificación

Algunas vialidades que funcionan como vías secundarias y terciarias de la ZMVM carecen de pavimento o presentan depósitos de polvo. El paso de los vehículos sobre éstas y la acción del viento contribuyen a la generación de partículas suspendidas.

En la ZMVM, de acuerdo con el inventario de emisiones 2008, parte de las partículas suspendidas provienen de vialidades y caminos de terracería, los cuales generan polvo.

#### Descripción

Promover programas y acciones de limpieza y pavimentación y/o estabilización de suelos para contribuir a la reducción de emisiones de partículas.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Limpieza de calles y avenidas							
Pavimentación y/o estabilización de vialidades							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•						•	

**Beneficios esperados**

Se estima que con la pavimentación de caminos, se dejarían de emitir alrededor de 11,459 toneladas de partículas PM<sub>10</sub> y 1,138 toneladas de PM<sub>2.5</sub>.

**Costo estimado**

Por definir.

**MEDIDA 75: FORTALECIMIENTO DE LA VIGILANCIA PARA LA APLICACIÓN DE LA NORMA DE QUEMA DE RESIDUOS AGRÍCOLAS.**

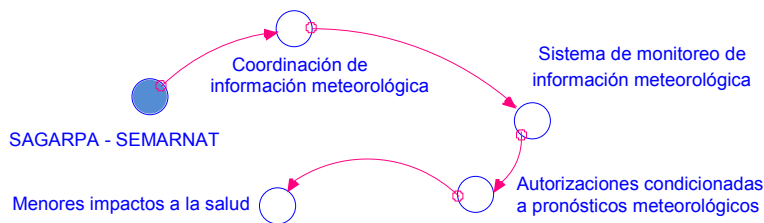
**Acción 75.1. Impulsar acciones para fortalecer la norma que regula las quemas agrícolas.**

**Objetivo**

Reducir la contaminación atmosférica generada por la quema de residuos agrícolas.

**Actores Responsables:** SEMARNAT, SAGARPA, SMAGDF, SMAGEM, SEDEREC y SEDAGRO.

**Integración ecosistémica**



**Justificación**

La quema de residuos agrícolas y de pastizales para la preparación de terrenos para la agricultura en la ZMVM, constituye una fuente importante de emisión de contaminantes al aire, de compuestos como el metano (CH<sub>4</sub>), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), hidrocarburos (HC) y partículas menores a 10 micras (PM<sub>10</sub>).

**Descripción**

Promover acciones para la aplicación adecuada de la NOM 015, que establece las especificaciones técnicas de métodos de uso del fuego en los terrenos forestales y de



uso agropecuario. Se deberá impulsar que los permisos para realizar las quemas agrícolas tomen en consideración los pronósticos meteorológicos, para identificar las condiciones adecuadas del lugar donde se tenga planeado realizar la quema.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Implementar acciones para fortalecer la aplicación de la norma							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

**Beneficios esperados**

Evitar la afectación por la generación de contaminantes que se emiten por la quema de residuos agrícolas y/o quema de pastizales.

**Costo estimado**

Gasto corriente.

**MEDIDA 76: ELABORACIÓN E INSTRUMENTACIÓN DE LOS PROGRAMAS DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO.**

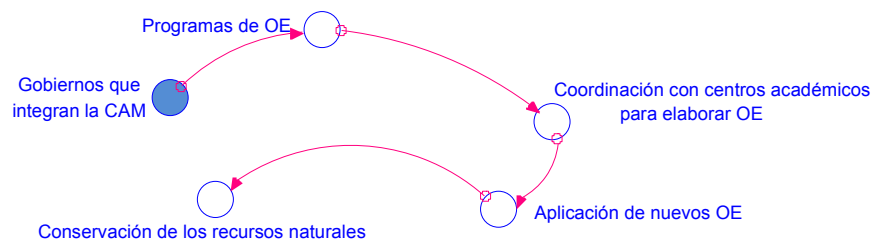
**Acción 76.1 Elaborar, actualizar e instrumentar los programas de ordenamiento ecológico.**

**Objetivo**

Consolidar a los ordenamientos ecológicos como una herramienta de planeación para preservar y recuperar áreas de valor ambiental, orientando el crecimiento urbano con una visión ecosistémica dentro de la complejidad de las diversas variables que inciden en la ZMVM.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SEMARNAT, delegaciones y municipios.

**Integración ecosistémica**



### Justificación

Un programa de ordenamiento ecológico permite el manejo sustentable de los recursos naturales, la protección de especies animales y la protección del suelo y la vegetación, con el fin de evitar la contribución de contaminación atmosférica que se genera por la erosión.

Es necesario lograr que los programas de ordenamiento ecológico incidan en la planeación urbana, así como en las actividades productivas de la ZMVM.

### Descripción

Impulsar la elaboración y actualización de los programas de ordenamiento ecológico.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Elaboración y actualización de programas de OE							
Instrumentación de los programas							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Contar con los ordenamientos ecológicos para la conservación de los recursos naturales.

### Costo estimado

50 millones de pesos.

## MEDIDA 77: NATURACIÓN DE AZOTEAS.

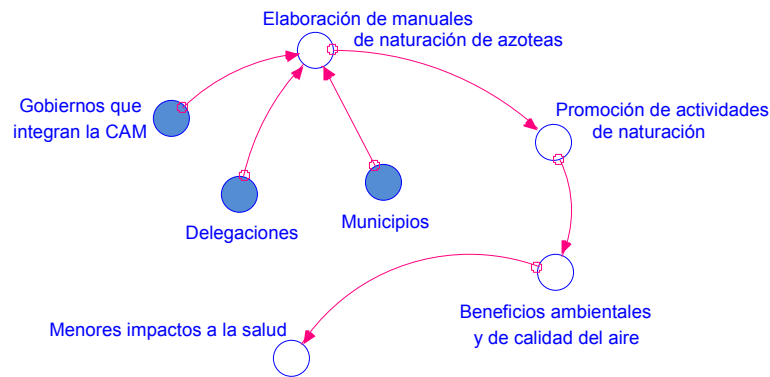
### Acción 77.1. Fomentar las actividades de naturación de azoteas en inmuebles públicos y privados.

#### Objetivo

Fomentar el aprovechamiento de la infraestructura inmobiliaria para crear áreas verdes en azoteas.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SEMARNAT, delegaciones y municipios.

## Integración ecosistémica



### Justificación

La naturación de azoteas y fachadas ayuda a regular la temperatura de los inmuebles y de las áreas urbanas, evitando el calentamiento, moderando los microclimas del entorno e incrementando la humedad, con lo que se disminuyen los efectos de las islas de calor. Asimismo, contribuyen en la captura de partículas suspendidas y funcionan como aislamiento acústico.

### Descripción

Promover acciones de naturación, mediante la difusión de manuales que contengan información sobre los beneficios de la naturación y los procedimientos recomendados.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Elaboración de manuales y procedimientos							
Difusión de manuales y procedimientos							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•						•	•

### Beneficios esperados

Contribuir a la reducción de emisiones de partículas suspendidas y al ahorro de energía.

### Costo estimado

5 millones de pesos.

## ESTRATEGIA 8: FORTALECIMIENTO INSTITUCIONAL E INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

**MEDIDA 78: FORTALECIMIENTO DE LOS INSTRUMENTOS DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE.**

**Acción 78.1. Actualizar los inventarios de emisiones.**

**Objetivo**

Actualizar los inventarios de emisiones de acuerdo a los nuevos hallazgos de la Zona Metropolitana del Valle de México.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM y SEMARNAT.

**Justificación**

Los inventarios de emisiones para la ZMVM han sido fundamentales en el diseño de las políticas públicas en materia de calidad del aire. La actualización de dichos inventarios se realiza cada dos años, lo cual los convierte en una herramienta que permite evaluar y definir las líneas de acción que se deben seguir en la gestión de la calidad del aire.

**Descripción**

Los inventarios de emisiones de contaminantes criterio, tóxicos y de gases de efecto invernadero, deberán integrar un mayor número de sustancias, actualizar y obtener nuevos factores de emisión locales y datos de actividad, atendiendo a las recomendaciones nacionales e internacionales y de estudios propios que se hayan realizado para la ZMVM.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Actualización y publicación de los inventarios de emisiones							
Actualización de factores de emisión							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•		•	•

**Beneficios esperados**

Contar con una herramienta actualizada para la toma de decisiones en materia de calidad del aire.

**Costo estimado**

50 millones de pesos.

**MEDIDA 79: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y FOMENTO DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA NECESARIA PARA AVANZAR EN EL CONOCIMIENTO DE LOS TEMAS RELACIONADOS CON EL MANEJO ECOSISTÉMICO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA ZMVM.**

**Acción 79.1. Elaborar un estudio que explore diversos esquemas de racionalización de la circulación vehicular.**

**Objetivo**

Evaluar la factibilidad técnica, los efectos económicos y los beneficios ambientales de diversos mecanismos de racionalización de la circulación vehicular en la ZMVM.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM y SEMARNAT.

**Justificación**

El HNC cumple una función importante para la renovación del parque vehicular y la regulación de sus emisiones en la ZMVM. Sin embargo, ante el crecimiento natural del parque vehicular, es necesario explorar y analizar los diversos mecanismos existentes para orientar y regular la movilidad de los vehículos. Actualmente la ZMVM presenta un crecimiento de aproximadamente 250 mil vehículos cada año, lo que representará que en el año 2020 podrá alcanzar la cifra de cerca de 7 millones de vehículos que circulen diariamente en la ZMVM.

**Descripción**

Realizar un estudio para evaluar diversos esquemas para la racionalización del uso del automóvil, considerando experiencias internacionales que propongan diseños y desarrollos tecnológicos para la regulación de emisiones por la circulación vehicular en la ZMVM.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Elaboración del estudio							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

**Beneficios esperados**

Contar con diversos instrumentos para regular la circulación vehicular y racionalización del uso del automóvil.

**Costo estimado**

5 millones de pesos.

**Acción 79.2. Investigar los efectos de la contaminación atmosférica en la salud de la población en la ZMVM.**

**Objetivo**

Ampliar y consolidar el conocimiento científico sobre los efectos de la contaminación atmosférica en la salud humana. Así como desarrollar estudios sobre efectos crónicos y agudos de los contaminantes criterio y de sustancias tóxicas.

**Actores responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SSA, COFEPRIS y SEMARNAT.

**Justificación**

La mayor parte de las investigaciones en salud ambiental sobre calidad del aire se han enfocado en el estudio de efectos agudos y de mortalidad extramuros para algunos contaminantes criterio. Par lo cual, se requiere realizar investigaciones sobre los efectos de la contaminación a largo plazo, estudios de morbilidad y, en algunos casos, investigación básica sobre otros contaminantes tales como los tóxicos en el aire ambiente y los compuestos de efecto invernadero.

Asimismo, se requiere incluir el efecto sinérgico de contaminantes no criterio (orgánicos, aromáticos, carbonílicos, aerosoles, etc.) y el análisis de las exposiciones globales a las que están sometidos los habitantes de la ZMVM; así como estudios de los efectos en la salud de poblaciones vulnerables ante la concentración de compuestos orgánicos volátiles y de los efectos del cambio climático. Por otra parte se requiere una revisión actualizada de los límites máximos permisibles de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, fracciones ultrafinas de partículas ("coarse"), compuestos orgánicos volátiles aromáticos, aerosoles y carbonílicos, entre otros.

**Descripción**

Conformar un comité de evaluación de proyectos de investigación para identificar temas prioritarios de investigación en: a) Valoración más amplia de los riesgos respiratorios, incluyendo contaminación intramuros, tabaquismo, exposición laboral, exposición a alérgenos, temperatura, clima e infecciones virales; b) Estudios comparativos de efectos en salud por contaminación atmosférica entre diferentes ciudades; c) Conformación de una cohorte control en la ZMVM.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Formación de un comité de evaluación							
Estudio de valoración de los riesgos respiratorios y cardiovasculares que tienen algunos contaminantes ambientales en la salud de la población							
Revisión de estudios comparativos entre diferentes ciudades							
Diseño de una cohorte control en la cuenca del Valle de México							
Estandarización de métodos de medición de contaminantes y vigilancia de los sujetos							
Evaluación de efectos a la salud por la exposición a contaminantes tóxicos							
Evaluación de efectos a la salud por la exposición de mezclas de contaminantes tóxicos							
Investigación de poblaciones en riesgo a los efectos adversos mediante genotipificaciones							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

#### Beneficios esperados

Contar con información actualizada sobre los impactos de la contaminación atmosférica en la salud de la población de la ZMVM.

#### Costo estimado

30 millones de pesos.

### **Acción 79.3. Realizar estudios de especiación de partículas para identificar sus posibles fuentes de emisión (antimonio, biopartículas, entre otros).**

#### Objetivo

Realizar estudios de especiación de partículas en la ZMVM, para proponer medidas y estrategias que permitan mejorar la calidad del aire.

**Actores responsables:** SSA, COFEPRIS, SEMARNAT, SMAGDF y SMAGEM.

#### Justificación

Los estudios desarrollados en los últimos años en la ZMVM, muestran una clara asociación entre la exposición de la población a partículas e incrementos de indicadores de morbilidad y mortalidad.

#### Descripción

Elaborar estudios de especiación de partículas para identificar su composición, las fuentes de origen y los efectos potenciales que tienen sobre la salud, con especial énfasis en partículas PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>.

#### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Elaboración de estudios de especiación de partículas							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•			•	•		•	

#### Beneficios esperados

Disminuir los efectos en salud por la exposición a altas concentraciones de partículas suspendidas.

#### Costo estimado

6 millones de pesos.

**Acción 79.4. Desarrollar una herramienta que permita construir escenarios para evaluar los efectos de reestructurar áreas de la ZMVM para la reducción de emisiones GEI.**

**Objetivo**

Contar con una herramienta que permita evaluar los efectos de la modificación de áreas urbanas como pivote en la reducción de emisiones GEI.

**Actores responsables:** SMAGDF, SMAGEM y SEMARNAT.

**Justificación**

Las emisiones de GEI generadas dentro de la ZMVM, han sido un tema de interés de la comunidad científica y de los gobiernos que integran la CAM, pues estas se han incrementado y su impacto tanto en el medio ambiente como en la población no ha sido aún evaluado. A partir del enfoque ecosistémico de la gestión de la calidad del aire, surge la idea de evaluar el potencial en la modificación de áreas urbanas que provoque una disminución significativa de los viajes cotidianos, del consumo de combustibles y por lo tanto de emisiones multicontaminantes.

**Descripción**

Realizar el estudio que permita modelar diferentes escenarios sobre modificaciones de la estructura urbana para evaluar el potencial sobre las reducciones de GEI.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Realización del estudio							
Análisis de escenarios							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

**Beneficios esperados**

Contar con una herramienta para el diseño de políticas públicas que contribuyan al mejoramiento de la calidad del aire y mitigación de los gases de efecto invernadero.

**Costo estimado**

5 millones de pesos.

**Acción 79.5. Instalar un laboratorio metropolitano de fuentes móviles.**

**Objetivo**

Instalación de un laboratorio metropolitano para fuentes móviles.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SEMARNAT e Instituciones académicas.



### Justificación

De acuerdo con los inventarios de emisiones, alrededor del 80% de las emisiones que se generan en la ZMVM proviene de los vehículos automotores en circulación, por tal motivo es necesario que se establezca un laboratorio donde periódicamente se pueda evaluar los diferentes tipos de vehículos que circulan en la ZMVM, con el propósito de conocer con detalle las emisiones y la caracterización y composición de las mismas.

### Descripción

Promover la instalación de un laboratorio de medición de las emisiones vehiculares.

### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Gestiones para la instalación del laboratorio							
Operación del laboratorio							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

### Beneficios esperados

Contar con un laboratorio que permita certificar las tecnologías vehiculares que se comercialicen en la ZMVM.

### Costo estimado

100 millones de pesos.

### **Acción 79.6. Realizar estudios sobre la dinámica y química atmosférica de la ZMVM.**

#### Objetivo

Profundizar en el conocimiento científico de los elementos que intervienen en la formación y comportamiento de los contaminantes en la atmósfera de la ZMVM.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SEMARNAT y centros de investigación.

#### Justificación

En los últimos diez años, estudios científicos han permitido entender con mayor profundidad la importancia de regular nuevos compuestos químicos presentes en la atmósfera de la ZMVM. A la luz de los resultados obtenidos se considera fundamental continuar fomentando investigaciones en esta materia.

#### Descripción

Realizar estudios estratégicos sobre el origen de los contaminantes del aire, formación de contaminantes secundarios (gases y partículas), reactividad y toxicidad de contaminantes, modelos de simulación de calidad del aire, etc. Se integrará una cartera de proyectos a partir de la consulta con expertos y científicos de instituciones nacionales e internacionales.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Cartera de proyectos							
Realización de estudios							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

**Beneficios esperados**

Contar con información científica adicional para el diseño de nuevas políticas públicas en el mejoramiento de la calidad del aire.

**Costo estimado**

60 millones de pesos.

**Acción 79.7. Realizar estudios para establecer indicadores de movilidad vehicular sustentable en la ZMVM.****Objetivo**

Contar con un sistema de indicadores de movilidad sustentable que sirva de referencia para el establecimiento de medidas y acciones para mejorar la velocidad promedio de la circulación vehicular en la ZMVM.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM y SEMARNAT.

**Justificación**

Estudios relacionados con el congestionamiento vehicular indican que la velocidad promedio de circulación ha ido disminuyendo con los años, ocasionando que el espacio vial de circulación se vea reducido hasta en más del 60%. Los costos sociales y ambientales derivados de esta situación son por lo tanto cada vez más altos.

**Descripción**

Realizar estudios para evaluar los efectos del crecimiento de la flota vehicular y su impacto en la reducción de las velocidades de circulación promedio, así como su implicación en las emisiones contaminantes. Asimismo, se deberá cuantificar la capacidad del sistema vial de la ZMVM.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Elaboración de los estudios							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

**Beneficios esperados**

Contar con una herramienta que permita medir la capacidad del sistema vial de la ZMVM.

**Costo estimado**

5 millones de pesos.

**Acción 79.8. Elaborar un estudio para identificar los efectos de la contaminación atmosférica en la vegetación forestal y cultivos agrícolas.**

**Objetivo**

Identificar los daños ocasionados por la contaminación atmosférica en las especies forestales y los cultivos agrícolas de la ZMVM.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM e Instituciones de investigación.

**Justificación**

La ZMVM cuenta con una amplia superficie forestal donde se desarrollan en forma natural una gran diversidad de especies forestales. Además se tiene una superficie utilizada para la siembra de cultivos agrícolas. Sin embargo son pocos los estudios que se han desarrollado en la ZMVM para evaluar los daños que puede causar la contaminación atmosférica sobre la vegetación y los cultivos.

Los estudios realizados en esta zona indican que los ecosistemas forestales naturales y los inducidos que reciben el impacto producido por el ozono, presentan daños, en el follaje como clorosis y la pérdida del mismo, el retardo en el engrosamiento y desarrollo de los tallos y en ocasiones la muerte de la planta.

**Descripción**

Se promoverá el desarrollo de nuevos estudios que permitan conocer con mayor profundidad los posibles daños en la vegetación causados por los contaminantes atmosféricos; adicionalmente se utilizarán técnicas de biomonitoreo con el fin de observar tendencias de impactos sobre la biodiversidad en los bosques de la ZMVM.

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Elaboración del estudio							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•		

**Beneficios esperados**

Incrementar el conocimiento de los daños asociados de contaminación del aire sobre la vegetación nativa e inducida de la ZMVM.

**Costo estimado**

6 millones de pesos.

## MEDIDA 80: FORTALECIMIENTO INSTITUCIONAL DE LA CAM.

### Acción 80.1. Fortalecer el trabajo institucional de la Comisión Ambiental Metropolitana.

#### Objetivo

Integrar al trabajo de la Comisión Ambiental Metropolitana, una visión ecosistémica del funcionamiento de la ZMVM.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM y SEMARNAT.

#### Justificación

La CAM desde su creación ha concentrado principalmente su labor en la solución de la problemática de la calidad del aire. Sin embargo, la diversidad de la problemática ambiental demanda ampliar la actuación de esta Comisión Metropolitana en otros temas ambientales con la misma fortaleza como hasta ahora se ha empeñado en la solución de la contaminación del aire.

#### Descripción

Integrar a los trabajos de la CAM otros temas ambientales que permita establecer una agenda de sustentabilidad ambiental de la ZMVM.

#### Calendario propuesto de ejecución

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Elaboración del proyecto							
Ampliación de los temas en la agenda de la CAM							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

#### Beneficios esperados

Potencializar el esquema de coordinación metropolitana para atender diversos temas ambientales establecidos en una agenda de sustentabilidad.

#### Costo estimado

Gasto corriente.

**MEDIDA 81: REACTIVACIÓN DEL FIDEICOMISO AMBIENTAL DEL VALLE DE MÉXICO (FIDAM).**

**Acción 81.1. Restablecer un mecanismo que alimente de recursos financieros para la implementación de las medidas del PROAIRE (Fideicomiso 1490-FIDAM).**

**Objetivo**

Contar con una fuente de financiamiento que aporte los recursos para la implementación de las medidas establecidas en el PROAIRE 2011-2020 de la ZMVM.

**Actores Responsables:** SMAGDF, SMAGEM, SEMARNAT y SHCP.

**Justificación**

El FIDAM ha sido una fuente importante de financiamiento para proyectos que han generado beneficios ambientales a la ZMVM. Los retos institucionales para continuar mejorando la calidad del aire, requieren de fuentes de financiamiento para llevar a cabo las acciones que permitan abatir los niveles de contaminación del aire.

Los análisis de costo-beneficio demuestran que se alcanzan mejores resultados en la prevención de efectos en salud, que atender las enfermedades asociadas a la exposición de la población a los contaminantes del aire.

**Descripción**

Realizar las gestiones necesarias para dotar de recursos económicos al Fideicomiso Ambiental del Valle de México (Fideicomiso 1490-FIDAM).

**Calendario propuesto de ejecución**

Actividad	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017-2020
Gestiones para reactivar FIDAM							
Aplicación de los recursos							

Contaminantes involucrados								
PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	O <sub>3</sub>	Tóxicos	GEI
•	•	•	•	•	•	•	•	•

**Beneficios esperados**

Mantener un esquema de financiamiento para implementar las medidas del PROAIRE.

**Costo estimado**

Gasto corriente.

### 8.1 Estimación de los costos de implementación de las acciones que se proponen en el Programa para Mejorar la Calidad del Aire en la ZMVM (2011-2020)

Con el propósito de tener una estimación aproximada del costo de implementación de las acciones propuestas en el PROAIRE 2011-2020, se realizó un ejercicio en el que se estimaron los costos por acción, indicando para cada caso si los recursos provendrán del sector público o del sector privado. El costo total se estima en más de 54 mil millones de pesos, de los cuales 26,625 millones corresponden a recursos de los gobiernos del Distrito Federal y del Estado de México, así como del Gobierno Federal, y 27,765 millones serán recursos privados. Adicionalmente, se realizó un cálculo estimado de la reducción de emisiones derivada de aquellas acciones para las que fue posible realizarlo. En la siguiente tabla se presentan los costos estimados, así como el cálculo de la reducción esperada de emisiones, agrupados por estrategia.

**Tabla 8.2 Reducción esperada de emisiones y costo estimado de las acciones propuestas en el PROAIRE 2011-2020 por estrategia**

ESTRATEGIAS	REDUCCIÓN ESPERADA DE EMISIONES (TON/AÑO)							COSTO ESTIMADO (MILLONES DE PESOS)		
	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	TÓXICOS	CO <sub>2</sub>	PRIVADO	PÚBLICO	TOTAL
1	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NA	101	101
2	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NA	83	83
3	1,069	857	180,242	20,071	17,134	2,812	2'407,411	16,934	6,895	23,829
4	852	668	153,844	13,101	12,666	2,597	2'123,888	8,400	16,233	24,633
5	1,637	29	76	577	93,187	0	977,995	2,431	1,081	3,512
6	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NA	100	100
7	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NA	1,865	1,865
8	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NA	267	267
<b>TOTAL</b>	<b>3,558</b>	<b>1,554</b>	<b>334,162</b>	<b>33,749</b>	<b>122,987</b>	<b>5,409</b>	<b>5'509,294</b>	<b>27,765</b>	<b>26,625</b>	<b>54,390</b>

NA: No es aplicable; NE: No estimado

### 8.2. Seguimiento y Evaluación del Programa

Como parte del proceso integral de gestión de la calidad del aire planteado en este programa, se propone mantener un esquema de seguimiento permanente y la realización de evaluaciones anuales, para lo cual se conformarán grupos temáticos de trabajo. Las tareas de seguimiento y evaluación ofrecerán elementos para proponer ajustes y emitir recomendaciones de política pública que ayuden a conducir de la mejor manera posible la gestión de la calidad del aire en la ZMVM.

Las labores de seguimiento y evaluación permitirán asimismo que la Comisión Ambiental Metropolitana pueda conocer de manera clara los avances que se tienen en la aplicación de cada una de las acciones propuestas en el programa, con el propósito de incorporar nuevas acciones o cancelar aquellas que no hayan generado los beneficios esperados.







---

# Bibliografía

---



Abbey, D. E., F. Petersen, et al. (1993), "Long-term ambient concentrations of total suspended particulates, ozone, and sulfur dioxide and respiratory symptoms in a nonsmoking population", *Arch Environ Health* 48(1): 33-46.

Abbey, D., M. Lebowitz, et al. (1995), "Long-term ambient concentrations of particulates and oxidants and development of chronic disease in a cohort of nonsmoking California residents", *Inhal. Toxicol* 7: 19-34.

Air Quality in Ontario 2008, Report. Ontario (2009), Canada.

Ambien, (2008), Programa de Sustentabilidad del Transporte de la Ciudad de México: Informe Final, Introducción de Medidas Ambientalmente Amigables en Transporte, GDF.

American Association for the Advancement of Science (1991), "Air conservation", EE.UU.

American Lung Association (2009), "State of the air".

Anderson, H. R., A. Ponce de León, et al. (1996), "Air pollution and daily mortality in London: 1987-92", *BMJ* 312(7032): 665-9.

APHEIS (2002), "Health impact assessment of air pollution in 26 european cities. Second year Report", Unión Europea, Air Pollution and Health: A European Information System: 225.

Arden Pope, III, C., Majid Ezzati, Douglas W. Dockery. (2009), "Fine-Particulate air pollution and life expectancy in the United States", *Sc.D.N Engl J Med*; 360:376-38.

Asia Pacific Energy Research Centre (2007), "Urban transport energy use in the APEC region", disponible en:  
[http://www.ieej.or.jp/aperc/2007pdf/2007\\_Reports/APERC\\_2007\\_Urban\\_Transport.pdf](http://www.ieej.or.jp/aperc/2007pdf/2007_Reports/APERC_2007_Urban_Transport.pdf)

Australian Bureau of Statistics (2004), "Survey of motor use", disponible en:  
<http://www.abs.gov.au/AUSSTATS/abs@.nsf/allprimarymainfeatures/2FEC26084579A43BCA2571E1001E7F28?opendocument>

Badoe, Daniel A. and Miller, Eric J. (2000), "Transportation—land-use interaction: empirical findings in North America and their implications for modeling", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Volume 5, Issue 4, July 2000, Pages 235-263.

Balam-Almanza, Marco V. (2009), "Determinación de Factores de Emisión en Transporte de Carga de la Ciudad de México".

Banco Mundial, "Motor vehicles (per 1,000 people)", disponible en:  
<http://data.worldbank.org/indicator/IS.VEH.NVEH.P3>

Banco Mundial, "Transport sector gasoline fuel consumption per capita", disponible en:  
<http://data.worldbank.org/indicator/IS.ROD.SGAS.PC/countries/1W?display=graph>

Bangkok Metropolitan Administration.  
Disponible en: <http://www.bangkok.go.th/en/bt-geography.php>

Barraza-Villarreal, A., J. Sunyer, et al. (2008), "Air pollution, airway inflammation, and lung function in a cohort study of Mexico City schoolchildren", *Environ Health Perspect* 116(6): 832-8.

Bauer L.I., Krupa S.V. (1990), "The valley of Mexico: Summary of Observational Studies on its air quality and effects on vegetation", *Environmental Pollution* 65, 109-118.

Baumgardner D., Raga G.B., Grutter M., Lammel G., Moya M. (2006), "Evolution of anthropogenic aerosols in the coastal town of Salina Cruz, Mexico: Part II particulate phase chemistry", *Original Research Article, Science of The Total Environment*, Volume 372, Issue 1, 15 December 2006, Pages 287-298.

Baumgardner, D., Ochoa, C., Varela, S. and Escobedo Montoya, F.J. (2009), "Evaluación del impacto potencial de la contaminación en el ecosistema del Parque Nacional Iztapalapa Zoquiapan".

Bell M.L., O'Neill M.S., Ranjit N., Borja-Aburto V.H., Cifuentes L.A., Gouveia N.C. (2008), "Vulnerability to heat-related mortality in Latin America: a case-crossover study in Sao Paulo, Brazil, Santiago, Chile and Mexico City, Mexico", *Int .J. Epidemiol.* 2008 Aug; 37(4): 796-804. Epub 2008 May 29.

Bell, M. L., A. McDermott, et al. (2004), "Ozone and short-term mortality in 95 US urban communities, 1987-2000", *Jama* 292(19): 2372-8.

Bell, M. L., D. L. Davis, et al. (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.

Bell, M. L., F. Dominici, et al. (2005), "A meta-analysis of time-series studies of ozone and mortality with comparison to the national morbidity, mortality, and air pollution study", *Epidemiology* 16(4): 436-45.

Bellagio declaration on transportation and climate change, (2009), consultado en: <http://transporte-tsp.blogspot.com/2009/07/bellagio-declaration-on-transportation.html>

Bergin M.H., Greenwald R., Xu J., Berta Y., Chameides W.L. (2001), "Influence of aerosol dry deposition on photosynthetically active available radiation to plants", *Geophys. Res. Lett.* 28, 3605-3608.

Berntsen T.K., Karlsdottir S., Jaffe D.A., (1999), "Influence of Asian emissions on the composition of air reaching the Northwestern United States", *Geophys. Res. Lett.*, 2171-2174.

Bickerstaff, K., Simmons, P., Pidgeon, N., "Constructing responsibilities for risk: negotiating citizen - state relationships", *Environment and Planning A* 2008, volume 40, pages 1312 - 1330.

Block M.L., Calderón-Garcidueñas L. (2009), "Air pollution: mechanisms of neuroinflammation and CNS disease", *Trends Neurosci.* 2009 Sep;32(9):506-16. Epub 2009 Aug 26.

Boarnet, Marlon and Crane Randall (2001), "The influence of land use on travel behavior: specification and estimation strategies", *Transportation Research*.

Bobak, M. and D. A. Leon (1992), "Air pollution and infant mortality in the Czech Republic, 1986-88", *Lancet* 340(8826): 1010-4.

Borja, Aburto, V. H., J. A. Rosales Castillo, et al., Eds. (2000). *Evaluation of Health Effects of Pollution*. Paris, Organization for Economic Co-operation and Development.

Borja-Aburto, V. H., D. P. Loomis, et al. (1997). "Ozone, suspended particulates, and daily mortality in Mexico City." *Am J Epidemiol* 145(3): 258-68.

Borja-Aburto, V. H., M. Castillejos, et al. (1998). "Mortality and ambient fine particles in southwest Mexico City, 1993-1995", *Environ Health Perspect* 106(12): 849-55.

Burnett, Pat (2008), "Variable decision strategies, rational choice, and situation-related travel demand", *Environment and Planning*.

Calderón-Garcidueñas L., Franco-Lira M., Henríquez-Roldán C., Osnaya N., González-Maciél A., Reynoso-Robles R., Villarreal-Calderon R., Herritt L., Brooks D., Keefe S., Palacios-Moreno J., Villarreal-Calderon R., Torres-Jardón R., Medina-Cortina H., Delgado-Chávez R., Aiello-Mora M., Maronpot R.R., Doty R.L. (2009), "Urban air pollution: influences on olfactory function and pathology in exposed children and young adults", *Exp Toxicol Pathol*. 2010 Jan; 62(1): 91-102. Epub 2009 Mar 17.

Calderón-Garcidueñas L., Franco-Lira M., Torres-Jardón R., Henríquez-Roldán C., Barragán-Mejía G., Valencia-Salazar G., González-Maciél A., Reynoso-Robles R., Villarreal-Calderón R., Reed W. (2007), "Pediatric respiratory and systemic effects of chronic air pollution exposure: nose, lung, heart, and brain pathology", *Toxicol Pathol*. 2007; 35(1): 154-62.

Calderón-Garcidueñas L., Macías-Parra M., Hoffmann H.J., Valencia-Salazar G., Henríquez-Roldán C., Osnaya N., Monte O.C., Barragán-Mejía G., Villarreal-Calderon R., Romero L., Granada-Macías M., Torres-Jardón R., Medina-Cortina H., Maronpot R.R. (2009), "Immunotoxicity and environment: immunodysregulation and systemic inflammation in children", *Toxicol Pathol*. 2009; 37(2): 161-9. Epub 2009 Jan 26.

Calderón-Garcidueñas L., Mora-Tiscareño A., Ontiveros E., Gómez-Garza G., Barragán-Mejía G., Broadway J., Chapman S., Valencia-Salazar G., Jewells V., Maronpot R.R., Henríquez-Roldán C., Pérez-Guillé B., Torres-Jardón R., Herritt L., Brooks D., Osnaya-Brizuela N., Monroy M.E., González-Maciél A., Reynoso-Robles R., Villarreal-Calderon R., Solt A.C., Engle R.W. (2008) "Air pollution, cognitive deficits and brain abnormalities: a pilot study with children and dogs", *Brain Cogn*. 2008 Nov; 68(2): 117-27. Epub 2008 Jun 11.

Calderón-Garcidueñas L., Solt A.C., Henríquez-Roldán C., Torres-Jardón R., Nuse B., Herritt L., Villarreal-Calderón R., Osnaya N., Stone I., García R., Brooks D.M., González-Maciél A., Reynoso-Robles R., Delgado-Chávez R., Reed W. (2008), "Long-term air pollution exposure is associated with neuroinflammation, an altered innate immune response, disruption of the blood-brain barrier, ultrafine particulate deposition, and accumulation of amyloid beta-42 and alpha-synuclein in children and young adults", *Toxicol Pathol*. 2008;36(2):289-310. Epub 2008 Mar 18.

Calderón-Garcidueñas L., Villarreal-Calderon R., Valencia-Salazar G., Henríquez-Roldán C., Gutiérrez-Castrellón P., Torres-Jardón R., Osnaya-Brizuela N., Romero L., Torres-Jardón R., Solt A., Reed W. (2008), "Systemic inflammation, endothelial dysfunction, and activation in clinically healthy children exposed to air pollutants", *Inhal Toxicol*. 2008 Mar; 20(5):499-506.

Cambridge Systematics, Inc. (2005), "Traffic congestion and reliability: Trends and advanced strategies for congestion mitigation".

Carbajal-Arroyo, L., M. Medina-Ramon, et al. (Por publicar), "Effect of PM10 on infant mortality among residents of the Mexico City Metropolitan Area. A case crossover analysis, 1997-2005".

Cárdenas M., Vallejo M., Romano-Riquer P., Ruiz-Velasco S., Ferreira-Vidal A.D., Hermsillo A.G. (2008), "Personal exposure to PM2.5 air pollution and heart rate variability in subjects with positive or negative head-up tilt test", *Environ Res.* 2008 Sep; 108(1): 1-6. Epub 2008.

Caricchia A. M., Chiavarini S., Pezza M. (1999). Polycyclic aromatic hydrocarbons in the urban atmosphere particulate matter in the city of Naples (Italy), *Atmospheric Environment*, 33, 3731-3738.

Castellano V., López J., Santana P., Santana J. (2003). Polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air particles in the city of Las Palmas Gran Canaria, *Environment International*. 29, 475-480.

Castillejos S., Margarita (2009), "Situación de la investigación en salud y contaminación atmosférica en México".

Catalán, M., Riojas-Rodríguez, H., Jarillo, E., Delgadillo, H. (2009), "Percepción del riesgo a la salud por contaminación del aire en adolescentes de la Ciudad de México", *Salud Pública de México*; 51(2): 148-154.

Catalán, M., Rojas, M. Pérez, J.( 2001), "La percepción que tiene la población adulta del Distrito Federal sobre la contaminación del aire. Estudio descriptivo", *Rev. Instituto Nal. Enf. Resp., México*, 14: 220-223.

Census and Statistics Department of Hong Kong, "2006 Population by Census", disponible en: [http://www.byccensus2006.gov.hk/en/data/data3/statistical\\_tables/index.htm#A2](http://www.byccensus2006.gov.hk/en/data/data3/statistical_tables/index.htm#A2)

Census of Population and Housing 2000, National Statistics Office of Philippines, disponible en: [http://www.census.gov.ph/census2000/c2kfinal\\_tbl.html](http://www.census.gov.ph/census2000/c2kfinal_tbl.html)

Centro Mario Molina (2006), "Elaboración de políticas y estrategias para la contaminación orientadas al mejoramiento de la calidad de aire de la ZMVM", D.F., México.

Centro Mario Molina (2007), "Caracterización de los contaminantes atmosféricos de la ZMVM durante la campaña MCCM-2006", D.F., México.

Centro Mario Molina (2008), "Low-Carbon Growth: A Potential Path for México".

Cesar, H. G., M. Schadler, et al. (2002), "Air pollution abatement in Mexico City: an economic valuation World Bank report.

Chow, J.C. Watson, J. G., Edgerton, S. A.; Vega, E. (2002), "Chemical composition of PM2.5 and PM10 in Mexico City during winter 1997", *The Science of the Total Environment*, Vol.287,Núm. 3, pp. 177-201).

City Mayors Foundation, <http://www.citymayors.com>

Colegio de México, Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales (2000), "Estudio urbano, socioeconómico de los corredores de transporte público en 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", D.F., México.

Comisión Ambiental Metropolitana (2004), "Comunicación educativa ambiental en la cuenca de México. Hacia la construcción de una política", D.F., México.

Comisión Ambiental Metropolitana (2004), "Primer Informe del Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010", D.F., México.

Comisión Ambiental Metropolitana, Ecología y Finanzas Consultores (2004), "Proyecto para el diseño de alternativas de financiamiento e instrumentación integral de 47 medidas del Proaire", D.F., México.

Comisión Ambiental Metropolitana, Instituto de Ingeniería de la UNAM (2006), "Estudio Integral Metropolitano de Transporte de Carga y Medio Ambiente para el Valle de México, D.F., México.

Comisión Ambiental Metropolitana (2008), "Acuerdo de colaboración para realizar las acciones necesarias para implementar siete medidas metropolitanas dirigidas al mejoramiento de la calidad del aire en el Valle de México".

Comisión de Derechos Humanos del Distrito Federal (2008), "Informe especial sobre el derecho humano a un medio ambiente sano y la calidad del aire en la ciudad de México".

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2003), "Contaminación atmosférica y conciencia ciudadana", Compiladora Daniela Simioni, Chile.

Commission for Integrated Transport of United Kingdom (2005), "World Cities Research", disponible en:  
<http://cfit.independent.gov.uk/pubs/2005/worldcities/worldcities/pdf/worldcitiesfinalreport.pdf>

Committee for International Cooperation in National Research in Demography Policy Paper (2007), "Urban population, development and environment dynamics".

Comunidades Europeas (2008), "La economía de los ecosistemas y la biodiversidad".

Consejo Nacional de Población (CONAPO) (2007), "Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2005".

Coordinación de Uso Eficiente de Energía del Gobierno del Distrito Federal (2009), "Plan de Acción para el Ahorro y Uso Eficiente de Energía".

Coralie Cooper, C., Kamakaté, F., Reinhardt, T., and Wilson R. (2009), "Reducing: Heavy-Duty Vehicle Fuel Consumption and Greenhouse Gas Emissions", Air & Waste Management Association.

Cortez-Lugo, M., H. Moreno-Macias, et al. (2008), "Relationship between indoor, outdoor, and personal fine particle concentrations for individuals with COPD and predictors of indoor- outdoor ratio in Mexico city", J Expo Sci Environ Epidemiol 18(1): 109-15.

Curtis, L., W. Rea, et al. (2006), "Adverse health effects of outdoor air pollutants", Environ Int 32(6): 815-30.

Dannenberg, A. L., R. Bhatia, et al. (2008). "Use of health impact assessment in the U.S.: 27 case studies, 1999-2007." *Am J Prev Med* 34(3): 241-56.

De Almeida Castanho, A.D., Prinn, R., Martins, V., Herold, M., Ichoku, C. and Molina, L.T. (2007), "Analysis of Visible/SWIR surface reflectance ratios for aerosol retrievals from satellite in Mexico City urban area".

De la Isla de Bauer, Maria de Lourdes (2009), "Third MILAGRO-Mex meeting atmospheric chemistry, health and ecological studies of Mexico City and the surrounding areas: Biomonitoring studies in the Valley of Mexico".

Delfino, R. J., A. M. Murphy-Moulton, et al. (1997), "Effects of air pollution on emergency room visits for respiratory illnesses in Montreal, Quebec", *Am. J. Respir. Crit. Care Med*, 155(2): 568-76.

Demographia (2002), "Gross domestic product (GDP-PPP) estimates for metropolitan regions in Western Europe, North America, Japan and Australia", disponible en: <http://www.demographia.com/db-gdp-metro.pdf>

Dentener F., Peters W., Krol M., van Weele M., Bergamaschi P., Lelieveld, J. (2003), "Interannual variability and trend of CH<sub>4</sub> lifetime measure for OH changes in the 1979-1993 time period", *J. Geophys. Res.* 108, 4442-4453.

Departamento del Distrito Federal (1990), "Programa Integral contra la Contaminación Atmosférica. Un compromiso común", D.D.F., México.

Departamento del Distrito Federal, Gobierno del Estado de México, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Secretaría de Salud (1996), "Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 1995-2000".

DGCENICA/INE/SEMARNAT (2006).Informe Final. "Monitoreo y Evaluación de las Concentraciones de Compuestos Orgánicos Volátiles en la Zona Metropolitana del Valle de México".

Dirección General de Gestión Ambiental del Aire de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, (2001), "Agenda de trabajo 2001-2006", D.F., México.

Division of the Department of Economic and Social Affairs de la Secretaría de Naciones Unidas, "World Population Prospects: The 2006 Revision and World Urbanization Prospects", disponible en: <http://esa.un.org/unup>

Dockery, D. W., C. A. Pope, 3rd, et al. (1993). "An association between air pollution and mortality in six U.S. cities", *N Engl J Med* 329(24): 1753-9.

Dockery, D. W., F. E. Speizer, et al. (1989). "Effects of inhalable particles on respiratory health of children", *Am Rev Respir Dis* 139(3): 587-94.

Don, Wolf (2009), "Mercury control challenge for industrial boiler MACT affected facilities", *Air & Waste Management Association*.

Donoso, P., Martinez, F. and Zegras, C. (2006), "The Kyoto Protocol and sustainable cities: The potential use of the clean development mechanism in structuring cities for "Carbon-Efficient" transport", *Transportation Research Record*.



Doran, J.C., Barnard, J.C., Arnott, W.P., Cary, R., Coulter, R., Fast, J.D., Kassianov, E.I., Kleinman, L., Laulainen, N.S., Martin, T., Paredes-Miranda, G., Pekour, M.S., Shaw, W.J., Smith, D.F., Springston, S.R. and X.-Y. Yu (2007), "The T1-T2 study: evolution of aerosol properties downwind of Mexico City".

Dunn, Jennifer (2009), "Reducing transportation sector greenhouse gas emissions case studies in operational strategies", J. Air & Waste Manage. Assoc.

Economics Research Associates (2009), "Central Portland retail research and analysis study", Portland (Or.), Bureau of Planning.

Edwards D.P., Lamarque J.F., Attie J.L., Emmons L.K., Richter A., Cammas J.P., Gille J.C., Francis G.L., Deeter M.N., Warner J., Ziskin D.C., Lyjak L.V., Drummond J.R., Burrows J.P., (2003) "Tropospheric ozone over the Tropical Atlantic: A satellite perspective", J. Geophys., 108, 4237-4258.

Efthimios Tagaris, Kuo-Jen Liao, Kasemsan Manomaiphiboon, Armistead G. Russell, Shan He, Jung-Hun Woo, Praveen Amar, L. Ruby Leung (2008), "The role of emission changes in future air quality over US".

EPA and National Ambient Air Quality Standards (2009), "Fact sheet proposed revisions to the national ambient air quality standards for nitrogen dioxide: summary of action", EPA.

Escamilla-Nuñez M.C., Barraza-Villarreal A., Hernandez-Cadena L., Moreno-Macias H., Ramirez-Aguilar M., Sienra-Monge J.J., Cortez-Lugo M., Texcalac J.L., del Rio-Navarro B., Romieu I. (2008), "Traffic-related air pollution and respiratory symptoms among asthmatic children, resident in Mexico City: the EVA cohort study", Respir. Res. 2008 Nov 16; 9: 74.

ETEISA (2007), "Análisis de prefactibilidad técnica de los corredores de transporte periférico, Arco Sur". GDF.

ETEISA (2007), "Diagnóstico de la situación actual del transporte público en el corredor estratégico Eje Central informe final". GDF.

ETEISA (2007), "Diagnóstico de la situación actual del transporte público en el corredor estratégico Eje 4 Sur". GDF.

ETEISA (2007), "Diagnóstico de la situación actual del transporte público en el corredor estratégico Eje Central". GDF.

ETEISA (2007), "Estudio para el reordenamiento del transporte público en la zona de San Ángel: Diagnóstico de la situación actual y mejoras a la operación de tránsito y transporte". GDF.

European Environment Agency, Technical (2006), "Air quality and ancillary benefits of climate change policies", Technical Report, 4/2006.

Evans, J., A. Fernández-Bremauntz, et al. (2003), "Introducción al análisis de riesgos ambientales", Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), D.F., México.

Evans, J., J. Levy, et al. (2002). "Health benefits of air pollution control. Air quality in the Mexico Megacity. An integrated assessment", Kluwer Academic Publishers, Netherlands.

Evans, J., J. Spengler, et al. (2000), "Contaminación atmosférica y salud humana en la Ciudad de México", MIT-IPURGAP Report N° 10: 109.

Federal Ministry for Economic Cooperation and Development, (2008), "Common policy framework to support sustainable, low carbon transport in developing countries", GTZ.

Federal Ministry for Economic Cooperation and Development, (2009), "Urban transport and climate change action plans", GTZ.

Fernández-Bremauntz, A. (2008), "Air quality management in Mexico", *J Toxicol. Environ. Health A*. 2008; 71(1): 56-62.

Figge, Frank & Hahn, Tobias (2004), "Value-oriented impact assessment: The economics of a new approach to impact assessment", *Journal of Environmental Planning and Management*, Vol. 47, N° 6, 921-94.

Fountoukis, C., Sullivan, A., Weber, R., Vanreken, T., Fisher, M., Matías, E., Moya, M., Nenes, A., Cohen, R. (2009), "Thermodynamic characterization of Mexico City aerosol during MILAGRO 2006", *Atmospheric Chemistry Physics*, 9, 2141-2156.

Frank Southworth, Anton Sonnenberg, and Marilyn Brown (2008), "Metropolitan Areas", Working Paper 37, Georgia Institute of Technology School of Public Policy.

Gac, I., Martínez, F. and Weintraub, A. (2006), "Modelo de optimización lineal determinístico para la localización de colegios", *Rev. Ing. de Sistemas*, Chile.

Galloway, J.N. (1996), "Anthropogenic mobilization of sulphur and nitrogen. Immediate and delayed consequences", *Annu. Rev. Energy Environ* 21, 261-292. 48.

Gamboa R.T., Gamboa A.R., Bravo A.H., Ostrosky W.P. (2008), "Genotoxicity in child populations exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the air from Tabasco, Mexico", *Int J Environ Res Public Health*. 2008 Dec; 5(5): 349-55

Garcia, V., Fann, N., Haeuber, R. and Lorang, P. (2008), "Assessing the public health impact of regional-scale air quality regulations", *Air and Waste Management Association*.

Gauger, Matthias & GTZ. (2009), "Not approved CDM – Methodologies in the transport sector: Main reasons for non-approval and other weaknesses".

Gauger, Matthias and Kindly supported by TRL, (2009), "Transport and climate change bibliography", GTZ.

GDF, (2001), "Ecosistema urbano y salud de los habitantes de la zona metropolitana del valle de México", disponible en:  
[http://www.sma.df.gob.mx/publicaciones/aire/ecosistema\\_urbano/ecosistema.htm](http://www.sma.df.gob.mx/publicaciones/aire/ecosistema_urbano/ecosistema.htm)

GDF, (2004), Secretaría de Transportes y Vialidad, "Anuario del transporte y la vialidad 2004".

GDF, Secretaría de Transportes y Vialidad (2005), "Anuario del transporte y la vialidad 2005".

Geerlings, H., Stead, D., (2003), "The integration of land use planning, transport and environment in European policy and research", Transport Policy.

GEM, Secretaría del Medio Ambiente (2008), "Diagnóstico Ambiental de las 16 Regiones del Estado de México".

GEM, Secretaría del Medio ambiente (2008), "Diagnóstico ambiental de la industria en el Estado de México".

GEM, Secretaría del Medio Ambiente (2009), "Iniciativa Ante el Cambio Climático en el Estado de México".

GEM, Secretaría del Medio Ambiente (2009), "Informe sobre la situación del recurso aire en el Estado de México".

Gilliland, F. D., K. Berhane, et al. (2001), "The effects of ambient air pollution on school absenteeism due to respiratory illnesses", *Epidemiology* 12(1): 43-54.

Giuliano, Genevieve and Dargay, Joyce (2006), "Car ownership, travel and land use: a comparison of the US and Great Britain", *Science Direct*.

Godínez, L., Lazos, E. (2003), "Sentir y percepción de las mujeres sobre el deterioro ambiental: retos para su empoderamiento", En: Tuñón, E. (coord.): *Género y Medio Ambiente*, México: Ecosur/Semarnat/Plaza y Valdés, 2003:145-177.

Godish Thad (1991), "Indoor air pollution control", Lewis Publishers, E.U.A.

Godish Thad (2004), "Air quality", Lewis Publishers, E.U.A.

Gómez-Perales, J. E., R. N. Colville, M. J. Nieuwenhuijsen, A. Fernández-Bremauntz, V. J. Gutiérrez-Avedoy, V. H. Páramo-Figueroa, S. Blanco-Jiménez, E. Bueno-López, F. Mandujano, R. Bernabé-Cabanillas, E. Ortiz-Segovia Gómez-Perales, J.E., et al, "Commuters' exposure to PM<sub>2.5</sub>, CO, and benzene in public Transport in the Metropolitan Area of Mexico City", *Atmospheric Environment*, Volume 38, Issue 8, March 2004, Pages 1219-1229.

Gottmann J., (1991), "Megalopolis: The urbanized Northeastern seaboard of the United States; The twentieth century fund: New York".

Government of the Hong Kong Special Administrative Region, "Motor Vehicles Licensed by Type", disponible en:  
[http://www.censtatd.gov.hk/hong\\_kong\\_statistics/statistics\\_by\\_subject/index.jsp?subjectID=10&charsetID=1&displayMode=T](http://www.censtatd.gov.hk/hong_kong_statistics/statistics_by_subject/index.jsp?subjectID=10&charsetID=1&displayMode=T)

Greenwald, Michael J. (2006), "The relationship between land use and intrazonal trip making behaviors: Evidence and implications", *Science Direct*.

Grosjean D., Migel A.H., Tavares T.M., (1990), "Urban air pollution in Brazil: Acetaldehyde and other carbonyls", *Atmos. Environ. Part B:Urban Atmosphere*, 24B(1), 101-106.

Grutter, M., Moya, M., Baez, A. (2004), "Chemical composition of aerosols and its relationship to the gas-phase precursors in Mexico City", *Journal of Aerosol Science*, Volume 35, 2, July 2004, Pages 1273-1278.

GTZ (2009), "Urban transport and climate change action plans: An overview on climate change action plans and strategies from all Continents".

Guarneros M., Hummel T., Martínez-Gómez M., Hudson R. (2009), "Mexico City air pollution adversely affects olfactory function and intranasal trigeminal sensitivity", *Chem Senses*. 2009 Nov; 34(9): 819-26. Epub 2009 Oct 9.

Guttikunda S.K., Carmichael G.R., Calori G., Eck., Woo J.H., (2003), "The contribution of Megacities to regional sulfur pollution in Asia. *Atmos. Environ*", 37(1), 11-22.

Ha, E. H., J. T. Lee, et al. (2003), "Infant susceptibility of mortality to air pollution in Seoul, South Korea" *Pediatrics* 111(2): 284-90.

Hall, J. (2003). "Economic valuation of ozone-related school absences in the south coast air basin of California" *Contemporary Economic Policy* 21(4): 407-417.

Hardoy J.E., Cairncross S., Satterthwaite, D., (1990), "The poor die young: Housing and health in third world cities", Hardoy, J.E., Cairncross, S., Satterthwaite, D., Eds.; Earthscan: London.

Harrison R., Smith D., Luhana L. (1996). Source apportionment of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons collected from an urban location in Birmingham, U.K. 30, 825-832.

Harvard Center for Risk Analysis (2008), "Risk in perspective: Ozone and mortality - an update".

Heinke W. Gary, Henry J. Glynn. (1999), "Ingeniería ambiental", Prentice Hall, México.

Hernández Tejeda T., Nieto dePascual Pola C. (1996), "Effects of oxidant air pollution on *pinus maximartinezii* rzedowski in the Mexico City region", *Environmental Pollution*, Vol. 92, No. 1, pp. 79-83.

Hernández-Cadena, L., M. M. (2009), "Increased levels of outdoor air pollutants are associated with reduced bronchodilation in children with Asthma", *Chest* 136(6) :1529–1536, Epub.

Hernández-Cadena, L., M. M. Tellez-Rojo, et al. (2000), "Relationship between emergency consultations for respiratory diseases and air pollution in Juarez City, Chihuahua", *Salud Pública Mex* 42(4): 288-97.

Hoff, Raymond M. (2009), "A summary of the 39th annual A&WMA critical review who owns satellite air quality measurements". Air & Waste Management Association.

Holguin, F., S. Flores, et al. (2007), "Traffic-related exposures, airway function, inflammation, and respiratory symptoms in children", *Am J Respir Crit Care Med* 176(12): 1236-42.

Hook, Walter (2009), "Bus rapid transit a cost-effective mass transit technology", *EM Magazine*.

Hopke K. P. (1991), "Receptor modelling for air quality management", Elsevier, E.U.A.

Huw Edwards, T. and P. Hutton, John (2001), "Allocation of carbon permits within a country: a general equilibrium analysis of the United Kingdom", *Energy Economics* Volume 23, Issue 4, July 2001, P. 371-386.

Ibsen, C. (2009), "El control de la calidad del aire en ciudades brasileñas", Seminario Internacional sobre Calidad del Aire y Efectos a la Salud, realizado en el mes de diciembre, México, Distrito Federal.

ICF International (2007), "Greenhouse gases and air pollutants in the City of Toronto: Toward a harmonized strategy for reducing emissions", Toronto Atmospheric Fund.

Instituto de Ingeniería de la UNAM (2009), "Escenarios de consumos de energía y emisiones de gases de efecto invernadero del transporte de pasajeros en la Zona Metropolitana del Valle de México".

Instituto Nacional de Ecología (2006), "The benefits and costs of a bus rapid transit system in Mexico City".

Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática (2005), "Cuaderno estadístico de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México".

Instituto Politécnico Nacional (2009), "El programa especial de cambio climático".

Intergovernmental Panel on Climate Change, "Climate change 2001: The scientific basis", Houghton, J.T., Ed.; Cambridge University Press: Cambridge, 2001.

Irwin, Elena (2010), "New directions for urban economic models of land use change: Incorporating spatial dynamics and heterogeneity", *Journal of Regional Science*.

Ito, K., S. F. De Leon, et al. (2005), "Associations between ozone and daily mortality: Analysis and meta-analysis", *Epidemiology* 16(4): 446-57.

Jacob D.J., Logan J.A., Murti P.P., (1999), "Effect of rising asian emissions on surface ozone in the United States", *Geophys. Res. Lett.* 26, 2175-2178.

Jaimes, M. y Ortuño, C., (2010), "Análisis comparativo de las concentraciones de ozono registradas en la ZMVM y la cuenca aérea de la Costa Sur de California", Dirección de Monitoreo Atmosférico, DGGCA, SMADF.

Jazcilevich, Aron D., et al (2011), "An evaluation of the hybrid car technology for the Mexico Mega City", *Journal of Power Sources*.

Kaiser D.P., Quian Y. (2002), "Decreasing trends in sunshine duration over China for 1954–1998: Indication of increased haze pollution?", *Geo.phys. Res. Lett.*, 29, 2042-2045.

Kampa, M. and E. Castanas (2008), "Human health effects of air pollution", *Environ Pollut* 151(2): 362-7.

Kassel, R. (2009), "Dumping Dirty Diesels: Lessons and Examples from NYC to Mexico City", Seminario Internacional sobre Calidad del Aire y Efectos a la Salud, realizado en el mes de diciembre, México, Distrito Federal.

Kenworthy Jeffrey (1995), "Automobile dependence in Bangkok: an international comparison with implications for planning policies", *World Transport Policy & Practice*, Vol. 1 No. 3, disponible en: <http://www.seit.ee/agenda21/english/>

Kenworthy Jeffrey R. (2000), "An international sourcebook of automobile dependence in cities 1960-1990", University Press of Colorado.

Krewski, D. and D. Rainham (2007), "Ambient air pollution and population health: Overview", *J. Toxicol Environ Health, A* 70(3-4): 275-83.

Krüger O., Grassel H., (2004), "Albedo reduction by absorbing aerosols over China", *Geophys. Res. Lett.* 31, doi: 10.1029/2003GL019111.

Kunzli, N. and L. Perez (2007), "The public health benefits of reducing air pollution in the Barcelona metropolitan area", *Centre de Recerca en Epidemiologia Ambiental (CREAL)*: 58, Barcelona.

Kuznets S., (1955), "Economic growth and income inequality", *Am. Econ. Rev.* 45(1), 1-28.

Lacasana, M., A. Esplugues, et al. (2005), "Exposure to ambient air pollution and prenatal and early childhood health effects", *Eur J. Epidemiol* 20(2): 183-99.

Land Transport Authority of Singapore (2004), "Singapore land transport statistics in brief", disponible en: [http://www.lta.gov.sg/corp\\_info/index\\_corp\\_facts.htm](http://www.lta.gov.sg/corp_info/index_corp_facts.htm)

Lauer F.T., Mitchell L.A., Bedrick E., McDonald J.D., Lee W.Y., Li W.W., Olvera H., Amaya M.A., Berwick M., Gonzales M., Currey R., Pingitore N.E. Jr., Burchiel S.W. (2009), "Temporal-spatial analysis of U.S.-Mexico border environmental fine and coarse PM air sample extract activity in human bronchial epithelial cells", *Toxicol Appl Pharmacol.* 2009 Jul 1; 238(1): 1-10. Epub 2009 May 3.

Levin S., *Fragile Dominion* (1999), "Complexity and the commons; Helix books", Perseus Publishing.

Levy, J. I., S. M. Chemerynski, et al. (2005), "Ozone exposure and mortality: An empiric bayes metaregression analysis", *Epidemiology* 16(4): 458-68.

Lezama, José Luis, Coordinador (2007), "Estudio urbano socioeconómico de los corredores de transporte público en la Ciudad de México", El Colegio de México, Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales.

Limtanakool, N., Dijst, M. and Schwanen, T. (2006), "The influence of socioeconomic characteristics, land use and travel time considerations on mode choice for medium- and longer-distance trips", *J. of Transport Geography*.

Litman, Todd (2007), "Evaluating accessibility for transportation planning", Victoria Transport Policy Institute.

Llabaca M, Olaeta I, Campos E, Villaire J. Téllez-Rojo MM, Romieu I. (1999), "Association between levels of fine particulate and emergency visits pneumonia and other respiratory illnesses among children in Santiago, Chile", *J. Air & Waste Manage. Assoc.* 1999; 49: PM-154 163.

London S.J., Romieu I. (2009), "Gene by environment interaction in asthma", *Annual Rev. Public Health*, 2009 Apr 29; 30: 55-80. Review.

Loomis, D., M. Castillejos, et al. (1999). "Air pollution and infant mortality in Mexico City", *Epidemiology* 10(2): 118-23.

Lu, Mingming (2008), "Finding Alternative Fuels for the Future", *EM Magazine*.

MacCracken, Michael C, (2008), "Prospects for Future Climate Change and the Reasons for Early Action", *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, 58:735–786.

Maisonet, M., A. Correa, et al. (2004), "A review of the literature on the effects of ambient air pollution on fetal growth", *Environ Res* 95(1): 106-15.

Márquez C., Castro T., Muhlia A., Moya M., Martínez-Arroyo A., Báez A. (2005), "Measurement of aerosol particles, gases and flux radiation in the Pico de Orizaba National Park, and its relationship to air pollution transport", *Original Research Article Atmospheric Environment*, Volume 39, Issue 21, July 2005, Pages 3877-3890.

Martínez F., Leonardo (1993), "Modelos de localización óptima en una ciudad multientrada. Búsqueda de un criterio basado en la productividad laboral", tesis doctoral, Universidad de París X.

Martínez, F. and Araya, C. (2000), "A note on trip benefits in spatial interaction models", *J. of Regional Science*.

Martínez, F. and Araya, C. (2000), "Transport and land-use benefits under location externalities", *Environment and Planning*.

Martínez, F. and Henríquez, R. (2006), "A random bidding and supply land use equilibrium model", *U. de Chile*.

Martínez, F. Leonardo, Estavillo F., M.E., Mendoza, M.A. (1997), "Evaluación del Programa Hoy No Circula", GDF.

Martínez, F., Leonardo (2008), "Análisis de prefactibilidad del impulso del transporte escolar en la Ciudad de México", Banco Mundial / Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal.

Mauderly, J.L., Chow, J.C. (2008), "Health effects of organic aerosols", *Inhal Toxicol*. 2008 Feb; 20(3): 257-88. Review.

McConnell, R., K. Berhane, et al. (2003). "Prospective study of air pollution and bronchitic symptoms in children with asthma", *Am J Respir Crit Care Med* 168(7): 790-7.

McDonald J.D., Doyle-Eisele M., Campen M.J., Seagrave J., Holmes T., Lund A., Surratt J.D., Seinfeld J.H., Rohr A.C., Knipping E.M. (2010), "Cardiopulmonary response to inhalation of biogenic secondary organic aerosol", *Inhal Toxicol*. 2010 Feb; 22(3): 253-65.

McGranahan G., (1993), "Household environmental problems in low-income cities: An overview of problems and prospects for improvement", *Habitat International*. 17(2), 105-121.

McKinley, G., M. Zuk, et al. (2005). "Quantification of local and global benefits from air pollution control in Mexico City", *Environ Sci Technol* 39(7): 1954-61.

Medina, S. and E. Boldo (2005), "Health impact assessment of air pollution communication strategy", Third year report. APHEIS.

Menon S., Hansen J.E., Nazarenko L., Luo Y.,( 2002), "Climate effects of black carbon aerosols in China and India", *Science*, 297(5590) 2250-2252.

Miller, Paul (1994), "Comparison of ozone exposure characteristics in forested regions near Mexico City and Los Angeles", *Atmospheric Environment* Vol. 28, No. 1, pp. 141-148.

Miller, Paul and Solomon, Matt (2009), "A brief history of technology-forcing motor vehicle regulations", *A&WMA's Magazine for Environmental Managers*.

Ministry of Internal Affairs and Communications of Japan, (2010), "The statistical handbook of Japan 2010", disponible en:  
[http://www.stat.go.jp/english/data/handbook/c02cont.htm#cha2\\_6](http://www.stat.go.jp/english/data/handbook/c02cont.htm#cha2_6)

MIT- Molina Center for Energy and Environment (2009), "Urban and regional photochemistry/air quality modeling".

MIT, Massachusetts Institute of Technology (2004), "Proyecto para el diseño de una estrategia integral de gestión de la calidad del aire en el Valle de México".

MIT, Massachusetts Institute of Technology (2003), "Proyecto para el diseño de una estrategia integral de gestión de la calidad del aire en el Valle de México, Etapa II Desarrollo de información Científica y Sistematización de Metodologías de Evaluación Integrada de Políticas y Opciones para el Mejoramiento de la Calidad del Aire", D.F., México".

Molina Center for Energy and the Environment (2009), "Análisis y síntesis de los resultados de las Campañas MCMA-2003 y MILAGRO-2006 para su uso en la formulación de estrategias en materia de cambio climático y contaminación local en la ZMVM".

Molina L.T., Molina, M.J. (2002), "Air quality in the Mexico Megacity: An integrated assessment", Eds. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, Netherlands.

Molina M.J., Molina L. (2004), "Megaciudades y contaminación atmosférica", Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts.

Molina, L. and the MILAGRO Science Team (2008), "MILAGRO CAMPAIGN. Megacity Initiative: Local and Global Research Observations", Mexico City Case Study.

Molina, L., de Foy, B., Vázquez Martínez, O. and Páramo Figueroa, VH. (2009), "Air quality, weather and climate in México City".

Molina, L.T. (2006), "La Campaña MILAGRO/INTEX-B".

Molina, L.T., Madronich, S., Gaffney, J.S., Singh, H.B. and Pöschl, U. (2009), "Tercera reunión MILAGRO-Mex: Estudios de la química atmosférica, salud y ecología de la Ciudad de México y áreas circundantes.



Molina, L.T., Molina, M.J., (2000), "Estrategia integral de gestión de la calidad del aire en el Valle de México". Massachusetts Institute of Technology (MIT), Cambridge, MA, U.S.A.

Molina, Mario J. (2000), "Integrated program on urban, regional, and global air pollution".

Moya Mireya, Ansari Asif S., Pandis Spyros N. (2001), "Partitioning of nitrate and ammonium between the gas and particulate phases during the 1997 IMADA-AVER study in Mexico City", Original Research Article Atmospheric Environment, Volume 35, Issue 10, April 2001, Pages 1791-1804.

Moya Mireya, Castro Telma, Zepeda Monica, Baez Armando (2003), "Characterization of size-differentiated inorganic composition of aerosols in Mexico City", Original Research Article Atmospheric Environment, Volume 37, Issue 25, August 2003, Pages 3581-3591.

Moya Mireya, Grutter Michel, Báez Armando (2004), "Diurnal variability of size-differentiated inorganic aerosols and their gas-phase precursors during January and February of 2003 near downtown Mexico City", Original Research Article Atmospheric Environment, Volume 38, Issue 33, October 2004, Pages 5651-5661.

Moya Mireya, Madronich S., Retama A., Weber R., Baumann K., Nenes A., Castillejos M., Ponce de León C. (2010), "Identification of chemistry-dependent artifacts on gravimetric PM fine readings at the T1 site during the MILAGRO field campaign", Original Research Article Atmospheric Environment, In Press, Corrected Proof, Available online 16, September 2010.

Moya Mireya, Pandis Spyros N., Jacobson Mark Z. (2002), "Is the size distribution of urban aerosols determined by thermodynamic equilibrium?: An application to Southern California", Original Research Article Atmospheric Environment, Volume 36, Issue 14, May 2002, Pages 2349-2365.

Moya, M., Fountoukis, C., Nenes, A., Matías, E., Grutter, M. (2007), "Predicting diurnal variability of fine inorganic aerosols and their gas-phase precursors near downtown Mexico City Atmospheric Chemistry and Physics", Discussions 7 (4), pp. 11257-11294.

Mugica Álvarez, Violeta (2009), "Composición de PM y sus Fuentes de Emisión", UAM.

Mugica V., Figueroa J., Hernández A. (2010), "Evaluación del programa para mejorar la calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010", UAM.

Muñoz et al. (2001), "Partículas suspendidas, hidrocarburos aromáticos policíclicos y mutagenicidad en el Suroeste de la Ciudad de México", Rev. Int. Contam. Ambient. 17 (4) 193204.

Muñoz, R. et al, (2010), "Relación entre concentraciones de PM<sub>10</sub> y masa vegetal existente en el área de influencia de estaciones de monitoreo seleccionadas en el DF", PAOT.

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, D.F.

National Research Council (2001), "Global air quality: An imperative for long term observational strategies", National Academy Press: Washington, DC.

National Statistics Office of Philippines, "2000 Census of population and housing", disponible en: [http://www.census.gov.ph/census2000/c2kfinal\\_tbl.html](http://www.census.gov.ph/census2000/c2kfinal_tbl.html)

NRC, Ed. (2008), "Estimating mortality risk reduction and economic benefits from controlling ozone air pollution, The National Academies Press.

Oliver, Hongyan H. (2008), "In-Use vehicle emissions in China—Tianjin Study", J.F. Kennedy School of Gov., Harvard.

O'Neill S.M., Ramirez-Aguilar M., Meneses-Gonzalez F., Hernandez-Avila M., Sienra-Monge J.J., Romieu I. (2003), "Ozone exposure among Mexico City outdoor workers", *J. Air & Waste Manage. Assoc*; 53:339-346.

O'Neill M.S., Bell M.L., Ranjit N., Cifuentes L.A., Loomis D., Gouveia N., Borja-Aburto V.H., "Air pollution and mortality in Latin America: the role of education", *Epidemiology*, 2008 Nov; 19(6): 810-9.

O'Neill, M. S., Loomis D., et al. (2004), "Ozone, area social conditions, and mortality in Mexico City", *Environ Res* 94(3): 234-42.

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (2006), "Competitive cities in the global economy".

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (2008), "Environmental outlook 2008".

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, (2000), "Shaping the urban environment in the 21st century: From understanding to action. A DAC reference manual on urban environmental policy", Paris, Francia.

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, (2006), "Cost-Benefit analysis and environment: Recent developments".

Pacific Energy Research Centre, (2007), "Urban Transport Energy Use In the APEC Region, Asia", disponible en: [http://www.ieej.or.jp/aperc/2007pdf/2007\\_Reports/APERC\\_2007\\_Urban\\_Transport.pdf](http://www.ieej.or.jp/aperc/2007pdf/2007_Reports/APERC_2007_Urban_Transport.pdf)

Paerl H.W., (1985). "Enhancement of marine primary productivity by nitrogen-enhanced acid rain", *Nature*, 316, 747-749.

Particulate matter from Oporto and Vienna: identification and comparison. (1999). *The Science of the Total Environment*. 236, 231-236.

Peel, J. L., P. E. Tolbert, et al. (2005), "Ambient air pollution and respiratory emergency department visits", *Epidemiology* 16(2): 164-74.

Pérez, P., Martínez, F. and Ortúzar, J. (2003), "Microeconomic formulation and estimation of a residential location choice model: Implications for the value of time".

Pérez-Maldonado I.N., Ramírez-Jiménez M. del R., Martínez-Arévalo L.P., López-Guzmán O.D., Athanasiadou M., Bergman A., Yarto-Ramírez M., Gavilán-García A., Yáñez L., Díaz-

Barriga F. (2009), "Exposure assessment of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in Mexican children. *Chemosphere*", 2009 May; 75(9): 1215-20. Epub 2009 Mar 6.

Petersen, R., (2006), "Planificación del uso del suelo y transporte", The Wuppertal Institute for Climate, Energy and the Environment.

Peterson, Jane (2001), "City limits: Putting the brakes on sprawl", *Worldwatch Institute*, *Worldwatch paper* 156.

Pope, C. A., 3rd, R. T. Burnett, et al. (2002), "Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution", *JAMA* 287(9): 1132- 41.

Prinn R.G., Huang J., Weiss R.F., Cunnold D.M., Fraser P.J., Simmonds P.G., McCulloch A., Harth C., Salameh P., O'Doherty, S., Wang R.H.J., Porter L., Miller B.R., (2001), "Evidence for substantial variations of atmospheric hydroxyl radicals in the past two decades", *Science* 282, 1882-1998.

Quénel, P., W. Dab, et al. (2003). *Qualité de l'air ambiant, dans Environnement et santé publique. Fondements et pratiques*. M. Gérin, P. Gosselin, S. Cordier et al.

Querol, X., Pey, J., Minguillón, M.C., Pérez, N., Alastuey, A., Viana, M., Moreno, T., Bernabé, R.M., Blanco, S., Cárdenas, B., Vega, E., Sosa, G., Escalona, S., Ruiz, H. and Artinano, B. (2008), "PM speciation and sources in Mexico during the MILAGRO-2006 Campaign".

Quian Y., Giorgi F., (2000), "Regional climatic effects of anthropogenic aerosols? The Case of Southwestern China", *Geophys. Res. Lett.* 27, 3521-3524.

Quinta Colorada at Chapultepec Park (2009), "Third MILAGRO-Mex meeting atmospheric chemistry, health and ecological studies of Mexico City and the surrounding areas".

Ragaa, G.B., (2001) "Mexico City air quality: a qualitative review of gas and aerosol measurements (1960-2000)", *Atmospheric Environment* 35 (4041-405).

Reyes, D., (2000), "La percepción de la contaminación del aire en la Ciudad de México" (tesis), Universidad Nacional Autónoma de México.

Riojas H., Alamo U., Texcalac J. y Romieu I. (2009), "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", INSP.

Riojas-Rodríguez H, Escamilla-Cejudo JA, González-Hermosillo JA, Téllez-Rojo MM, Vallejo M, Santos-Burgoa C, Rojas-Bracho L. (2006), "Personal PM2.5 and CO exposures and heart rate variability in subjects with known ischemic heart disease in Mexico City", *J Expo Sci Environ Epidemiol.*, Mar;16(2):131-7.

Riojas-Rodriguez, H., F. Holguin, et al. (2006), "Use of heart rate variability as a marker of cardiovascular effects associated with air pollution", *Salud Pública Mex* 48(4): 348-57.

Rocha A., Horvath H., Oliveira J., Duarte A. (1999). Trends in alkanes and PAHs in airborne particulate matter from Oporto and Vienna: identification and comparison, *Science of the Total Environment*, Volume 236.

Rojas-Martinez, R., R. Perez-Padilla, et al. (2007), "Lung function growth in children with long-term exposure to air pollutants in Mexico City", *Am J Respir Crit Care Med*. 2007 Aug 15; 176(4): 377-84. Epub 2007 Apr 19.

Romieu I. et al (1997), "Effects of intermittent ozone exposure on peak expiratory and Respiratory symptoms among children with asma", *Arch Env Health* 1997; 52: 368-376.

Romieu I. et al. (1998), "Antioxidant supplementation and respiratory functions among workers exposed to high levels of ozone", *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 1998; 158(1): 226-32.

Romieu I., Barraza-Villarreal A., Escamilla-Núñez C., Almstrand A.C., Diaz-Sanchez D., Sly P.D., Olin A.C. (2008), "Exhaled breath malondialdehyde as a marker of effect of exposure to air pollution in children with asthma", *J Allergy Clin Immunol*. 2008 Apr;121(4):903-9.e6. Epub 2008 Jan 30.

Romieu I., Barraza-Villarreal A., Escamilla-Núñez C., Texcalac-Sangrador J.L., Hernandez-Cadena L., Díaz-Sánchez D., De Batlle J., Del Rio-Navarro B.E. (2009), "Dietary intake, lung function and airway inflammation in Mexico City school children exposed to air pollutants", *Respir Res*. 2009 Dec 10; 10: 122.

Romieu I., et al (1992), "Air pollution and school absenteeism among children in Mexico City", *Am J epidemiol* 1992; 136: 1524-31.

Romieu I., et al (1995), "Effects of urban air pollutants on emergency visits for childhood asthma in México City", *Am J Epidemiol* 1995; 141: 546-53.

Romieu I., et al (1996), "Effects of air pollution on the respiratory health of asthmatic children living in Mexico City", *Am J Respir Crit Care Med* 1996; 154: 300-307.

Romieu I., Garcia-Esteban R, Sunyer J, Rios C, Alcaraz-Zubeldia M, Velasco SR, Holguin F. (2008), "The effect of supplementation with omega-3 polyunsaturated fatty acids on markers of oxidative stress in elderly exposed to PM(2.5)", *Environ Health Perspect*. 2008 Sep; 116(9): 1237-42.

Romieu I., Meneses F., Ruiz S., Huerta J., White M., Etzel R., Hernández M. (1998), "Effects of air pollution on the respiratory health of children with mild asthma living in Mexico City", *Journal of the air & waste managements association* 1998; 48 8, pp. 327-335.

Romieu I., Moreno-Macias H., London S.J. (2010), "Gene by environment interaction and ambient air pollution", *Proc Am Thorac Soc*. 2010 May; 7(2): 116-22.

Romieu Isabelle, Ramírez Matiana, Meneses Fernando, Ashley David, Lemire Sharon, Colome Steve, Fung Kochy, Hernandez Mauricio (1999), "Environmental exposure to volatile compound among workers in México City as assessed by personal monitors and blood concentrations", *Environmental Health Perspectives*. Vol. 107 N° 6. June 1999.

Romieu, I., Castro-Giner F., et al. (2008), "Air pollution, oxidative stress and dietary supplementation: a review", *Eur Respir J* 31(1): 179-97.

Romieu, I., Meneses F., 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.

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

Ruiz-Suárez, L.G., Torres-Jardón, R., García-Reynoso, A., Torres-Jaramillo, A., Steinbrecher, R. And Wöhrensimmel, H. (2009), "Análisis preliminar de un evento tipo: "South-Ozone" en el hueco orográfico Tenango del Aire-Cuautla durante la campaña MILAGRO".

Samet, J. and D. Krewski (2007), "Health effects associated with exposure to ambient air pollution", *J Toxicol Environ Health A* 70(3-4): 227-42.

Sánchez, S. (2009), "Análisis de opciones para la reducción de tramos de viaje del personal del gobierno del Distrito Federal", GDF.

Sanderson E. and Farant J. (2000). "Use of benzo(a)pyrene relative abundance ratios in assess exposure polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient atmosphere in the vicinity of Soderberg aluminum smelter." *Journal of Air and Waste Management Association*. 50, 2085-2092.

Satterthwaite, D., (1997), "Sustainable cities or cities that contribute to sustainable development?", *Urban Studies*, 34(10), 1667-1691.

Schouten, J. P., J. M. Vonk, et al. (1996), "Short term effects of air pollution on emergency hospital admissions for respiratory disease: results of the APHEA project in two major cities in The Netherlands, 1977-89", *J Epidemiol Community Health* 50 Suppl 1: s22-9.

Schwartz, J. (1995), "Short term fluctuations in air pollution and hospital admissions of the elderly for respiratory disease", *Thorax* 50(5): 531-8.

Schwartz, J. (1996), "Air pollution and hospital admissions for respiratory disease", *Epidemiology* 7(1): 20-8.

Schwartz, J. (1997), "Air pollution and hospital admissions for cardiovascular disease in Tucson", *Epidemiology* 8(4): 371-7.

Schwartz, J., C. Spix, et al. (1996), "Methodological issues in studies of air pollution and daily counts of deaths or hospital admissions", *J Epidemiol Community Health* 50 Suppl 1: S3-11.

Secretaría de Desarrollo Social, Consejo Nacional de Población e Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2007), "Delimitaciones de las zonas metropolitanas de México 2005", disponible en:  
[http://www.conapo.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=133&Itemid=212](http://www.conapo.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=133&Itemid=212)

SEMARNAT-INE (2009) [en línea]. México. Cuarta comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. D.F., México.

Setravi, (2010), Programa Integral de Transporte y Vialidad, consultable en:  
[http://www.setravi.df.gob.mx/wb/stv/programa\\_integral\\_de\\_transportes\\_y\\_vialidad](http://www.setravi.df.gob.mx/wb/stv/programa_integral_de_transportes_y_vialidad)

Shannon, C.E., (1948), "A Mathematical Theory of Communication", *Bell System Technical Journal*, vol. 27, pp. 379-423, 623-656, July.

Shoup, D., (2005), "The high cost of free parking", Chicago, Planners Press.

Skelly John M., Savage James E., Bauer Maria de Lourdes, Alvarado Dionisio (1997), "Observations of ozone-induced foliar injury on black cherry (*Prunus serotina*, var. *capuli*) within the Desierto De Los Leones National Park, Mexico City", *Environmental Pollution*, Vol. 95, No. 2 pp. 155-158.

SMA y SETRAVI, GDF, (2004), "Diseño conceptual, funcional, operacional y proyecto ejecutivo del corredor estratégico Insurgentes".

SMA/DGCENICA/UAMI (2008). Informe técnico de Monitoreo y Evaluación de las concentraciones de compuestos orgánicos volátiles en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. México, D.F. 28 pp.

SMA-GDF, (2000), "Inventario de emisiones de contaminantes criterio de la Zona Metropolitana del Valle de México, 1998".

SMA-GDF, (2002), "Inventario de emisiones de contaminantes criterio de la Zona Metropolitana del Valle de México, 2000".

SMA-GDF, (2004), "Inventario de emisiones de contaminantes criterio de la Zona Metropolitana del Valle de México, 2002".

SMA-GDF, (2004), "Inventario de emisiones, 2004".

SMA-GDF, (2006), "Gestión ambiental del aire en el Distrito Federal. Avances y propuestas 2000-2006".

SMA-GDF, (2006), "Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-009-aire-2006" [que establece los requisitos para elaborar el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire].

SMA-GDF, (2008), "Inventario de emisiones 2006".

SMA-GDF, (2008), "Programa de Acción Climática de la Ciudad de México".

SMA-GDF, (2008), "Programa General de Ordenamiento Ecológico del D.F."

SMA-GDF, (2009), "Guía de recomendaciones para el ahorro de energía".

SMA-GDF, (2009), "Informe anual de actividades, 2008".

SMA-GDF, (2003), "Informe anual de calidad del Aire, 2002".

SMA-GDF, (2009), "Informe anual de calidad del aire, 2008".

SMA-GDF, (2010), Estimación de las concentraciones de ozono generadas por la aplicación de medidas de control de emisiones incluidas en el Proaire 2011-2020.

Sonnenberg Anton, Brown Marilyn, (2008), "The transportation energy and carbon footprints of the 100 largest U.S. Metropolitan Areas", Working Paper 37, Georgia Institute of Technology School of Public Policy.

SOUTH COAST AIR QUALITY MANAGEMENT DISTRICT GOVERNING BOARD, (2007), "Final 2007 Air Quality Management Plan".

Southworth Frank, Sonnenberg Anton, and Brown Marilyn (2008), "The transportation energy and carbon footprints of the 100 largest U.S. Metropolitan Areas", Working Paper 37, Georgia Institute of Technology School of Public Policy.

Spurny K. R. (1999), "Analytical chemistry of aerosols", Lewis Publishers, E.U.A.

Spurny K. R. (2000), "Aerosol chemical processes in the environment", Lewis Publishers, E.U.A.

Stern Arthur (1986), "Air pollution", Vol I-VII, Academic Press, E.U.A.

Stohl A., Trickl T., (1999), "A textbook example of long range transport: Simultaneous observations of ozone maxima of stratospheric and North American origin in the free troposphere over Europe", *J. Geophys. Res.*, 104, 30445-30462.

Stone, E.A., Snyder, D.C., Sheesley, R.J., Sullivan, A.P., Weber, R.J. and Schauer, J.J. (2008), "Source apportionment of fine organic aerosol in Mexico City during the MILAGRO experiment 2006".

Tanner R.L., Miguel A.H., de Andrade J.B., Gaffney J.S., Streit, G.E. (1988), "Atmospheric chemistry of aldehydes: Enhanced peroxyacetyl nitrate formation from ethanol-fueled vehicular emissions", *Environ. Sci. Technol.*, 22(9), 1026-1034.

Tellez-Rojo, M. M., I. Romieu, et al. (1997), "Effect of environmental pollution on medical visits for respiratory infections in children in Mexico City", *Salud Pública Mex* 39(6): 513-22.

Tellez-Rojo, M. M., I. Romieu, et al. (2000), "Daily respiratory mortality and PM10 pollution in Mexico City: importance of considering place of death", *Eur Respir J* 16(3): 391-6.

Terán L.M., Haselbarth-López M.M., Quiroz-García D.L. (2009), "Allergy, pollen and the environment", *Gac. Med. Mex.* 2009 May-Jun; 145(3): 215-22.

Texas Transportation Institute and The Texas A&M University System (2005), "The keys to estimating mobility in urban areas; applying definitions and measures that everyone understands" [a white paper prepared for the urban transportation performance measure study].

The Government of the Hong Kong Special Administrative Region. "Motor Vehicles Licensed by Type", disponible en:  
[http://www.censtatd.gov.hk/hong\\_kong\\_statistics/statistics\\_by\\_subject/index.jsp?subjectID=10&charsetID=1&displayMode=T](http://www.censtatd.gov.hk/hong_kong_statistics/statistics_by_subject/index.jsp?subjectID=10&charsetID=1&displayMode=T)

The Nationality Development Institute (1991), "Green Cities: How urban sustainability efforts can and must drive America's climate change policies".

The Pechan-Avanti Group a unit of E.H. Pechan & Associates, Inc. (1999), "Emission Projections".

Thundiyil K. (2007), "Rising temperatures and expanding Megacities: Improving air quality in Mexico City through urban heat Island mitigation", Master Thesis, MIT, Cambridge, MA.

Torres-Jarmillo, A., Ruíz Suárez, L.G. and Torres Jardón, R. (2009), "Evaluación de radicales RO2 en Amecameca mediante el método de amplificación química [datos preliminares]".

Tovalin, H., Vega, L. and Estrada, E. (2007), "Expresión de citocinas en poblaciones expuestas a contaminantes del aire-MCMA2006".

Transportation Association of Canada (2010), "Urban transportation indicators fourth survey", disponible en: <http://www.tac-atc.ca/english/resourcecentre/reports.cfm>

U.S. Nuclear Regulatory Commission (1991), "Rethinking the ozone problem in urban and regional air pollution", National Academy Press, Washington, DC.

UNAM-CAM (2006), "Estudio integral metropolitano de transporte de carga y medio ambiente para el Valle de México (EIMTCA-MAVM)", Proyecto de realización del estudio matriz origen-destino para el transporte de carga. Informe Final, Instituto de Ingeniería-UNAM, D.F., México.

United Nations Centre for Human Settlements (2001), "State of the World's Cities 2001".

United Nations Environmental Program (2003), "Global environmental outlook 3", Earthscan Publications, Ltd., London.

University Transportation Center for Mobility, Texas Transportation Institute (2009), "Urban Mobility Report 2009".

USEPA, (2006), "Clean energy-environment guide to action: Policies, best practices, and action steps for States".

USEPA, (2007), "California emission inventory and reporting system (CEIDARS)-particulate matter (PM Speciation Profiles 2007)", USA, obtenido en 2008 de: <http://www.arb.ca.gov/ei/speciate/dnldopt.htm>

USEPA, (2009), "Lifecycle analysis of greenhouse gas emissions from renewable fuels".

Van Ommeren, Jos & Van Leuvensteijn, Michell (2005), "New evidence of the effect of transaction costs on residential mobility", J. of Regional Science, Vol.45, No. 4, pp. 681-702.

Van Wee, Bert (2002), "Land use and transport: research and policy challenges", J. of Transport Geography.

Vega Elizabeth, Sanchez Gabriela (2009), "Sources of particulate matter and non methane hydrocarbons in Mexico City".

Vega, Elizabeth, et al (2010), "Particulate air pollution in Mexico City: a detailed view, aerosol and air quality research", 10: 193-21.

Velasco Erik and Roth Matthias (2009), "Measuring emissions of greenhouse gases and air pollutants in cities".

Velasco, E., Lamb, B. et al. (2007), "Distribution, magnitudes, reactivities, ratios and diurnal patterns of volatile organic compounds in the Valley of Mexico during the MCMA 2002 and 2003 field campaigns", p. 7, 329-353, Atmospheric Chemistry and Physics.



Velasco, E., Márquez, C. et al. (2007), "Vertical distribution of ozone and VOCs in the low boundary layer of Mexico City", *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions* 7, 12751–12779. Unión Europea: Atmospheric Chemistry and Physics. Consultado en 2007 de: <http://www.atmos-chem-phys-discuss.net/7/12751/2007/acpd-7-12751-2007.pdf>

Vickrey, William (1998), "Automobile accidents, tort law, externalities, and insurance: an economist's critique", *Law and Contemporary Problems* Vol. 33, 1968, pp. 464-87.

Waddell, Paul (2001), "Towards a behavioral integration of land use and transportation modeling, 9th International Association for Travel Behavior Research Conference".

Wallace, L. (1990), "Major sources of exposure to benzene and other volatile organic chemicals", *Risk Analysis*, vol. 10. N 1, 59-159.

Walsh, Michael (2009), "Moving toward clean vehicles and fuels: a global overview", *EM Magazine*.

Ward, D. J. and J. G. Ayres (2004), "Particulate air pollution and panel studies in children: a systematic review", *Occup Environ Med* 61 (4): e13.

Watkins, T., Rao, S.T. and Wyzga, Ron (2008), "The role of exposure science in air quality management", *EM Magazine*.

WHO (2001), "Quantification of health effects of exposure to air pollution", Copenhagen, World Health Organization, Regional Office for Europe.

WHO (2002), "World Health Report", Geneva, World Health Organization.

WHO (2004), "Meta-analysis of time-series studies and panel studies of particulate matter (PM) and ozone (O3)", World Health Organization.

Wigle, D. T., T. E. Arbuckle, et al. (2007), "Environmental hazards: evidence for effects on child health", *J Toxicol Environ Health B Crit Rev* 10(1-2): 3-39.

Woerdman, Edwin (2000), "Implementing the Kyoto Protocol: why JI and CDM show more promise than international emissions trading".

Wood, G., Watson, R. and Flatau, P. (2006), "Micro simulation modeling of tenure choice and grants to promote home ownership", The University of Melbourne, Melbourne Institute of Applied Economic and Social Research, *The Australian Economic Review*, vol. 39, N° 1, pp.14–34.

Woodruff, T. J., J. Grillo, et al. (1997), "The relationship between selected causes of post-neonatal infant mortality and particulate air pollution in the United States", *Environ Health Perspect* 105(6): 608-12.

World Business Council for Sustainable Development (2005), "Doing business with the poor: a field guide".

World Business Council for Sustainable Development (2005), "Finding capital for sustainable livelihoods businesses".

World Business Council for Sustainable Development (2008), "Mobility for Development".

World Resource Institute, "Transportation: Passenger cars per 1000 people".

Disponibile en:

[http://earthtrends.wri.org/searchable\\_db/index.php?action=select\\_countries&theme=6  
&variable\\_ID=290](http://earthtrends.wri.org/searchable_db/index.php?action=select_countries&theme=6&variable_ID=290)

Yang, Christopher and McCarthy, Ryan (2009), "Electricity grid Impacts of plug-in electric vehicle charging", Inst. of Transportation Studies.

Yienger J.J., Galanter M., Holloway T.A., Phadnis M.J., Guttikunda S.K., Carmichael G.R., Moxim W.J., Levy H. (2000), "The episodic nature of air pollution transport from Asia to North America", J. Geophys. Res. 2000, 105, 26931-26945.

Yokelson, R.J., Urbanski, S.P., Atlas, E.L., Toohey, D.W., Alvarado, E.C., Crouse, J.D., Wennberg, P.O., Fisher, M.E., Wold, C.E., Campos, T.L., Adachi, K., Buseck, P.R. and Hao, W.M. (2007), "Emissions from forest fires near Mexico City", Atmospheric Chemistry and Physics 7(21):5569-5584.

Zambrano A., Nash III T.H. (2000), "Lichen responses to short-term transplantation in Desierto De Los Leones, Mexico City", Environmental Pollution 107, 407-412.

Para la elaboración de este documento se contó con el apoyo del Fideicomiso  
Ambiental 1490



Los gobiernos que integran la Comisión Ambiental Metropolitana han elaborado un nuevo instrumento de gestión ambiental, que orientará durante la presente década, las políticas públicas en materia de calidad del aire en el Valle de México. El nuevo Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2011-2020 (PROAIRE 2011-2020), es un documento de planeación participativa que relaciona e integra estructuralmente variables y procesos urbanos, de transporte, económicos y sociales, con los procesos de generación de contaminantes criterio, tóxicos y de efecto invernadero.

Este nuevo PROAIRE 2011-2020 retoma las experiencias de los programas anteriores e introduce un cambio paradigmático en la concepción y en el tratamiento de los procesos generadores de la contaminación atmosférica. El nuevo enfoque incorpora los conocimientos científicos recientes para plantear y desarrollar un eje rector, que consiste en promover un manejo ecosistémico de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) que fortalezca la gestión de la calidad del aire, que permita mejorarla de manera sostenible y que contribuya en la obtención de cobeneficios urbanos, económicos y sociales perdurables.

El análisis ecosistémico desarrollado presenta nuevas alternativas para el manejo de la calidad del aire en la ZMVM. Analiza la relación endógena entre la estructura urbana y el sistema de generación de contaminantes y coloca el tema de la protección a la salud como punto estratégico y prioritario para mejorar la calidad del aire en el Valle de México.

Este PROAIRE contiene un total de 81 medidas y 116 acciones agrupadas en 8 estrategias que abordan la protección a la salud, la disminución del consumo energético y su eficiencia, la movilidad y regulación del parque vehicular, el aprovechamiento tecnológico en el control de las emisiones, el fortalecimiento de la educación ambiental y la participación ciudadana, la conservación y restauración de áreas verdes y el papel imprescindible de la investigación científica y técnica para la gestión de la calidad del aire en el Valle de México.

