

**Programa para
el Mejoramiento
de la Calidad
del Aire en la
Zona Metropolitana
de Guadalajara**

1997-2001



**Gobierno del Estado
de Jalisco**

•
**Secretaría de Medio
Ambiente, Recursos
Naturales y Pesca**

•
Secretaría de Salud

***PROGRAMA
PARA EL
MEJORAMIENTO
DE LA CALIDAD
DEL AIRE
EN LA ZONA
METROPOLITANA
DE GUADALAJARA
1997-2001***

CONTENIDO

PRESENTACIÓN	9
INTRODUCCIÓN	11
1. MARCO DE REFERENCIA	15
2. OBJETIVOS Y METAS.....	21
1. Objetivos generales	21
2. Un nuevo marco de políticas públicas: contexto y perspectivas.....	23
3. Contenido y procedimiento de análisis	24
4. Metas.....	24
5. Estrategias	25
3. NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE Y SALUD AMBIENTAL.....	29
1. Normas de calidad del aire.....	29
2. Análisis continuo microambiental	30
3. Descripción y efectos de los contaminantes en la salud y en los ecosistemas..	31
4. CONDICIONES FÍSICAS Y CALIDAD DEL AIRE	43
1. Condiciones geográficas.....	44
2. Condiciones meteorológicas	44
3. Monitoreo de la calidad del aire.....	48
4. Análisis de la calidad del aire	52
5. Conclusiones.....	72
5. ANTECEDENTES Y ESFUERZOS INSTITUCIONALES EN LA LUCHA CONTRA LA CONTAMINACIÓN	75
1. Programa regional de administración de la calidad del aire en zonas críticas, 1991.....	75
2. Plan estatal de protección al ambiente del estado de Jalisco, 1993	75
3. Comité interinstitucional para la prevención y control de la contaminación.....	77
4. Evaluación de los programas	81
6. INTEGRACIÓN DE POLÍTICAS AMBIENTALES URBANAS	85
1. Conceptos fundamentales (estructura urbana).....	85
2. Recursos comunes ambientales, umbrales y costos	86
3. La ciudad: una nueva perspectiva	88
4. Industria, competitividad y medio ambiente	93

7. USUARIOS DE LA CUENCA ATMOSFÉRICA	97
1. Balance energético	97
2. Inventario de emisiones	110
8. IDENTIFICACIÓN DE METAS Y ESTRATEGIAS.....	137
1. Propósito general	137
2. Metas.....	139
3. Estrategias.....	140
9. ACCIONES PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AIRE.....	145
I. Industria limpia	147
II. Vehículos limpios.....	154
III. Nuevo orden urbano y transporte limpio	159
IV. Recuperación ecológica.....	169
 BIBLIOGRAFÍA.....	 179
 GLOSARIO DE TÉRMINOS	 187
 ANEXOS.....	 199
Anexo A. Monitoreo de la calidad del aire	201
Anexo B. Índice metropolitano de la calidad del aire.....	205
Anexo C. Resumen de datos de la calidad del aire	209
Anexo D. Cálculo de las estimaciones de emisiones por sector	213
Anexo E. Memoria de cálculo de estimaciones y reducciones de emisiones y de costos e inversiones.....	227
Anexo F. Programa de control y reducción de emisiones vehiculares.	235

PRESENTACIÓN

PRESENTACIÓN

El *Programa para el Mejoramiento de la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana de Guadalajara 1997-2001* es un esfuerzo de los gobiernos federal, estatal y municipales, del sector productivo y de la sociedad en general, luchando coordinadamente para lograr una calidad del aire que asegure la preservación de la salud de la población.

Al igual que en otras metrópolis de nuestro país, la Zona Metropolitana de Guadalajara ha experimentado un acelerado crecimiento poblacional, requiriendo para su funcionamiento el suministro de grandes cantidades de insumos y energéticos y, a la vez, constituyéndose en un polo de intensa actividad industrial, comercial y cultural. Sin embargo, este crecimiento poblacional y económico ha traído consigo también mayores impactos al medio ambiente y, en particular, un aumento en la generación de contaminantes atmosféricos. La severidad del problema de contaminación en el Valle de Atemajac puede ilustrarse con el hecho de que en 1996 se rebasó la norma de ozono en el 60% de los días del año, así como la norma correspondiente a partículas finas en más del 30%.

La contaminación atmosférica en la Zona Metropolitana de Guadalajara es un problema con origen multifactorial, destacándose la presencia de un parque vehicular con una edad promedio cercana a los diez años y cuyo estado de mantenimiento es con frecuencia inadecuado. Además, hay un número importante de industrias, comercios y servicios que, como resultado de sus actividades, emiten contaminantes en mayor o menor grado. Por otro lado, las características fisiográficas y meteorológicas de la región ocasionan que, con frecuencia, no existan condiciones favorables para la dispersión de los contaminantes, por lo que deben necesariamente realizarse esfuerzos que garanticen una disminución de la emisión de los mismos.

En este Programa se presenta por primera vez un inventario de emisiones de contaminantes desagregado por tipo de fuente. Con base en este inventario se han identificado un conjunto de medidas concretas y costo-efectivas que, al aplicarse, permitirán alcanzar una mejoría significativa en la calidad del aire de la ciudad. El Programa describe cada medida, indicando tiempos de cumplimiento, responsables de ejecución y una estimación de la reducción de emisiones esperada con su aplicación. El cumplimiento exitoso del Programa permitirá demostrar que cuando la sociedad y los tres niveles de gobierno trabajan con el objetivo común de mejorar el ambiente se logran sinergias que repercuten en una mejoría de la calidad de vida de la población.

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

El documento consta de dos partes, la primera está integrada por los capítulos uno al cinco, los cuales proveen un diagnóstico de la situación actual de calidad del aire y una revisión de los principales esfuerzos institucionales realizados para el control de la contaminación. La segunda parte del documento incluye cuatro capítulos que corresponden a los aspectos propositivos del Programa, presentando por un lado un análisis conceptual inédito de la interacción e interdependencia que guardan las políticas de urbanización, transporte y ambientales, así como un primer inventario de emisiones completo para la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG). Esta segunda parte del Programa también incluye objetivos, metas y acciones concretas, todos ellos expresados en términos cuantitativos y con una definición temporal clara. A continuación se presenta una breve descripción del contenido de cada capítulo.

El primer capítulo provee un marco de referencia y un breve análisis del desarrollo histórico de la ZMG que nos permite entender el proceso que llevó a la ciudad a convertirse en un importante centro comercial y manufacturero, mientras que el resto del estado seguía dedicado fundamentalmente a la actividad agrícola. En el segundo capítulo se explica al lector cuáles son los objetivos principales de este programa, subrayando la importancia de la preservación de la salud de la población. A continuación se presenta una explicación de lo que son las normas de calidad del aire, cómo deben interpretarse en términos del monitoreo atmosférico y, finalmente, una revisión de los principales efectos a la salud causados por los contaminantes de acuerdo a los estudios de exposición y epidemiología ambientales más recientes a nivel internacional.

El capítulo cuarto proporciona, en primer lugar, una descripción de las características de la red automática de monitoreo que opera la Comisión Estatal de Ecología bajo el patrocinio de los H. Ayuntamientos de Guadalajara, Tlaquepaque y Zapopan, para pasar subsecuentemente a un análisis de las tendencias espaciales y temporales de la calidad del aire en la ZMG, indicando el número de días en que se rebasa alguna norma y las zonas de la ciudad donde se presentan los problemas más severos de contaminación. Este análisis permite entender la magnitud del problema y la necesidad de desarrollar un Programa para el control de la contaminación como el que se presenta.

El capítulo cinco ofrece una revisión retrospectiva de los principales esfuerzos realizados en el pasado para controlar y prevenir la contaminación, destacando la elaboración de un Plan de Invierno con la participación de representantes de los sectores gubernamental y no gubernamental, académico y empresarial, que tuvo entre sus principales logros el desarrollo de un primer programa de atención a contingencias ambientales.

La parte propositiva del programa se inicia con el capítulo seis, en el cual se propone un nuevo marco conceptual para analizar la problemática ambiental urbana, fundado en la reflexión que busque las verdaderas causas estructurales de los problemas y que permita definir con claridad lo que es el desarrollo urbano sustentable y cómo pudiera alcanzarse. El capítulo siete presenta el inventario de emisiones contaminantes para la ZMG, en donde cada fuente emisora se ha considerado como un usuario de la cuenca atmosférica, que hace uso de este recurso común ambiental con diferente grado de intensidad. El conocimiento de la importancia relativa de cada una de las fuentes contaminantes permite identificar y aplicar las medidas más efectivas para garantizar una disminución de las emisiones y por tanto una mejoría en la calidad del aire.

El capítulo ocho explica el propósito general del Programa, las metas que persigue y las estrategias que se han identificado para alcanzarlas. Lo anterior con base en una comparación del estado actual de la contaminación en la ZMG con el nivel que se espera alcanzar en el año 2001. El último capítulo consiste en la descripción de las medidas, incluyendo responsables y tiempos de cumplimiento, así como una estimación de la reducción de emisiones que se espera lograr con la aplicación de cada una de ellas.

MARCO DE REFERENCIA

1

1. MARCO DE REFERENCIA

La problemática atmosférica de la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG)¹, como en la mayor parte de las grandes ciudades del país, se encuentra estrechamente relacionada con su esquema de desarrollo histórico. Hasta antes de los años treinta la ZMG dependía fuertemente de las actividades comerciales y agropecuarias. A partir de 1934 se implementó un modelo de desarrollo que prevaleció hasta hace algunos años; Guadalajara se convirtió en un importante centro comercial y manufacturero, en tanto que en el resto del Estado la principal actividad continuaba siendo la agrícola.

La política de estímulos fiscales a las industrias que se instalaron en la ZMG se acompañaron de un intenso proceso de modernización de sus vías de comunicación y de su infraestructura de apoyo. En la época de la posguerra de 1945, se abrieron mejores perspectivas para el crecimiento industrial de la ZMG. En el Valle de Atemajac se establecieron nuevas industrias manufactureras relacionadas con las necesidades del mercado norteamericano. Esto provocó un intenso flujo migratorio a partir de 1965, década en la cual el ritmo de crecimiento poblacional fue el más elevado.

A partir de esas fechas se pensó en instalar un corredor industrial entre las ciudades de Ocotlán y La Barca. Durante los años 70's se establecieron en Guadalajara numerosas industrias extranjeras entre las que sobresalen la fotográfica, la cigarrera, la hulera y la de productos químicos, que se agregaron a las industrias nacionales de producción de alimentos, bebidas y metalurgia.

Estas circunstancias han determinado que en la actualidad, en los cuatro municipios que constituyen la ZMG, de un total de 117, se concentre más del 50% de la población estatal, generándose agudas presiones sociales, demográficas y económicas que demandan espacios, infraestructura y servicios urbanos para satisfacer las necesidades cada vez mayores de una población en rápido crecimiento. Como consecuencia se han generado en la ZMG diversas alteraciones al medio ambiente, destacando por las características urbano-industriales de este asentamiento, la contaminación del aire. Ésta surge como resultado de la existencia de numerosas industrias, por un significativo parque vehicular viejo en mal estado de mantenimiento y por la contribución de polvos de áreas periféricas semiurbanas y rurales con escasa cubierta vegetal.

La contaminación atmosférica está íntimamente ligada con las características y procesos que lleva a cabo la industria y el estado que guarda el parque vehicular de la zona. En este sentido, los inventarios de emisiones a la atmósfera

¹ ZMG. Está integrada por los municipios de Guadalajara, Tlaquepaque, Tonalá y Zapopan.

constituyen una herramienta fundamental para identificar las fuentes contaminantes que tienen la mayor importancia relativa y con ello poder definir estrategias costo-efectivas enfocadas a controlar las emisiones de aquellos sectores que más contribuyen al problema.

En la Tabla 1.1 se muestran los municipios que integran la ZMG, así como su extensión territorial, población y densidad de población por municipio.

Tabla 1.1
Municipios que integran la ZMG

Municipio	Área (km ²)	Población (hab)	Densidad de población (hab/km ²)
Guadalajara	187.9	1'650,092	8,871
Tlaquepaque	270.9	339,569	1,254
Tonalá	119.6	169,784	1,420
Zapopan	893.2	710,972	805
Total de la ZMG	1,471.6	2'870,417	1,951

Fuente: Décimo Primer Censo Poblacional del Estado de Jalisco, INEGI, 1990.

Como se puede observar, existe una mayor densidad de población en el municipio de Guadalajara, seguido de Tonalá, Tlaquepaque y por último Zapopan.

En la Tabla 1.2 se muestran los principales usos de suelo del área urbana de la ZMG.

Tabla 1.2
Usos del suelo

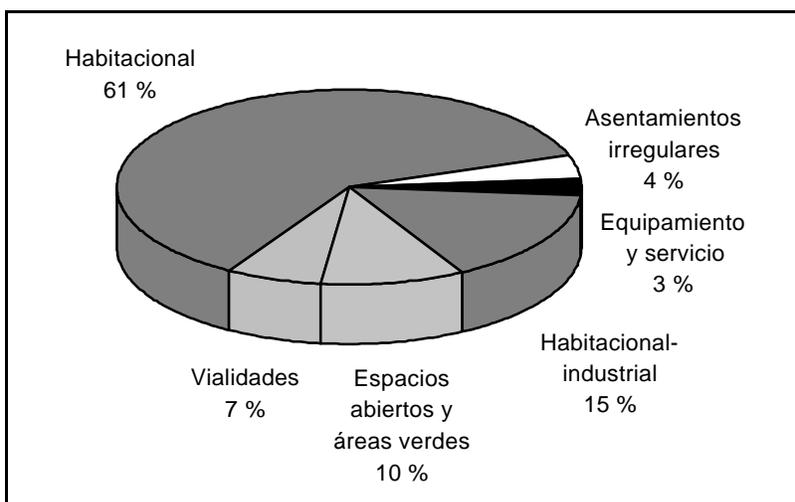
Uso del suelo	Superficie (km ²)	Porcentaje (%)
Habitacional-industrial	87.1	15
Habitacional	343.1	61
Equipamiento y servicios	15.2	3
Espacios abiertos y áreas verdes	56.2	10
Vialidades	37.3	7
Asentamientos irregulares	21.9	4
Total	560.8	100

Fuente: Programa Regional de Administración de la Calidad del Aire en Zonas Críticas, 1994.

De acuerdo a la Figura 1.1, se observa que en esta zona, el uso del suelo está representado principalmente por el uso habitacional con un 61% del total, seguido por un uso mixto habitacional-industrial con un 15%, y el dedicado a espacios abiertos y áreas verdes con el 10% de la superficie. Asimismo, indica la

situación de los asentamientos humanos respecto a los industriales, identificándose una mezcla importante de los usos de suelo que refleja el anarquismo del crecimiento y desarrollo de la capital del estado. Es preocupante la existencia de áreas con un uso habitacional-industrial (15% del territorio de la ZMG), ya que las emisiones de las empresas, por pequeñas que sean, tienen un impacto directo en las zonas circunvecinas próximas.

Figura 1.1
Usos del suelo



Fuente: Programa Regional de Administración de la Calidad del Aire en Zonas Críticas, 1994.

En la Tabla 1.3 y Figura 1.2 se indica la Población Económicamente Activa (PEA) en los diferentes sectores productivos y el porcentaje respectivo para cada municipio de la ZMG.

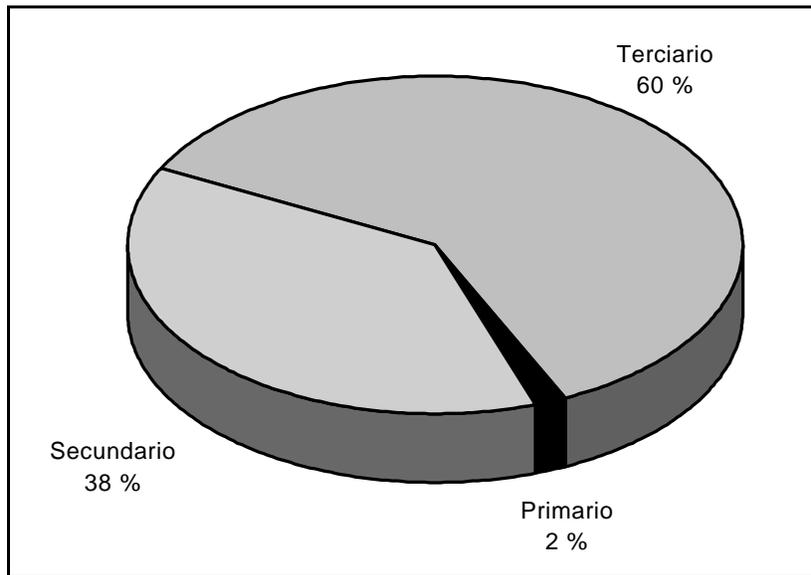
Tabla 1.3
Población económicamente activa por sectores productivos

Municipio	Primario	Secundario	Terciario
Guadalajara	4,365	186,274	339,724
Tlaquepaque	3,430	47,287	46,921
Tonalá	1,991	22,721	21,704
Zapopan	5,841	79,310	130,291
Total	15,627	335,592	538,640

Fuente: XI Censo General de Población y Vivienda, INEGI, 1990.

De acuerdo con los datos presentados, se observa que en la zona conurbada de Guadalajara, aproximadamente el 60% de la población económicamente activa se dedica a las actividades del sector comercio y servicios, el 38% a las actividades industriales y el 2% a la agricultura y ganadería.

Figura 1.2
Distribución sectorial de la población económicamente activa



Fuente: XI Censo General de Población y Vivienda, INEGI, 1990.

OBJETIVOS Y METAS

2

2. OBJETIVOS Y METAS

1. Objetivos generales

Hoy en día la sociedad metropolitana exige el abatimiento de la contaminación atmosférica de la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG). Esta exigencia es un apremio cotidianamente reiterado en público y en privado por todos los sectores sociales, que se ve continuamente reforzado por la difusión de nueva información relativa a los efectos, que sobre la salud de la población, generan los niveles alcanzados por algunos contaminantes. Por ello, la respuesta de los gobiernos federal, estatal y locales involucrados no puede esperar y debe responder a las más altas expectativas sociales.

En este contexto y para que los procesos vitales que mantienen el funcionamiento y generan el crecimiento de la Zona Metropolitana de Guadalajara no sigan deteriorando la calidad del aire, es necesario iniciar de inmediato un gran número de acciones eficaces y complementarias que incluyan a todos los sectores de la sociedad y que produzcan beneficios claros y permanentes a la población; tales acciones han quedado comprendidas en el marco del *Programa para el Mejoramiento de la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana de Guadalajara*.

El Programa tiene como propósito general proteger la salud de la población que habita la zona metropolitana de la capital del Estado, abatiendo para ello de manera gradual y permanente los niveles de contaminación atmosférica. Se fundamenta y se organiza a partir del desarrollo de un nuevo marco conceptual que aborda el problema de la contaminación atmosférica con un enfoque sistémico e integrador y que aprovecha el conocimiento que tenemos hasta ahora de los problemas ambientales, de las tecnologías relevantes y de las experiencias propias e internacionales. Asimismo, ha sido concebido para un horizonte que de acuerdo a los estándares conocidos permita ir resolviendo, de manera realista, el complejo problema de la contaminación atmosférica desde sus causas. En particular, el Programa retoma en algunas de sus partes el marco conceptual y organización del *Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000*, como un medio para plantear y desarrollar un programa integral en la ZMG.

Las soluciones de fondo empiezan por la inducción de un *cambio cultural* profundo y duradero que modifique de raíz nuestra relación con la ciudad y con el medio ambiente. Esto es, se trata de propiciar un cambio gradual pero progresivo en aquellos esquemas de valores y de prioridades de la gente para hacer que correspondan con un proyecto realista de desarrollo urbano sustentable.

Esto significa que, como las soluciones propuestas no son gratuitas y la determinación de avanzar en ellas implica necesariamente que los costos inherentes a su aplicación tengan que ser de alguna manera distribuidos entre todos los sectores que contribuyen al problema, estos últimos deberán mantener un mínimo de buena disposición para aceptar y asumir la parte que les corresponda. No sobra decir a este propósito, que dicha distribución habrá de ajustarse a criterios que aseguren el escenario más justo posible.

Dicho lo anterior, resulta evidente que la calibración de las intensidades de aplicación de las medidas propuestas dependerá fundamentalmente del ánimo de corresponsabilidad y de la disposición al cambio de parte de la sociedad metropolitana. Así, la sociedad y los gobiernos federal y locales habrán de decidir conjuntamente sobre las intensidades y los tiempos de las acciones de combate a la contaminación del aire, en el entendido de que un problema tan serio y tan apremiante y que se ha ido gestando paulatinamente a lo largo de décadas, no podrá resolverse en lo inmediato ni con paliativos recurrentes. Sólo en la medida en que se logre convencer a los miembros de la sociedad metropolitana de su corresponsabilidad en la obtención de soluciones de fondo, se podrá proteger adecuadamente la salud de las generaciones actuales y salvaguardar la de las generaciones futuras.

Las medidas adoptadas en los últimos años tendentes a frenar el deterioro de la calidad del aire en la ZMG han sido mínimas, por lo cual no se han logrado resultados que respondan a las exigencias de esta problemática.

Por otra parte, la dinámica de la contaminación atmosférica es a tal grado compleja, que su evolución nos ha ido revelando dimensiones poco exploradas e incluso desconocidas anteriormente. En este sentido, se ha observado que ciertos contaminantes han alcanzado niveles inaceptables desde cualquier punto de vista, pues los efectos que producen sobre la salud son tan preocupantes como los que provocan sobre los ecosistemas. Este es el caso de los oxidantes fotoquímicos, y en particular del ozono, dado que hasta en el 60% de los días del año se alcanzan niveles que sobrepasan su norma de calidad del aire. Otro caso también serio es el de las partículas suspendidas menores a 10 micrómetros de diámetro aerodinámico (PM10), ya que se han encontrado, a nivel internacional, correlaciones positivas y significativas entre concentraciones ambientales de partículas de la fracción respirable y la morbilidad y mortalidad de las poblaciones. La situación es grave y hay que aceptar la amplitud y profundidad de los procesos que determinan el problema; éste se encuentra muy lejos de estar resuelto y de no confrontarlo desde sus raíces, su evolución en el tiempo puede ir acumulando cada vez mayores complicaciones.

Por ello, uno de los propósitos del *Programa para el Mejoramiento de la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana de Guadalajara* es enfatizar que los esfuerzos de la

sociedad y de los gobiernos deben ser encauzados a partir de conceptos de mayor integración y alcance, que se reconozcan dentro de un *proyecto de ciudad* en el sentido más amplio del término; esto es, que se considere al fenómeno urbano como un sistema abierto y dinámico que incluye e interrelaciona a la calidad del medio ambiente con el funcionamiento de mercados, con procesos vitales como el transporte público y privado, con la estructura vial, con la organización espacial de la ciudad y los patrones de usos del suelo, con el estado de las tecnologías, con los sistemas de información, con los hábitos y las costumbres de la población y, en general, con la cultura urbana y las tendencias inherentes al desarrollo metropolitano.

2. Un nuevo marco de políticas públicas: contexto y perspectivas

El primer paso es presentar un análisis exhaustivo que fundamente y oriente el debate público que habrá de nutrir la construcción de los consensos necesarios, porque es tal la complejidad y el número de variables involucradas, que las soluciones no podrán ser alcanzadas sin el amparo de un proceso de planeación apoyado en el consenso y en una amplia participación de los sectores concurrentes.

Este análisis se fundamenta y se organiza partiendo del desarrollo de un marco conceptual integrado y explora un *espacio de políticas* que, como ya se dijo, responde al conocimiento que tenemos de problemas ambientales, tecnologías y experiencias propias y ajenas.

Desde el punto de vista de su aplicación, este programa puede concebirse como un sistema de instrumentos diversos e interrelacionados, en donde la calidad y los alcances de los resultados generados dependen en buena medida de la conjunción de dos factores: *de la selección adecuada de los instrumentos y de su intensidad de aplicación*.

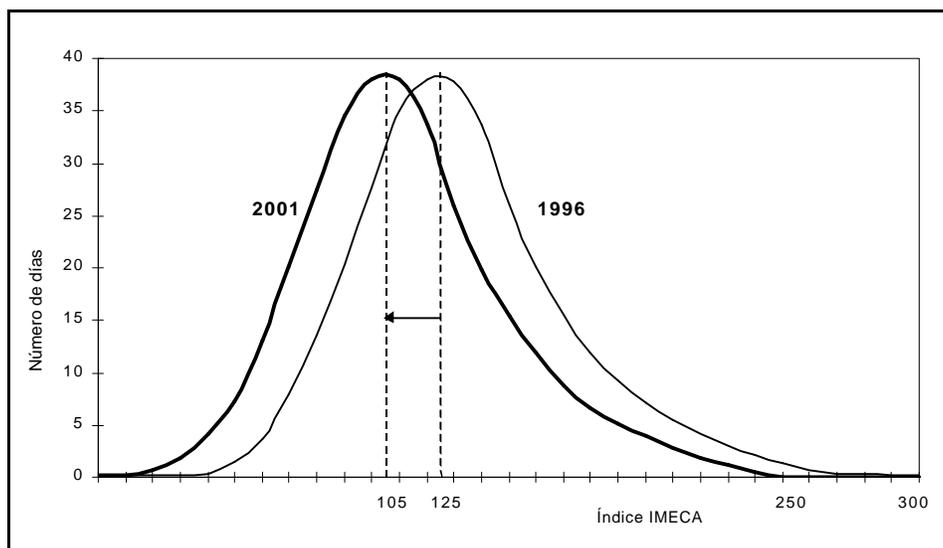
El primero de los puntos anteriores exige la disponibilidad de un número significativo de opciones y la incorporación de criterios que permitan escoger las de mayor costo-efectividad. En cuanto a la programación temporal e intensidad de los instrumentos, éstas deben decidirse principalmente bajo criterios de eficiencia y viabilidad social.

El gobierno federal y los gobiernos locales no pueden renunciar a sus responsabilidades de promover permanentemente la *acción colectiva* en problemas tan complejos como la calidad del aire, orientando la participación de los ciudadanos en acciones que produzcan un claro beneficio social. De ahí la intención de que este documento sea algo más que un marco de referencia conceptual con acciones programadas y se convierta en un vehículo de discusión, de persuasión y de aprendizaje colectivo y un conciliador de iniciativas en un marco lógico y ordenado de ideas.

3. Contenido y procedimiento de análisis

El problema de largo plazo se plantea aquí en términos de cómo escoger, con criterios de costo-efectividad, una combinación de estrategias e instrumentos que reduzcan los niveles de contaminación por día y el número de contingencias por año. Ello implica desplazar la media de la distribución de probabilidad de los índices de calidad del aire hacia la izquierda. La gráfica siguiente presenta una aproximación general de las distribuciones de frecuencias de los valores máximos diarios registrados en 1996 y de los estimados para el año 2001, una vez que se haya instrumentado el Programa en su totalidad.

Figura 2.1
Aproximación general de las distribuciones de frecuencias del IMECA en 1996 y 2001



4. Metas

El reto consiste en escoger una combinación de instrumentos que minimice el costo social de lograr los objetivos planteados. Para ello se requiere la integración de un grupo de estrategias urbano-ambientales que se refuercen y se complementen mutuamente.

A reserva de abundar tanto en las explicaciones del objetivo general como en la de cada una de las metas, a continuación se enuncian las cuatro metas generales y sus respectivas definiciones técnicas:

- **Industria limpia:** reducción de emisiones en la industria y servicios.
- **Vehículos limpios:** disminución de emisiones por kilómetro.
- **Nuevo orden urbano y transporte limpio:** regulación del total de kilómetros recorridos por vehículos automotores.
- **Recuperación ecológica:** abatimiento de la erosión.

5. Estrategias

Las estrategias que permitirán avanzar en el logro de cada una de las metas se definieron con base en las necesidades siguientes: nuevas tecnologías para incrementar la calidad ambiental y la eficiencia energética de los vehículos automotores y de las actividades industriales y de servicios; oferta adecuada y eficiente de transporte público, individual y colectivo; criterios ambientales para el desarrollo urbano; eficiencia y productividad urbanas; educación e información ambientales para propiciar un cambio de preferencias, conductas y actitudes, y para crear y ampliar los espacios de consenso para la aplicación de políticas públicas; participación social en las acciones de mejoramiento ambiental; incidencia directa sobre la demanda general de combustibles, de viajes y de kilómetros recorridos en vehículos automotores.

De esta manera, las estrategias propuestas son las siguientes:

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

**NORMAS DE CALIDAD
DEL AIRE Y SALUD
AMBIENTAL**

3

3. NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE Y SALUD AMBIENTAL

Este capítulo tiene como fin describir el marco normativo vigente para la protección a la salud de la población y mencionar la información disponible sobre los efectos de los contaminantes del aire, ya que posteriormente se describirá la situación actual de la calidad del aire en la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) y se identificarán las fuentes que originan su deterioro.

1. Normas de calidad del aire

Las normas de calidad del aire fijan valores máximos permisibles de concentración de contaminantes, con el propósito de proteger la salud de la población en general y de los grupos de mayor susceptibilidad en particular, para lo cual se incluye un margen adecuado de seguridad. En nuestro país, no han existido los recursos ni la infraestructura suficientes para realizar estudios epidemiológicos, toxicológicos y de exposición, en animales, plantas y seres humanos que permitan obtener la información necesaria para establecer esos valores máximos permisibles, por lo que las normas se establecieron fundamentalmente tomando en cuenta los criterios y estándares adoptados en otros países.

Tabla 3.1
Valores normados para los contaminantes

Contaminante	Valores límite		
	Exposición aguda		Exposición crónica
	Concentración y tiempo promedio	Frecuencia máxima aceptable	(Para protección de la salud de la población susceptible)
Ozono (O ₃)	0.11 ppm (1 Hora)	1 vez cada 3 años	-
Bióxido de azufre (SO ₂)	0.13 ppm (24 Horas)	1 vez al año	0.03 ppm (media aritmética anual)
Bióxido de nitrógeno (NO ₂)	0.21 ppm (1 Hora)	1 vez al año	-
Monóxido de carbono (CO)	11 ppm (8 Horas)	1 vez al año	-
Partículas suspendidas totales (PST)	260 µg/m ³ (24 Horas)	1 vez al año	75 µg/m ³ (media aritmética anual)
Partículas fracción respirable (PM10)	150 µg/m ³ (24 Horas)	1 vez al año	50 µg/m ³ (media aritmética anual)
Plomo (Pb)	-	-	1.5 µg/m ³ (prom. aritmético 3 meses)

Fuente: Diario Oficial de la Federación del 23 de diciembre de 1994.

En el año de 1982 se emitieron los criterios de calidad del aire, los cuales estuvieron vigentes hasta el 23 de diciembre de 1994, fecha en que se publicaron en el Diario Oficial de la Federación las Normas Oficiales Mexicanas para evaluar la Calidad del Aire Ambiente con respecto a ozono, bióxido de azufre, bióxido de nitrógeno, monóxido de carbono, partículas suspendidas totales, partículas menores a 10 micras (PM10) y plomo, las cuales se resumen en la Tabla 3.1.

Estos instrumentos establecen lineamientos para satisfacer las normas de calidad del aire, entre otros, que son de observancia para las autoridades competentes federales y locales, que tengan a su cargo el desarrollo y la aplicación de los planes y programas de política ambiental con fines de protección a la salud de la población, lo que otorga sustento y validez al presente programa, ya que responde a una responsabilidad que compete a las autoridades de los tres niveles de gobierno.

Cabe mencionar que las normas de calidad del aire mexicanas para los contaminantes básicos, también denominados contaminantes criterio, son en general similares a las de otros países y en particular a las de Estados Unidos y Canadá. Así, para el ozono en los E.U.A. el valor horario normado es de 0.12 ppm; para el bióxido de azufre de 0.14 ppm en promedio de 24 horas; para el bióxido de nitrógeno de 0.25 ppm en promedio horario; y para el monóxido de carbono de 9 ppm en promedio de 8 horas.

Los contaminantes generados en la ZMG se miden a través de procedimientos estandarizados a nivel internacional y son representativos de la calidad del aire ambiente en la región urbanizada. Las estaciones de monitoreo están ubicadas de acuerdo a los criterios y normas internacionales y se ubican en sitios representativos. El avance en la tecnología y en el conocimiento científico sobre los efectos de la contaminación en la salud, marca una tendencia a equipar las estaciones de análisis continuo con sensores remotos de largo alcance y con instrumentos de medición para compuestos tóxicos.

2. Análisis continuo microambiental

La exposición de los habitantes de la ciudad a los contaminantes no es siempre igual a la concentración medida en las estaciones de la red automática para la medición de la calidad del aire. Este hecho es particularmente notorio con los contaminantes que presentan un fuerte gradiente de concentración espacial, como el monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno y el plomo. En México, los estudios de exposición personal a contaminantes se encuentran poco desarrollados sin que a la fecha se cuente con un acervo significativo de información al respecto.

Para que exista un efecto en la salud de un individuo, éste debe estar expuesto al contaminante, es decir, entrar en contacto físico con él. El patrón de exposición de una persona a un contaminante depende de tres factores principales:

- El tiempo que la persona pasa en diferentes microambientes como la casa, la oficina, la escuela, el automóvil, el autobús o caminando por una calle congestionada.
- La concentración de contaminantes presente en cada uno de estos microambientes.
- La tasa ventilatoria de la persona, es decir, la cantidad de aire que aspira y espira que es determinada por el tipo de actividad que realiza (dormir, caminar, hacer ejercicio intenso, etc.).

Estudios recientes realizados en los Estados Unidos, han comprobado que aún en situaciones en las que se satisfaga la norma de calidad del aire en los sitios donde se encuentran las estaciones de monitoreo atmosférico, un número considerable de habitantes puede experimentar niveles de exposición que están por arriba de la norma. Por este motivo, resulta necesario complementar las mediciones rutinarias ambientales con mediciones realizadas en diferentes microambientes intra y extra-muros. Un análisis formal de riesgo por exposición a los contaminantes atmosféricos debe combinar esta información microambiental con información sobre los patrones de actividad de diferentes grupos de personas. Sólo de esta forma se podrá estimar el porcentaje de la población que se encuentra expuesta a concentraciones por arriba de la norma de calidad del aire. En México, en la Zona Metropolitana del Valle de México, es probable que se presente esta situación para el caso del monóxido de carbono y el bióxido de nitrógeno que, conforme a la información derivada de la RAMA, no representan un riesgo significativo para la salud. Sin embargo, existen evidencias de una exposición a niveles de contaminación superiores en la vía pública y en los diferentes medios de transporte. Basados en la información anterior se puede suponer que en la Zona Metropolitana de Guadalajara existiría una problemática similar.

A continuación se describen algunas consideraciones sobre los contaminantes de mayor interés en la ZMG y finalmente se expone un resumen de los efectos de la contaminación en la naturaleza.

3. Descripción y efectos de los contaminantes en la salud y en los ecosistemas

Ozono (O₃)

Resultados de numerosos estudios indican que la exposición a ozono puede ocasionar inflamación pulmonar, depresión del sistema inmunológico frente a infecciones pulmonares, cambios agudos en la función, estructura y metabolismo pulmonar; y efectos sistémicos en órganos blandos distantes al pulmón, como por ejemplo, el hígado. Las investigaciones toxicológicas con animales son sumamente útiles pues permiten conocer el espectro completo de los efectos y condiciones de exposición

que no pueden investigarse en seres humanos. La mayoría de los expertos en toxicología aceptan una extrapolación cualitativa entre animales y humanos, o sea que los efectos que causa el ozono en animales pueden presentarse en humanos bajo ciertas condiciones de exposición (dependiendo de la concentración, duración y actividad física realizada). Sin embargo, hay mucho menos consenso con relación a las extrapolaciones cuantitativas, esto es, los niveles de exposición en los que los efectos observados en animales también aparecen en humanos.

Los estudios de exposición en seres humanos se realizan utilizando concentraciones fijas de ozono bajo condiciones cuidadosamente controladas. El propósito fundamental de este tipo de estudios es obtener datos sobre la respuesta a cierto nivel de exposición. Los efectos pulmonares observados en seres humanos saludables expuestos a concentraciones de ozono típicas de zonas urbanas consisten en un decremento de la capacidad inspiratoria, una broncoconstricción moderada y síntomas subjetivos de tos y dolor al inspirar prolongadamente. La reducción de la capacidad inspiratoria da como resultado una reducción en la capacidad vital forzada (CVF) y en la capacidad pulmonar total (CPT), y en combinación con la broncoconstricción contribuye a una reducción en el volumen expiratorio forzado en un segundo (VEF₁).

En los últimos ocho años se ha publicado un considerable número de artículos informando sobre los efectos en la salud causados por el ozono y otros oxidantes fotoquímicos a niveles muy cercanos a la norma actual de la calidad del aire (0.11 ppm en una hora de exposición); algunos de los estudios recientes en los que se expone a individuos por períodos de 1 a 2 horas indican que pueden presentarse decrementos en la función pulmonar en niños y adultos jóvenes cuando se exponen a concentraciones entre 0.12 a 0.16 ppm, mientras llevan a cabo diferentes niveles de ejercicio.

Otros estudios sobre exposición prolongada (hasta 7 horas) a concentraciones bajas de ozono en el intervalo de 0.08 a 0.12 ppm, indican que existe un decremento progresivo de la función pulmonar, así como un incremento en los síntomas respiratorios en situaciones de ejercicio moderado.

Desde una perspectiva de análisis de riesgo, el hecho de que en algunas áreas de la Zona Metropolitana de Guadalajara se rebasa prácticamente la mayor parte del año la norma de ozono, nos permite señalar que un alto porcentaje de la población de la ciudad está expuesta con frecuencia y por períodos de 1 o más horas, a concentraciones de ozono superiores a 0.11 ppm (norma actual). Adicionalmente, un porcentaje importante de la población (aquellos que trabajan o se ejercitan al aire libre) está expuesta con frecuencia a concentraciones por lo menos una y media veces la norma actual. Con estos niveles de exposición, aún los individuos adultos sanos experimentan efectos como irritación severa de las mucosas, resequead y cefaleas; en individuos asmáticos y con otros padecimientos respiratorios se pueden

presentar una disminución significativa de la capacidad pulmonar y otros padecimientos como los descritos al principio de esta sección.

Monóxido de carbono (CO)

Debido al fuerte gradiente espacial que presenta este contaminante, las concentraciones encontradas en microambientes como en las aceras de calles con intenso tránsito vehicular y en el interior de vehículos privados y públicos, son mucho mayores que las concentraciones medidas simultáneamente en las estaciones fijas de análisis continuo. Esto significa que, a pesar de que no se exceda la norma en el ámbito de la estación, puede haber un número considerable de personas que se vean expuestas a niveles muy altos de este contaminante, tal como se comprobó en dos estudios extensos realizados por la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos (USEPA) en las ciudades de Denver, Colorado y Washington, D.C.

Es importante mencionar que luego de revisar la información científica disponible, la USEPA ratificó en 1992 como norma de calidad del aire para monóxido de carbono, un valor de 9 ppm para un promedio móvil de 8 horas. En un individuo promedio este nivel de exposición se traduce en niveles en sangre de carboxihemoglobina (COHb) cercanos al 2%. Estudios de laboratorio han demostrado efectos deletéreos (reducción del tiempo en el que se presenta ataque de angina) en sujetos enfermos de la arteria coronaria a niveles de COHb entre 2% y 2.9%. Estos hallazgos sugieren que convendría revisar el estándar recientemente adoptado en México (11 ppm para 8 horas).

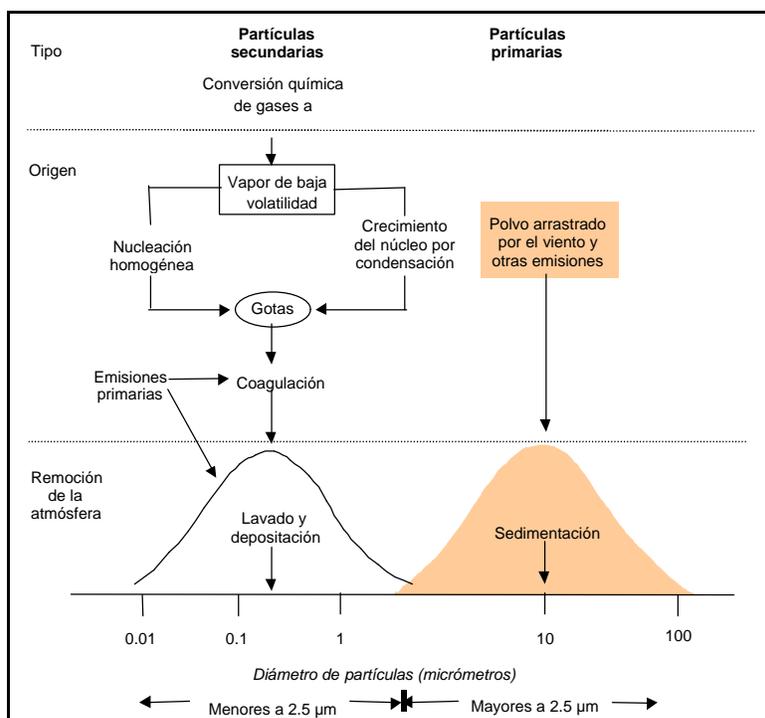
Partículas suspendidas (PST y PM10)

Las partículas pueden tener un origen natural o bien formarse por reacciones fotoquímicas en la atmósfera. Estas últimas pueden estar constituidas por sulfatos y nitratos (y sus ácidos correspondientes) o por carbono orgánico. Por ejemplo, estudios realizados en la Ciudad de México (Ciudad Universitaria) en 1992, indicaron que durante el día muestras de aerosoles de diámetro menor a 2.5 micrómetros, tenían una composición química de 15% de sulfatos, 16% de nitratos, 20% de carbono orgánico y 49% de otros compuestos. También existen partículas y aerosoles en estado líquido que contienen compuestos orgánicos.

El origen de los aerosoles y de las partículas puede atribuirse a la emisión de polvos, gases y vapores provenientes de los vehículos automotores y de las fábricas; así mismo, se pueden formar en la atmósfera a partir de gases y vapores producidos por algunos de los siguientes procesos: reacciones químicas entre contaminantes gaseosos; reacciones químicas entre contaminantes gaseosos sobre la superficie de partículas ya existentes; aglomeración de aerosoles; o reacciones fotoquímicas en las que intervienen compuestos orgánicos (Figura 3.1).

La exposición a las partículas suspendidas puede causar reducción en las funciones pulmonares, lo cual contribuye a aumentar la frecuencia de las enfermedades respiratorias. En concentraciones muy elevadas, ciertas partículas (como el asbesto) pueden provocar cáncer de pulmón y muerte prematura.

Figura 3.1
Distribución por tamaño y origen de partículas ambientales



Fuente: Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000.

En específico, las partículas pueden tener cualquiera de los siguientes efectos:

- Provocar secuelas tóxicas debido a sus inherentes características físicas, químicas o ambas.
- Interferir con uno o más mecanismos del aparato respiratorio.
- Actuar como vehículo de una sustancia tóxica absorbida o adherida a su superficie.

Las partículas en conjunción con el bióxido de azufre provocan respiración agitada, disminución del volumen de las vías respiratorias, dificultad para respirar e irritación en las vías respiratorias de leve a severa. Adicionalmente las partículas muestran impactos sobre la visibilidad, sobre todo las menores a 2.5 mi-

crómetros dado que interfieren con la luz visible. La disminución de la visibilidad se debe a la dispersión y absorción de la luz por los aerosoles o partículas.

Las partículas suspendidas menores a 10 micrómetros de diámetro aerodinámico pueden ser inhaladas y llegar a los pulmones, causando daños a la salud. Se considera que este tipo de partículas es un mejor indicador de la calidad del aire que las partículas suspendidas totales que anteriormente se utilizaban como contaminante criterio. Actualmente, la norma de calidad del aire para PM10 en México y en E.U.A. es de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en promedio de 24 horas de muestreo.

La exposición a PM10 ha generado una creciente preocupación en años recientes, pues día a día aparecen estudios que demuestran una asociación significativa entre la concentración ambiental de partículas de fracción respirable y la mortalidad y morbilidad de las poblaciones. En forma sorprendentemente consistente, a través de muchos estudios se ha encontrado un 2-8% de incremento en la mortalidad normal diaria por cada $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de incremento de PM10 a partir del valor de la norma, siendo la asociación más significativa con cánceres cardiovasculares y de pulmón. Es de especial preocupación el hecho de que no parece existir una concentración mínima en la cual ya no se detecten impactos en la salud.

Tomando en cuenta las concentraciones de PM10 que se presentan cotidianamente en la ZMG se puede concluir que una significativa porción de la población de la ciudad estaría expuesta a concentraciones superiores a los $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (norma actual) y que un número considerable de individuos pudiera estar expuesto a concentraciones mayores. A pesar de que no existen estudios completos realizados en México, los datos arriba mencionados nos indican que la contaminación por partículas suspendidas debe contribuir de manera significativa a la incidencia de enfermedades respiratorias, así como a un incremento en el largo plazo en la mortalidad por encima de los niveles atribuibles a otros factores.

Bióxido de azufre (SO₂)

Los óxidos de azufre son solubles en agua y al hidratarse dan lugar a la formación de ácidos sumamente agresivos. Aquéllos se hidratan con la humedad de las mucosas conjuntiva y respiratoria y constituyen un riesgo por producir irritación e inflamación aguda o crónica y suelen adsorberse en las partículas suspendidas, lo que da lugar a un riesgo mayor, puesto que su acción conjunta es sinérgica.

La magnitud de la respuesta de un individuo asmático es típicamente la broncoconstricción, misma que es variable y diferente para cada persona. Aunque dicha respuesta es inducida por la exposición a cualquier concentración de bióxido de azufre, la realización de una actividad moderada a exposiciones entre 0.4 a 0.5 ppm o mayores, implica un riesgo importante para la salud de la persona; puede que sea necesario no sólo detener su actividad, sino incluso

sona; puede que sea necesario no sólo detener su actividad, sino incluso recibir atención médica.

La combinación del bióxido de azufre con partículas suspendidas, en condiciones favorables para su acumulación y oxidación (la presencia de metales en las partículas favorece la reacción al catalizar la oxidación), ha sido la responsable de episodios poblacionales, así como del incremento de la morbilidad y la mortalidad en enfermos crónicos del corazón y de las vías respiratorias.

Los óxidos de azufre penetran en los pulmones y se convierten en un agente irritante al tracto respiratorio inferior, cuando se absorben en la superficie de las partículas respirables que se inhalan o al disolverse en las gotas de agua que penetran por la misma vía. Tanto la absorción como la conversión a sulfatos tiene lugar en la atmósfera. Los aerosoles sulfatados son agentes irritantes de tres a cuatro veces más potentes que el bióxido de azufre. Estas pequeñas partículas penetran hasta los pulmones, donde se depositan y si el bióxido de azufre no está ya en forma de sulfato, el ambiente húmedo de los pulmones proporciona las condiciones apropiadas para su oxidación.

Los sulfatos constituyen un peligro serio para la salud, habiéndose demostrado que concentraciones muy bajas de ellos (de 8 a 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ejercen efectos adversos sobre los asmáticos, los ancianos y otras personas susceptibles con problemas respiratorios crónicos.

Óxidos de nitrógeno (NOx)

El monóxido y el bióxido de nitrógeno son potencialmente dañinos para la salud humana, estimándose que el bióxido es aproximadamente cuatro veces más tóxico que el monóxido. A la concentración que se encuentra en la atmósfera el óxido nítrico no es irritante y no se le considera como un peligro para la salud; sin embargo, al oxidarse se convierte en bióxido de nitrógeno que sí representa un riesgo para la salud. El óxido nítrico se deriva de los procesos de combustión, es un contaminante primario y juega un doble papel en materia ambiental, ya que se le reconocen efectos potencialmente dañinos de manera directa, al mismo tiempo que es uno de los precursores del ozono y otros oxidantes fotoquímicos.

La acumulación de bióxido de nitrógeno en el cuerpo humano constituye un riesgo para las vías respiratorias, ya que se ha comprobado que puede alterar la capacidad de respuesta de las células en el proceso inflamatorio, como sucede con las células polimorfonucleares, macrófagos alveolares y los linfocitos, siendo más frecuente en casos de bronquitis crónica.

La mayor parte de la información disponible sobre efectos provocados por los óxidos de nitrógeno en cuanto a pruebas con concentraciones reducidas, procede de estudios de laboratorio con personas voluntarias y con animales cuando se trata de concentraciones elevadas. El aumento de la dosis desemboca en una secuencia de efectos: problemas de percepción olfativa, molestias respiratorias, dolores respiratorios agudos, edema pulmonar (acumulación de fluidos) y, finalmente, la muerte.

Plomo (Pb)

El plomo es uno de los metales pesados más ampliamente distribuidos en toda la superficie de la tierra y, por consecuencia, el riesgo de exposición de la población en general es muy variado. La forma química del plomo es un factor importante que afecta su comportamiento biológico en el cuerpo humano: los compuestos del plomo orgánico son absorbidos rápidamente a través de la piel o las membranas mucosas y los compuestos de plomo inorgánico son absorbidos primariamente a través de los tractos gastrointestinal y respiratorio.

Su utilización en forma de compuestos orgánicos, como tetraetilo de plomo en la gasolina, ha propiciado su difusión en la atmósfera. El plomo puede ingresar al organismo por vía digestiva, riesgo más frecuente por la ubicuidad de sus aplicaciones, o bien por vía respiratoria, riesgo menos frecuente pero más directo: de la primera vía se absorbe el 10%, de la respiratoria se puede absorber hasta el 40%.

El plomo da lugar a intoxicación aguda o bien se acumula de manera permanente en dientes, huesos y sistema hematopoyético. Se le asocia a alteraciones en el desarrollo del sistema nervioso central, así como a fenómenos de interferencia con los mecanismos de defensa del organismo donde participe el sistema retículo endotelial.

Normalmente el plomo de la corriente sanguínea se almacena en los huesos o es excretado por la orina; estos mecanismos evitan la acumulación de grandes cantidades en los tejidos blandos y en los fluidos somáticos. La vida media del plomo en los huesos del ser humano se estima entre 2 y 3 años y puede movilizarse cuando la persona está sujeta a enfermedades febriles, como consecuencia de tratamientos con cortisona y también a causa de la vejez, desplazándose a otras partes del cuerpo, mucho tiempo después de la absorción inicial. El primer síntoma de envenenamiento por plomo es la anemia.

Compuestos orgánicos volátiles (COV) y otros tóxicos

Además de su función como precursores de la formación de ozono y otros oxidantes, los compuestos orgánicos volátiles son motivo de especial preocupación debido a su alta toxicidad en los seres humanos. En México aún no se im-

planta un programa continuo y de amplia cobertura de análisis atmosférico de COV, ni tampoco se ha establecido una norma de calidad del aire para estos compuestos. En los Estados Unidos, a pesar de que se realizan mediciones de COV en muchas ciudades, no constituyen por sí mismos un parámetro de calidad del aire, debido a la diversidad de sus especies, de sus propiedades tóxicas y de su alta reactividad. A pesar de las dificultades para el establecimiento de normas para COV, algunos de estos tóxicos como el benceno, el formaldehído, el acetaldehído y el 1,3-butadieno deberían analizarse periódicamente para identificar y prevenir problemas potenciales de salud ambiental.

Benceno

El benceno es un compuesto clasificado por la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer como carcinógeno del Grupo 1, lo que significa que existe suficiente evidencia científica para probar una relación positiva entre la exposición al compuesto tóxico y el desarrollo del cáncer. Más específicamente, se ha encontrado que los trabajadores expuestos al benceno tienen una mayor probabilidad de desarrollar leucemia aguda que la población en general. Asimismo, se sabe que el benceno tiene efectos hematológicos, inmunológicos y sobre el sistema nervioso central.

En estudios de exposición ambiental realizados en Los Ángeles, se encontró que la principal fuente de exposición al benceno es el cigarro (39%) y la principal fuente de benceno en la atmósfera son las emisiones de los vehículos automotores (82%), así como las pérdidas evaporativas de hidrocarburos durante el manejo, distribución, almacenamiento y abastecimiento de gasolina. A pesar de que el contenido de benceno en la gasolina en México es relativamente bajo (menos del 2%), debido a su toxicidad y al alto consumo de este combustible en la Zona Metropolitana de Guadalajara, es necesario establecer estaciones de medición y realizar estudios de exposición para poder llevar a cabo un análisis de riesgo que indique el porcentaje de la población que se encuentra expuesta a niveles inaceptables de este hidrocarburo.

Formaldehído

El formaldehído puede ser emitido por vehículos automotores o ser producido por reacciones fotoquímicas en la atmósfera. Las emisiones de formaldehído de origen vehicular se incrementan con el uso de gasolinas oxigenadas.

Está bien documentado el hecho de que el formaldehído ocasiona irritación ocular y nasal, irritación de las membranas mucosas, tos, náusea y alteraciones en la respiración. El formaldehído ha sido asociado con cáncer nasal y nasofaríngeo, principalmente en ambientes ocupacionales. La exposición al formaldehído debe reducirse no sólo por su probable efecto carcinógeno, sino también por su potencial para

causar daño tisular. Algunos estudios epidemiológicos recientes sobre el formaldehído sugieren que el umbral para daño tisular es $1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$; sin embargo, es muy difícil hacer una evaluación de riesgo formal del efecto como carcinógeno debido al limitado número de datos disponibles actualmente.

Hidrocarburos policíclicos aromáticos (HPA)

Los HPA son un grupo de compuestos químicos que se forman durante la combustión incompleta de la madera y otros combustibles fósiles. Las concentraciones de estos compuestos pueden ser bastante altas en las emisiones de los vehículos que usan diesel. Uno de los HPA más conocidos es el benzo- α -pireno. Estos compuestos pueden ser absorbidos en el intestino y en los pulmones.

Existe bastante evidencia experimental que indica que los HPA son mutagénicos y carcinogénicos. Estudios específicos indican un riesgo mayor de desarrollar cáncer en personas ocupacionalmente expuestas a los HPA. Más específicamente, se ha encontrado que individuos que trabajan como conductores de camiones o mensajeros tienen un riesgo significativamente mayor de contraer cáncer de vejiga.

Se puede concluir que a pesar de que se cuenta con un sistema de análisis continuo adecuado para los contaminantes que tradicionalmente se miden en un centro urbano, es recomendable llevar a cabo un seguimiento de las concentraciones de algunos compuestos tóxicos aún no incluidos entre los contaminantes tradicionalmente analizados en la Zona Metropolitana de Guadalajara.

Efectos sobre los ecosistemas

Los contaminantes atmosféricos también causan daños a la vegetación: los daños a los bosques son muy importantes así como la disminución de la productividad en zonas de cultivo. Los daños se deben principalmente al efecto de la precipitación o lluvia ácida y a los oxidantes fotoquímicos. Una característica importante de estas formas de contaminación es que sus impactos van más allá de la escala local, afectando amplias regiones que en ocasiones rebasan las fronteras del país generador de los contaminantes.

Efectos en la salud de la población de la ZMG

Los estudios sobre efectos de los contaminantes del aire en la salud de los habitantes de la ZMG son aún escasos y se pueden considerar prácticamente inexistentes, ya que no han sido elaborados con una metodología uniforme y válida para identificar y establecer los efectos de la contaminación del aire sobre la población. Adicionalmente, la carencia de recursos necesarios para desarrollar una infraestructura que permita realizar estudios toxicológicos y epidemiológicos, es otro factor que influye directamente para la determinación de los daños posibles que puedan ser causados a la salud de la población.

CONDICIONES FÍSICAS Y CALIDAD DEL AIRE

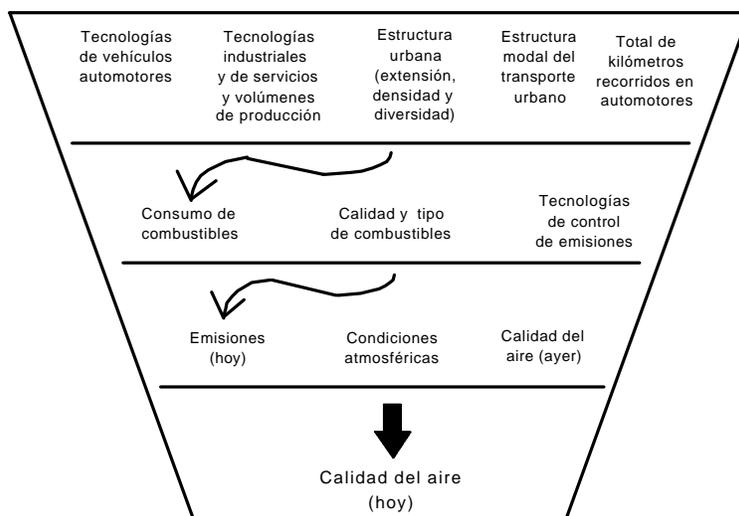
4

4. CONDICIONES FÍSICAS Y CALIDAD DEL AIRE

Mejorar la calidad del aire que respiramos es uno de los desafíos que más interesa y preocupa a quienes habitamos en la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG). Este no es un reto sencillo, ya que los problemas de contaminación atmosférica que afectan la calidad del aire son el reflejo de profundas implicaciones estructurales, funcionales y territoriales, vinculadas con la forma en que usamos y manejamos la cuenca atmosférica en donde se ubica nuestra metrópoli.

La calidad del aire de una cuenca atmosférica depende, en primera instancia, del volumen de contaminantes emitidos, del comportamiento físicoquímico de éstos y de la dinámica meteorológica que determina su dispersión, transformación y remoción en la atmósfera. La magnitud de las emisiones contaminantes depende a su vez de diversas variables intrínsecas a los múltiples e intensos procesos urbanos que se desarrollan en la ciudad, en un complejo sistema de interacciones que se ilustra en forma simplificada en la Figura 4.1.

Figura 4.1
Factores determinantes de la calidad del aire



Fuente: Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000.

En los párrafos siguientes, se presenta un breve análisis de las condiciones meteorológicas que influyen sobre la calidad del aire en la ZMG. Como se verá, estas condiciones están determinadas por diversos factores tanto de carácter local como regional. Asimismo, se describe el comportamiento histórico y las tenden-

cias de los principales indicadores de la calidad del aire, conforme a los datos registrados por la red de monitoreo en los últimos años.

1. Condiciones geográficas

La ZMG se ubica en el centro del Estado de Jalisco, a una latitud de 20°39'54"N, longitud de 103°18'42" W y una altitud de 1,540 metros sobre el nivel del mar, se sitúa en la cuenca del Valle del Río Grande de Santiago, en los Valles de Atemajac y la Planicie de Tonalá, entre las zonas montañosas de la Sierra Madre Occidental y el Eje Neovolcánico. Las montañas que circundan la zona son: al noroeste la Sierra de San Esteban; al sureste, la Serranía de San Nicolás y los conjuntos montañosos Cerro Escondido-San Martín y El Tapatío-La Reyna; al sur, el Cerro del Cuatro-Gachupín-Santa María; y al oeste, la Sierra de la Primavera. Estas sierras constituyen parcialmente una barrera física natural para la circulación del viento, impidiendo el desalojo del aire contaminado fuera de la ZMG. El terreno donde se ubica la zona metropolitana tiene pendientes variables con un promedio de 3%.

2. Condiciones meteorológicas

A continuación se presenta una breve descripción de las condiciones meteorológicas típicas, a nivel local y regional, que caracterizan a la ZMG.

2.1. Condiciones meteorológicas regionales típicas

La ZMG se encuentra afectada la mayor parte del año por la afluencia de aire marítimo tropical. Sin embargo, en el transcurso del año una gran variedad de fenómenos meteorológicos de escala regional, en superficie y en la atmósfera superior, tienen influencia sobre las condiciones meteorológicas de la zona metropolitana.

La ZMG por estar situada en la región central del país, está sujeta también a la influencia de sistemas anticiclónicos, generados tanto en el Golfo de México como en el Océano Pacífico. Estos sistemas ocasionan una gran estabilidad atmosférica, inhibiendo el mezclado vertical del aire. Así mismo, recibe una abundante radiación solar debido a su latitud de 20°N, lo que hace que su atmósfera sea altamente foto-reactiva. En presencia de la luz solar, los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno reaccionan fácilmente para formar ozono y otros oxidantes.

Época de invierno

En esta época (conocida también como "seca"), el anticiclón del Pacífico (es decir la zona de alta presión, con movimiento descendente del aire y vientos débiles en superficie), al bajar de latitud genera vientos occidentales que favorecen la entrada de aire marítimo tropical, con un ligero contenido de humedad, generando lluvias poco

importantes. Sin embargo, de manera temporal, la presencia de la Corriente de Chorro (o de vientos máximos) en los niveles superiores de la atmósfera, llega a reflejar una intensificación de los vientos occidentales en superficie y un aumento en el aporte de humedad, generando algunas precipitaciones.

Durante la misma época se presentan invasiones de masas de aire frío y seco que penetran por la región norte del país y avanzan hacia la región central, llegando a extenderse hasta la ZMG, provocando descensos de temperatura, algunas heladas y estratificación de las capas atmosféricas, intensificando con ello el fenómeno de la inversión térmica.

Época de verano

En esta época (conocida como “de lluvias”) la ZMG se ve afectada por la entrada de aire cálido y húmedo procedente del Océano Pacífico, del Golfo de México y del Mar Caribe, provocando altas temperaturas y favoreciendo el movimiento vertical ascendente del aire, disminuyendo con ello la presencia, intensidad y espesor de las inversiones térmicas. Por otra parte, la influencia del Golfo de México y Mar Caribe se manifiesta como un aumento de humedad en la ZMG, debido al constante avance de ondas tropicales, provocando importantes cantidades de lluvia y vientos de componente oriental.

En el caso del Océano Pacífico, el transporte de humedad es favorecido por el desplazamiento de masas de aire hacia latitudes mayores de la zona intertropical de convergencia, la que al activarse ocasiona fuertes desprendimientos de humedad hacia los estados del Pacífico central, generando un aumento de cielos nublados e intensas precipitaciones.

Durante la misma época se desarrollan importantes sistemas tropicales sobre el Océano Pacífico oriental, como son las perturbaciones, depresiones, tormentas tropicales y huracanes. Dichos sistemas llegan a provocar, de acuerdo a su circulación ciclónica y cercanía a tierra, la entrada de bandas nubosas y altas cantidades de precipitación con una intensificación de los vientos, los cuales llegan a la ZMG ligeramente degradados.

2.2. Condiciones meteorológicas locales típicas

Para el siguiente análisis se emplearon los parámetros calculados a partir del radiosondeo atmosférico de Guadalajara, para el período de 1993-1994.

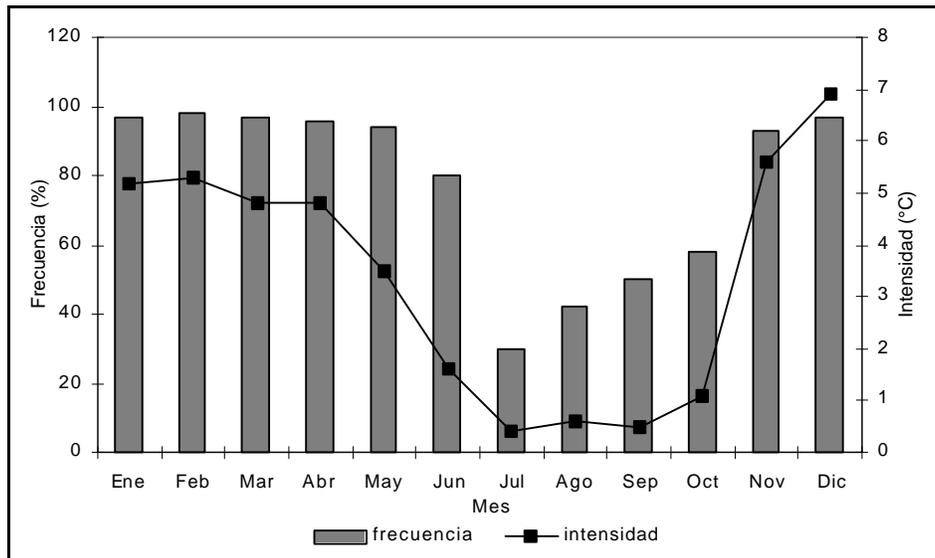
Inversión térmica

Las inversiones térmicas provocan el estancamiento de los contaminantes. Por la noche y temprano en las mañanas, la capa de aire que se encuentra en contacto

con la superficie del suelo adquiere una temperatura menor que las capas superiores, volviéndose más densa y pesada. Las capas de aire que se encuentran a mayor altura y que están relativamente más calientes, actúan entonces como una cubierta que impide el movimiento ascendente del aire contaminado.

La información de frecuencias de ocurrencia de la inversión térmica (Figura 4.2), muestra que ésta se presenta en la ZMG durante 283 días del año, es decir un 78% de los días, siendo los periodos de enero a junio y noviembre a diciembre, cuando su presencia se da prácticamente en todos los días del mes. Para los meses de julio a octubre, su frecuencia llega a ser menor al 50% de los días del mes.

Figura 4.2
Frecuencia e intensidad promedio de las inversiones térmicas en la ZMG (1993-1994)



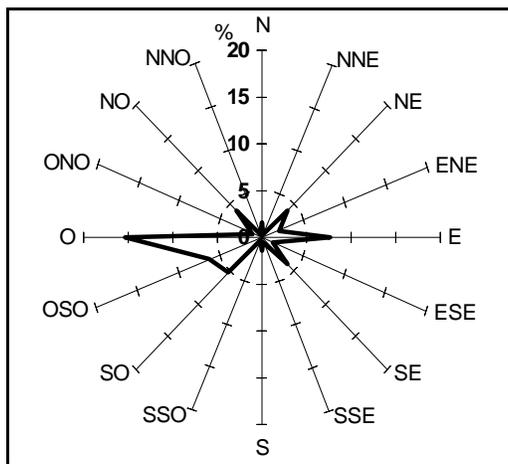
Asimismo, la inversión térmica alcanza sus valores más altos de intensidad en el mismo período en que se presenta con mayor incidencia (Figura 4.2); esto es, en las épocas de invierno-primavera y la mayor parte del otoño. En diciembre, la intensidad de la inversión térmica ha llegado a presentar valores máximos de hasta 12°C. Durante la mayor parte del período de lluvias, de junio a septiembre, e inclusive octubre, la intensidad promedio mensual de las inversiones térmicas es menor a 1°C.

El espesor de la inversión térmica es típicamente de decenas a algunos cientos de metros, siendo mayor en la época de secas y relacionada con temperaturas de rupturas de cerca de 13°C para los meses más fríos del año (enero y febrero).

Rosa de vientos y patrones generales de circulación en superficie

La Figura 4.3 muestra la rosa de vientos en superficie de la ZMG para el período de 1985 a 1990.

Figura 4.3
Rosa de vientos dominantes en Guadalajara
(1985-1990), porcentaje y dirección



El viento dominante proviene del oeste con el 15.5% de la frecuencia total, siguiéndole los vientos del este con el 7.5%. En ambos casos, sus velocidades son de entre 5 a 20 km/h y en forma temporal presentan velocidades de 21 a 35 km/h. Así mismo, se observa que los períodos de calma (ausencia de viento y/o vientos muy débiles menores a 4 km/h), alcanzan una frecuencia del 44.3%, lo cual indica el gran potencial de acumulación de los contaminantes por falta de ventilación en la ZMG.

El viento manifiesta dos patrones principales de circulación; el primer patrón con 33% de la frecuencia total, indica un flujo de vientos occidentales, incluyendo las direcciones suroeste, oeste-suroeste, oeste, oeste-noroeste y noroeste, para las épocas de invierno-primavera; el segundo patrón en importancia, con el 18% de incidencia, son los vientos orientales que incluye a las direcciones noreste, este-noreste, este, este-sureste y sureste para las épocas de verano-otoño. Con relación a los vientos provenientes del norte y sur, ambos comparten sólo el 5% de la frecuencia total, representando una incidencia poco importante en la circulación local.

En la siguiente tabla se presentan algunos de los parámetros meteorológicos promedio de 30 años.

Tabla 4.1
Comportamiento de parámetros meteorológicos
promedio de 30 años en la ZMG

Parámetro	Registro
Temperatura media mensual	22.8 °C
Temperatura máxima promedio mensual	33.3 °C (mayo)
Temperatura máxima extrema	36.1 °C (mayo 1983)
Temperatura mínima promedio mensual	4.8 °C (diciembre)
Temperatura mínima extrema	-5.5 °C (enero 1955)
Precipitación media mensual	> a 100 mm
Precipitación máxima mensual	269.4 mm (julio)
Días despejados, promedio mensual	19.1 (marzo)
Días despejados, mínimo mensual	1 (julio)
Días nublados, promedio mensual	17.8 (julio-septiembre)
Insolación mensual	> en marzo y junio
Días con lluvia, promedio anual	99.9 mm (julio es el más lluvioso y marzo el más seco)
Días con granizo, promedio anual	2.7 (agosto el mayor y febrero el menor)
Días con tempestad eléctrica, promedio anual	13.3 (julio el mayor y el menor marzo)
Días con niebla, promedio anual	14.3 (octubre el mayor y el menor marzo)
Días con nevadas, promedio anual	0.03

3. Monitoreo de la Calidad del Aire

Los antecedentes sobre el monitoreo de la calidad del aire en la ZMG, como en el caso de las Ciudades de México y Monterrey, datan de 1973, año en el cual el Gobierno de la República y las Naciones Unidas iniciaron un proyecto que incluyó el diagnóstico de la calidad del aire, la elaboración del inventario de emisiones, el monitoreo atmosférico, el análisis del costo beneficio del control de la contaminación del aire, la capacitación de personal, el desarrollo de programas de prevención y control, entre otras acciones.

Formalmente, el monitoreo de la calidad del aire en la ZMG se inició en 1975, interrumpiéndose cuatro años más tarde. Años después se rehabilitó la red manual y hasta 1991 estuvo constituida por 15 estaciones donde se muestreaba principalmente, partículas suspendidas totales y plomo. Fue hasta el año de 1993 que se puso en marcha la actual red automática de medición continua.

3.1. Distribución del equipo de monitoreo

La tabla siguiente presenta la distribución y localización de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico y de las pantallas informativas con las que se da a conocer permanentemente la información a la población.

Tabla 4.2
Red automática de monitoreo atmosférico

Municipio	Estación	Domicilio
Guadalajara	<i>Vallarta</i>	Calle Coras entre las calles Lacandones y Rincón del Nardo, Residencial Juan Manuel. Ubicación: se encuentra sobre la azotea de "Plaza México" en el lado norte de ésta.
	<i>Centro</i>	Calle Churubusco # 143 entre las calles Dionisio Rodríguez y Javier Mina, Sector Libertad. Ubicación: sobre el lado oriente de la azotea del Centro de Salud No. 1.
	<i>Miravalle</i>	Avenida Gobernador Curiel cruce con la avenida de la Pintura, colonia Miravalle. Ubicación: en el lado norte de la azotea de la clínica del IMSS No. 2.
	<i>Oblatos</i>	Avelino M. Presa # 1685, Colonia Oblatos. Ubicación: en el lado oriente del patio de la escuela para niños con problemas de aprendizaje.
Zapopan	<i>Atemajac</i>	Calle Zaragoza esquina Niños Héroes. Ubicación: en el lado sur de la azotea de la Unidad Administrativa de Atemajac.
	<i>Águilas</i>	Avenida Adolfo López Mateos # 5250. Ubicación: en el lado suroriental de la azotea de la Unidad Administrativa Sur de Zapopan.
Tonalá	<i>Loma Dorada</i>	Calle Loma Plana Norte y cruce con Loma Plana Sur. Ubicación: en el lado norte del Jardín del Registro Civil de Loma Dorada.
Tlaquepaque	<i>Tlaquepaque</i>	Calle Constitución 159 esquina con Prisciliano Sánchez. Ubicación: en el lado sur de la azotea de la Biblioteca Flavio Romero de Velasco.

Tabla 4.3
Pantallas informativas de la calidad del aire

Guadalajara	<i>Pantalla Informativa: "Colón"</i>	En el cruce de las avenidas Adolfo López Mateos y Las Américas, frente a la Torre Américas.
	<i>Pantalla Informativa: "Agua Azul"</i>	En el cruce de la Calzada Independencia y la Avenida Constituyentes, frente a la Biblioteca del Estado y el Parque Agua Azul.
	<i>Pantalla Informativa: "Normal"</i>	En el cruce de las avenidas Manuel Ávila Camacho y Alcalde, frente a la glorieta de la Normal, afuera de Banca PROMEX.
	<i>Pantalla Informativa: "Charro"</i>	En el cruce de las avenidas Revolución y Chamizal, frente a la Glorieta del Charro.
Zapopan	<i>Pantalla Informativa: "Zapopan"</i>	En el cruce de las avenidas Manuel Ávila Camacho y Las Américas, en el cruce Cuatro Caminos.
	<i>Pantalla Informativa: "Plaza del Sol"</i>	En el cruce de las avenidas Adolfo López Mateos y Mariano Otero en la glorieta frente al Hotel Plaza del Sol y la gasolinera.

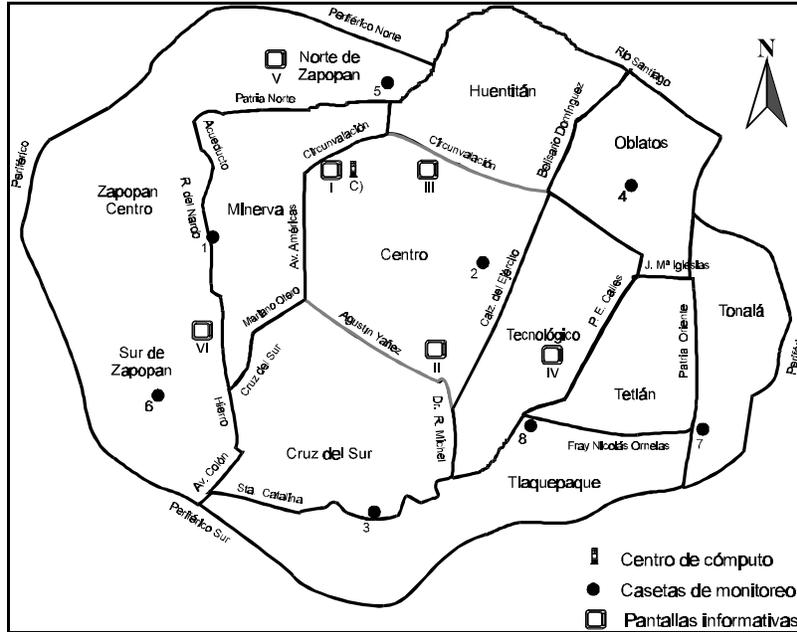
En todas las estaciones de la red automática se encuentra instalado el equipo mostrado en la Tabla 4.4, se ubican como se indica en la Figura 4.4 y se muestra su composición esquemática en la Figura 4.5.

Tabla 4.4
Características del equipo de monitoreo atmosférico

Parámetro	Tipo de analizador	Rango de medición
Ozono (O ₃)	Lear Siegler mod. 9810 Fotometría ultravioleta no dispersiva	Rango: 0.000 - 0.500 ppm Temperatura ambiente: 15 - 35 °C Voltaje: 105 - 125 volts, 60 Hz Régimen de flujo: 0.5 l/min
Óxidos de nitrógeno (NO _x , NO y NO ₂)	Lear Siegler mod. 9841 Detección quimioluminiscente de gases	Rango: 0.000 - 0.500 ppm Temperatura ambiente: 15 - 35 °C Voltaje: 105 - 125 volts, 60 Hz Régimen de flujo: 0.32 l/min.
Bióxido de azufre (SO ₂)	Lear Siegler mod. 9850 Espectrometría por fluorescencia de luz ultravioleta	Rango: 0.000 - 0.500 ppm Temperatura ambiente: 15 - 35 °C Voltaje: 105 - 125 volts, 60 Hz Régimen de flujo: 0.5 l/min
Monóxido de carbono (CO)	Lear Siegler mod. 9830 Fotometría infrarroja no dispersiva	Rango: 0 - 50 ppm Temperatura ambiente: 15 - 35 °C Voltaje: 105 - 125 volts, 60 Hz Régimen de flujo: 1.0 l/min.
Partículas menores a 10 micras (PM10)	Rupprecht & Pathashnick mod. TEOM SERIES 1400a Gravimetría	Rango: 0.005 - 1 g/m ³ Temperatura de la muestra: 50 °C Régimen de flujo principal: 0.5 l/min Régimen de flujo para la entrada de muestreo: 16.7 l/min.
Hidrocarburos (MHC y THC)	Horiba mod. Apha-350E Ionización de flama	Rango: 0 - 50 ppm Temperatura ambiente: 0 - 40 °C Tiempo de respuesta 1 min
Partículas suspendidas totales (PST)	Analizador de alto volumen marca GMW Gravimetría	Rango: autorango
Plomo (Pb)	Analizador de alto volumen Marca GMW Absorción atómica	Rango: autorango

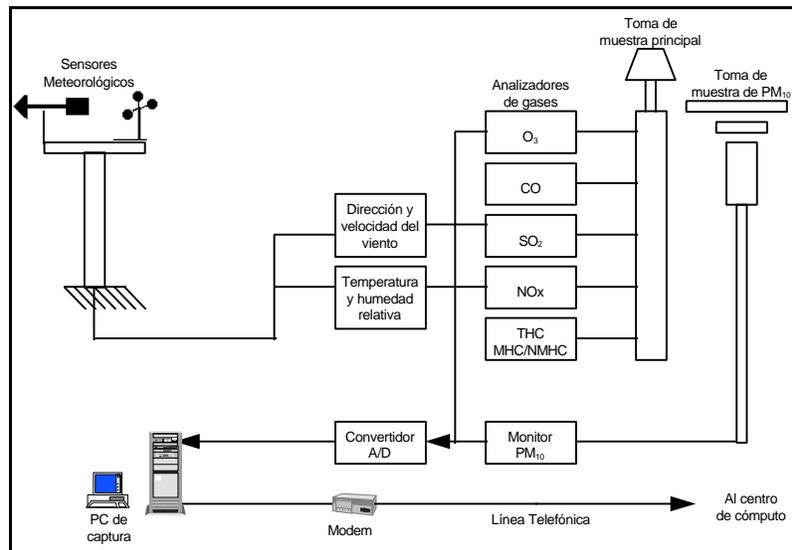
El costo total de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico fue de siete millones ciento noventa mil pesos y los recursos económicos para su adquisición fueron aportados de la siguiente forma: el Gobierno del Estado con el 68.5%, la Sedesol el 12.5%, el municipio de Guadalajara el 12.5% y el municipio de Zapopan el 6.5%.

Figura 4.4
Distribución del sistema de monitoreo atmosférico de la ZMG



Nota: Los equipos de la red manual se encuentran fuera de operación.

Figura 4.5
Composición esquemática de una estación automática de monitoreo



Los recursos económicos para la operación del sistema de monitoreo atmosférico se obtienen de los municipios de Guadalajara, Zapopan, Tlaquepaque y del Gobierno del Estado. La aportación económica mensual de cada uno de ellos es de:

Municipio de Guadalajara	\$22,500.00
Municipio de Zapopan	\$9,000.00
Municipio de Tlaquepaque	\$5,625.00
Gobierno del Estado	\$15,000.00 (aportación hasta el mes de junio de 1996).

El grupo encargado de la operación y mantenimiento del sistema de monitoreo está formado por 1 coordinador operativo y 3 técnicos de campo.

Figura 4.6
Organigrama del sistema de monitoreo atmosférico de la ZMG



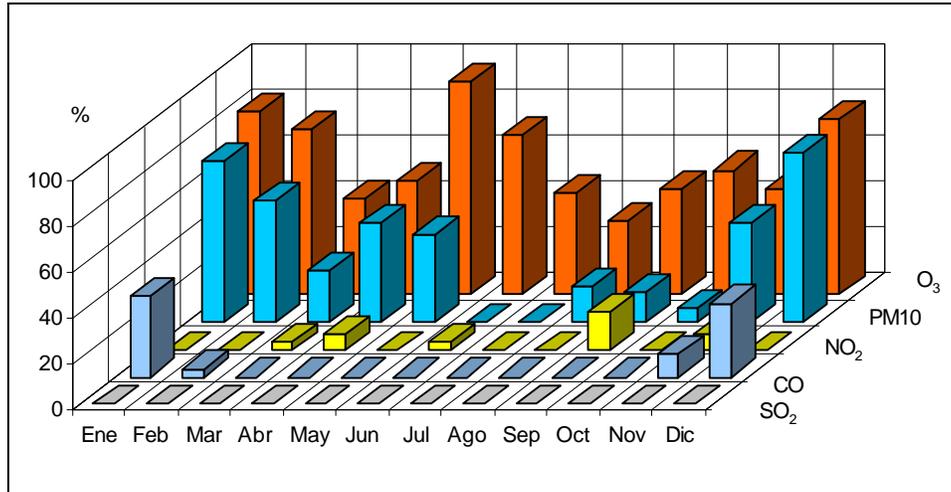
4. Análisis de la calidad del aire

Debido a discontinuidades en la operación de la red de medición de la calidad del aire, los análisis que se presentan a continuación, en particular cuando se hacen comparaciones entre los diferentes años, deben ser leídos con precaución, ya que el número de días de información disponibles para 1995 fue sensiblemente menor al que se tuvo para 1994 y 1996 (un poco más de 200 días para 1995). Por otra parte, se considera que el contar con sólo 3 años de información no es suficiente para apreciar tendencias estadísticas robustas, debido a que variaciones de corte anual pueden influir marcadamente en los datos de un año en particular.

4.1. Tendencias de la calidad del aire

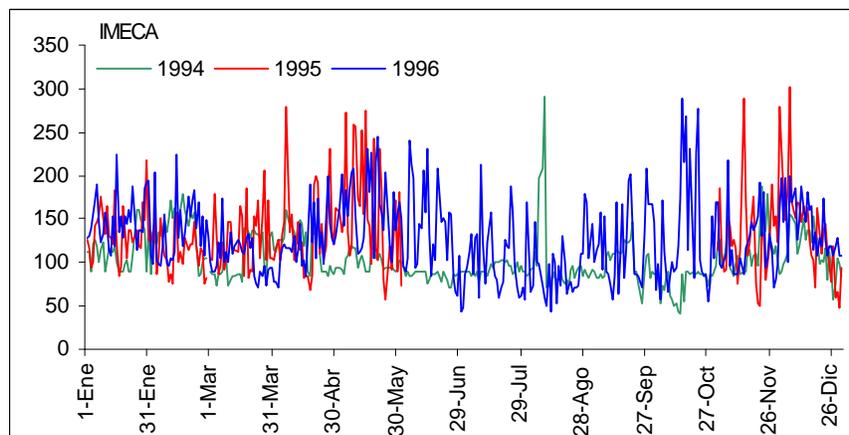
La Figura 4.7 muestra el porcentaje de días en que han ocurrido violaciones a las normas de calidad del aire para los contaminantes criterio durante los doce meses de 1996. Al igual que en la ZMVM, el contaminante que con mayor frecuencia rebasa la norma de calidad del aire es el ozono, llegando a alcanzar un valor de 90% de los días durante el mes de mayo. Coincidentemente con el caso de la ZMVM, en Guadalajara también son las PM10 la segunda causa de preocupación, pues durante los primeros cuatro meses del año se rebasó la norma para este contaminante en más del 40% de los días. En este período no se rebasó la norma de bióxido de azufre y sólo ocasionalmente la del bióxido de nitrógeno, mientras que la de monóxido de carbono se rebasó en contadas ocasiones durante los meses de enero, febrero y diciembre.

Figura 4.7
Porcentaje de días con violaciones a las normas
por contaminante en la ZMG de enero a diciembre de 1996



La gráfica siguiente presenta los valores IMECA máximos diarios en Guadalajara de enero a diciembre de los años 1994, 1995 y 1996, destacándose que en los tres años se registraron niveles IMECA superiores a los 200 puntos, en particular durante 1996 de octubre a diciembre, se tuvieron picos superiores o similares a los de años anteriores.

Figura 4.8
IMECA máximo diario en la ZMG de enero a diciembre 1994-1996



En la Tabla 4.5 se muestra el porcentaje y número de días por encima de los 100, 150, 200 y 250 puntos IMECA en la ZMG, durante el periodo enero-mayo y

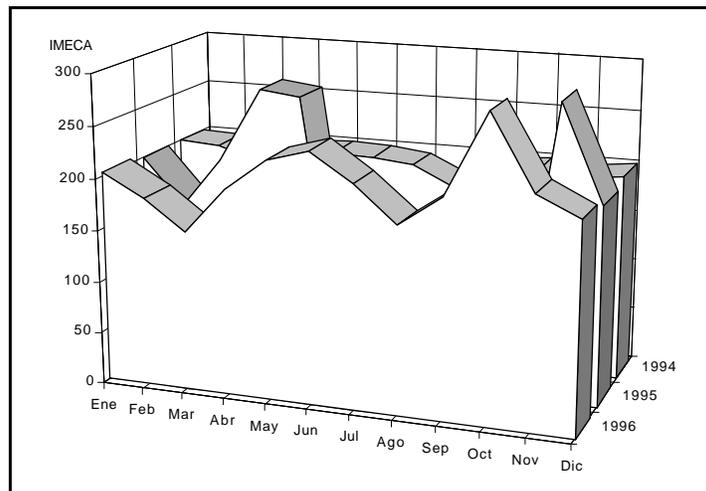
noviembre-diciembre de los años 1994, 1995 y 1996 pues sólo para este período se podían acoplar las bases de datos. Se puede apreciar una disminución del porcentaje de días en que se rebasaron los 100 puntos IMECA en 1995 y 1996 en comparación con 1994. En los tres años se presentaron algunos valores superiores a los 200 puntos IMECA. Aunque de todo el período que comprende el análisis presentado en la tabla, sólo en 1995 se registraron mediciones por arriba de los 250 IMECA, en el período enero-diciembre de 1996 ocurrieron 3 excedencias a este nivel. Cabe mencionar que para todo el año de 1996 el número de violaciones a las normas ascendió a un 70% de los días.

Tabla 4.5
Porcentaje (y número) de días por encima de los 100,150, 200
y 250 puntos IMECA en la ZMG de enero a mayo
y noviembre a diciembre de 1994-1996

	Mayor o igual a 100	Mayor o igual a 150	Mayor o igual a 200	Mayor o igual a 250
1994	92% (194)	49% (102)	4% (9)	0
1995	79% (166)	31% (65)	7% (14)	3% (6)
1996	83% (176)	28% (59)	4% (9)	0

La gráfica siguiente muestra el comportamiento de los valores IMECA máximos mensuales de ozono de enero a diciembre de 1994 a 1996, apreciándose un mayor número de valores elevados en 1996, sobre todo comparado con 1994.

Figura 4.9
IMECA máximo mensual de ozono en la ZMG



Por otra parte, como lo muestran las Figuras 4.10, 4.11 y 4.12, el monóxido de carbono presenta sus valores más elevados en los meses invernales, con valores incluso cercanos a los 200 puntos IMECA, el bióxido de nitrógeno y del bióxido de azufre no muestran un patrón claramente definido, resaltando el hecho de que para el primero en algunos meses su valor máximo es superior al valor de la norma y para el segundo siempre es inferior a los 85 puntos IMECA.

Figura 4.10
IMECA máximo mensual de monóxido de carbono en la ZMG

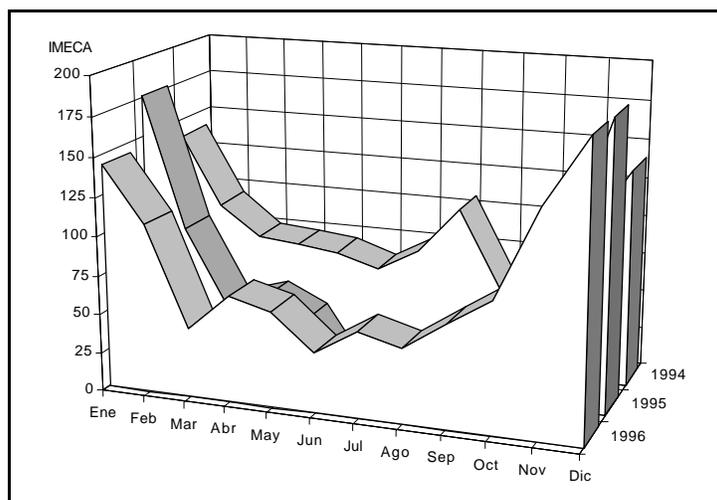


Figura 4.11
IMECA máximo mensual de bióxido de nitrógeno en la ZMG

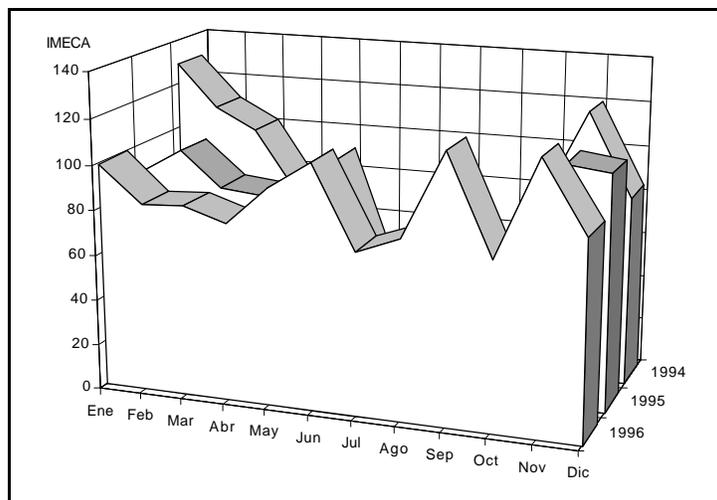
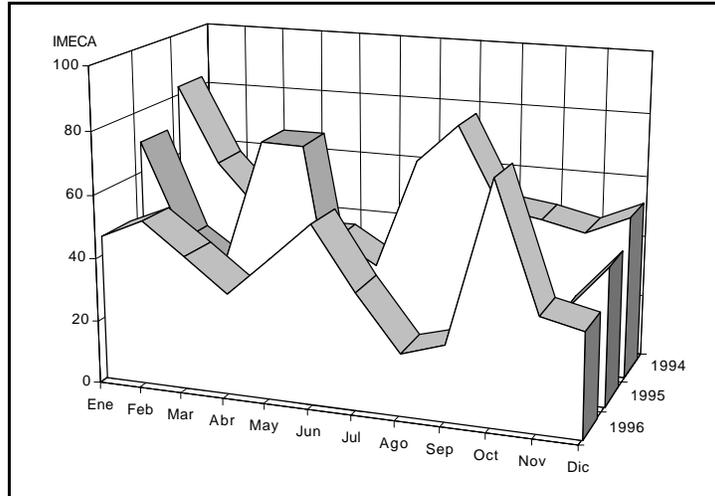
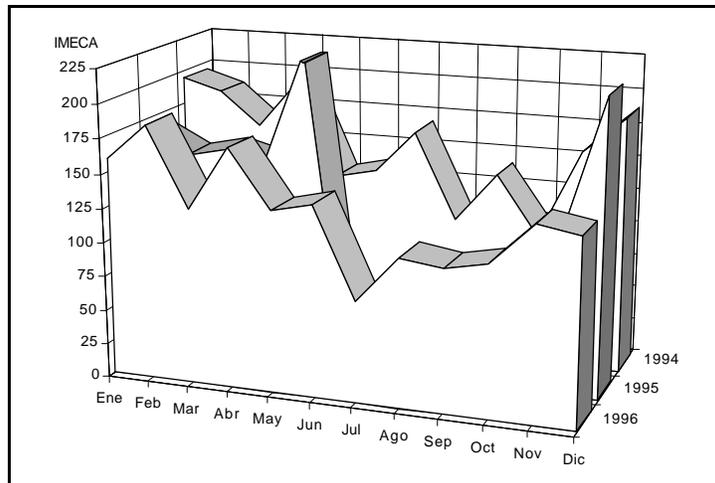


Figura 4.12
IMECA máximo mensual de bióxido de azufre en la ZMG



Finalmente, la Figura 4.13 indica que las partículas suspendidas tienden hacia el mismo comportamiento, si bien, los valores son mucho más elevados y la mayor parte de ellos por arriba del valor normado. Es importante destacar que los valores de los meses de mayo y diciembre de 1995, fueron superiores a los 200 puntos IMECA.

Figura 4.13
IMECA máximo mensual de partículas menores a 10 micras en la ZMG

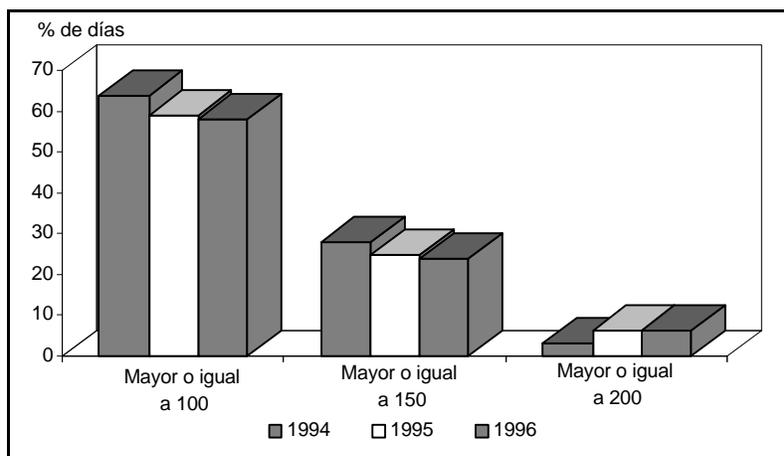


A continuación se presenta un análisis individual del comportamiento y evolución de las concentraciones de los contaminantes que son medidos por la red, así como información sobre niveles de plomo en las partículas suspendidas.

Ozono

Históricamente, las concentraciones de ozono alcanzaron en 1995 los niveles más críticos registrados cuando se tuvieron 13 días por encima de los 200 puntos IMECA; sin embargo en 1996 este valor se rebasó en 23 días, siendo en términos porcentuales su valor igual al 6%. Respecto a las violaciones a la norma, en 1994 y 1995 el porcentaje de días con excedencia fue de 64% y 59% respectivamente; en 1996 el porcentaje de excedencias fue de 58% (es necesario mencionar que la red no operó durante casi todo el segundo semestre de 1995; este inconveniente para el análisis comparativo se obvia cuando se presenta la información del período enero-mayo y noviembre-diciembre). La siguiente gráfica muestra también que tanto en 1995 como en 1996, el porcentaje de días con niveles superiores a los 200 puntos IMECA fue superior al 5% de los días.

Figura 4.14
Porcentaje de días con IMECA superior a la norma de ozono



La ZMG presenta características meteorológicas que influyen de manera determinante en el comportamiento de la contaminación por ozono. La presencia de altas concentraciones de ozono en la zona poniente se favorece por los vientos orientales débiles, los cuales tienen la segunda dirección dominante, y principalmente por la alta frecuencia de períodos de calma. Así mismo, cuando existe un aumento en las concentraciones de ozono en el poniente de la ZMG y se establecen los vientos dominantes occidentales propios de la región, se provoca el transporte de ozono hacia las zonas centro y oriente.

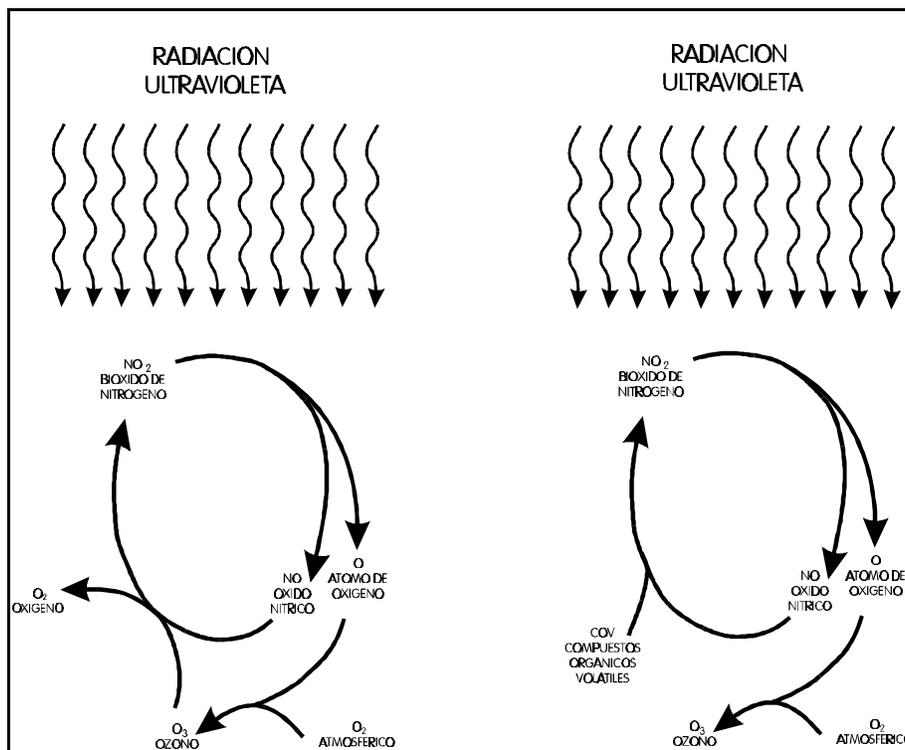
Los vientos del norte y del sur identificados como débiles en el patrón de circulación en la región, favorecen el incremento de las concentraciones de ozono en sus respectivas zonas.

Los vientos ligeramente moderados del suroeste y sureste, provocan el transporte de la contaminación hacia la zona norte; en tanto que los vientos, también ligeramente moderados del noroeste y noreste lo hacen hacia la zona sur.

La presencia de la época de lluvias favorece la disminución de eventos de contaminación, principalmente en las zonas oriente y norte de la ZMG; ésto se refleja en el comportamiento del promedio máximo de ozono para los meses de mayor cantidad de precipitación. Por otra parte, las tres zonas restantes no reflejan un comportamiento tan característico como las dos primeras.

Los períodos de mayor contaminación corresponden a la primavera y al otoño, siendo particularmente alta en los meses de mayo y noviembre, ésto es, en épocas definidas como de transición meteorológica hacia los solsticios de verano e invierno.

Figura 4.15
Ciclo fotoquímico de la formación de ozono troposférico

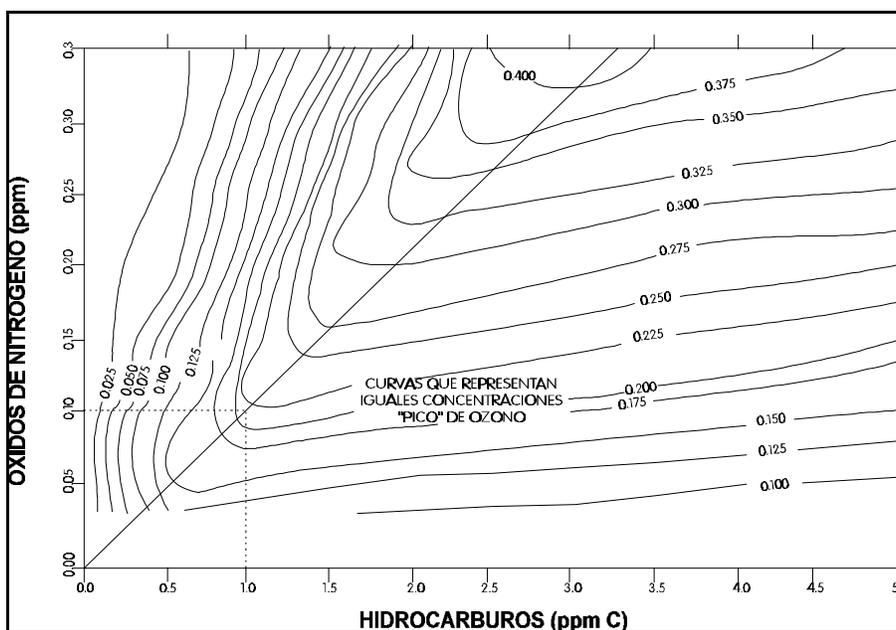


La evolución de los niveles de ozono es el resultado de la interacción de un conjunto de factores en donde destacan el comportamiento de sus precursores y la evolución del clima. Parece existir también una relación con la evolución económica de la ZMG y consecuentemente con el nivel de actividad económica y la magnitud y composición del parque vehicular.

El ozono es un contaminante que no se emite por los escapes o chimeneas, sino que se forma en la atmósfera a partir de reacciones muy complejas. Existen dos ciclos generales de reacciones fotoquímicas en la formación del ozono troposférico, en los que participan el oxígeno molecular y dos de sus denominados precursores: los óxidos de nitrógeno (NOx) y los hidrocarburos (HC).

La complejidad de estos procesos implica que las concentraciones pico de ozono, no sean directamente proporcionales a las de sus precursores. Esto puede verse en la siguiente gráfica, en la que se ha representado mediante *isopletas* o *curvas de nivel*, la relación existente entre las concentraciones de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno con los máximos de ozono. Estas isopletas se presentan de manera ilustrativa, ya que no se cuenta con la información necesaria para construir las propias a la ZMG.

Figura 4.16
Relación entre las concentraciones de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno en la atmósfera con las concentraciones "pico" de ozono



Una primera observación de la forma de las curvas ofrece información importante: la trayectoria más eficiente para disminuir el nivel de ozono depende críticamente de la relación entre las concentraciones iniciales de los precursores (relación HC/NO_x). Si la situación inicial estuviese representada por una alta concentración de óxidos de nitrógeno (NO_x), por ejemplo de 0.3 partes por millón y una baja concentración de hidrocarburos (HC), de 1.5 partes por millón, aunque resulte aparentemente paradójico, una trayectoria eficiente requeriría disminuir el nivel de HC. Es más, disminuir la concentración de NO_x a una tasa mayor que la de HC elevaría la concentración de ozono, pudiendo pasar de 0.22 a 0.27 partes por millón.

En la mayoría de las zonas urbanas de los Estados Unidos la relación HC/NO_x es menor a 10 y en la ZMVM la relación HC/NO_x es de 13 a 50, el valor para la ZMG no se ha determinado.

Si suponemos que la ZMG presenta una situación similar a la ZMVM, la forma de las isoplejas en la región del plano que representa la situación de la ZMVM, se deduce que una trayectoria eficiente implica reducciones de óxidos de nitrógeno, lo que permitiría disminuir las concentraciones de ozono rápidamente. Lo anterior orienta y determina las acciones dirigidas a disminuir eficazmente los niveles de ozono troposférico, haciendo de la reducción de concentraciones de óxidos de nitrógeno un objetivo importante. Asimismo, conviene recordar que siendo algunos hidrocarburos compuestos tóxicos, su disminución inmediata es igualmente importante. De la misma manera, se requerirá establecer científicamente cuales son las isoplejas de la ZMG y con ello reorientar, si fuese necesario, las medidas establecidas en este Programa.

Esta situación quedará plasmada en el paquete de políticas que se proponen más adelante, al tomar en cuenta que los vehículos automotores son responsables del 91% de los óxidos de nitrógeno y del 57% de los hidrocarburos emitidos a la atmósfera. Este esquema sirve también para explicar la magnitud de los costos asociados al mejoramiento de la calidad del aire en la zona metropolitana.

Partículas

Las partículas pueden estar constituidas por una gran diversidad de sustancias. Las partículas de origen natural se componen principalmente de material de suelo y ocasionalmente por partículas de origen biológico (restos orgánicos de plantas y animales, esporas, virus, etc.). Las que provienen de la combustión, están generalmente integradas por partículas atomizadas y cenizas de combustible. Las partículas son dispersadas y depositadas de nuevo en la superficie, de acuerdo a sus propiedades sedimentables y a los patrones meteorológicos que prevalecen en un momento determinado. Su reactividad y participación en los procesos fotoquímicos es poco significativa, pero representan el agente antropogénico más relevante en la disminución de la visibilidad.

Entre las partículas suspendidas que representan un mayor interés se encuentran las siguientes:

- *Partículas menores a 10 micrómetros (PM10)*

Debido a su tamaño, éstas sedimentan a una baja velocidad por lo que pueden ser inhaladas. Las PM10 se adoptaron en Estados Unidos como parámetros de evaluación y regulación de la calidad del aire, en sustitución de las partículas suspendidas totales (PST). El uso de combustibles fósiles representa el proceso más relevante en la emisión de este tipo de partículas, si bien una fracción importante procede de reacciones de contaminantes primarios (principalmente SO₂ y NO_x) y de fuentes naturales.

- *Partículas menores a 2.5 micrómetros (PM2.5)*

En esta categoría se incluyen las partículas inhalables de mayor penetración en el sistema respiratorio y, por lo tanto, las más dañinas a la salud. Por su tamaño (situado dentro del espectro de longitudes de onda de la luz visible) interfieren con la dispersión de la luz contribuyendo a la disminución de la visibilidad.

- *Partículas aerobiológicas*

Entre las partículas suspendidas en la atmósfera se encuentran las que mantienen la actividad microbiana; por ejemplo, las bacterias, algas, hongos y virus; presentándose como células vegetativas o propágulos reproductivos. Por su tamaño pequeño (aproximado de 1 a 100 micrómetros), algunas de estas partículas aerobiológicas pueden quedar suspendidas en el aire durante largos períodos de tiempo. Su importancia radica en el potencial infeccioso y alérgico que depende a la vez de las características del agente patológico, las condiciones ambientales y la resistencia de los posibles huéspedes.

De acuerdo a su origen, las partículas pueden clasificarse en primarias y secundarias. Las partículas primarias tienen diámetros mayores a 2.5 µm y están formadas principalmente por polvo arrastrado por el viento. Las partículas secundarias se forman en la atmósfera como resultado de la reacción química de gases o por la aglomeración de partículas finas y la condensación de vapores. Las partículas secundarias tienen diámetros generalmente menores a 2.5 µm y su proceso de remoción es más lento que en el caso de las partículas de mayor diámetro.

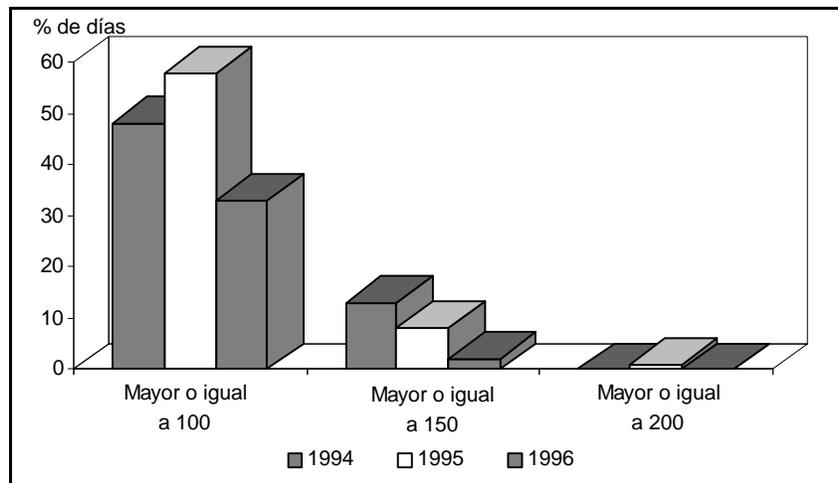
Los indicadores de la calidad del aire que se emplean para evaluar las concentraciones de las partículas en la atmósfera son el PST y el PM10: el primero agrupa a todas las partículas que se encuentran suspendidas en la atmósfera; el segundo es un indicador que representa la fracción respirable de las partículas suspendidas totales susceptibles de causar efectos en la salud que por su tamaño pueden penetrar profundamente en las vías respiratorias.

Las partículas menores a 2.5 micrómetros, en su mayoría no se emiten directamente al aire sino que, como se mencionó, se forman en la atmósfera como producto de reacciones químicas y procesos físicos. Las PST y PM10 se vigilan cotidianamente en las zonas metropolitanas, en tanto que las partículas menores a 2.5 micrómetros son objeto de investigaciones para determinar su concentración y caracterización fisicoquímica. En la actualidad, en los E.U.A. se debate sobre su incorporación como contaminante criterio.

Como se mencionó, junto con el ozono las partículas en suspensión representan la otra vertiente de gravedad en la contaminación atmosférica de la ZMG.

La Figura 4.17 muestra que regularmente se excede la norma de calidad del aire de las partículas fracción respirable o PM10 y que, si bien menos frecuentemente que para el caso de ozono, se rebasan valores superiores a los 150 y 200 puntos IMECA.

Figura 4.17
Porcentaje de días con IMECA superior a la norma de PM10 en la ZMG



Se observa que en el año de 1995 se alcanzó el mayor porcentaje de días en que se rebasaron los 100 puntos IMECA, cercano al 60% y que en 1996 fue de 34%.

Plomo en partículas suspendidas

Al agregarse el tetraetilo de plomo como antidetonante en las gasolinas, el plomo se constituye como un metal de permanente presencia en la atmósfera de los centros urbanos. En la ZMG sus concentraciones sobrepasan el límite de la norma de calidad del aire, principalmente en la zona centro y la zona industrial.

Durante 1991 se realizaron 775 cuantificaciones con filtros de PST provenientes de la red manual de medición de la calidad del aire, reportándose 6 por arriba del valor $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, promedio aritmético trimestral, que establece la norma de calidad del aire. La concentración registrada más alta, en un muestreo durante 24 horas continuas, fue de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la zona industrial de Guadalajara, debida fundamentalmente a la presencia de industrias fundidoras. Las zonas de mayor contaminación por plomo son las que se muestran en la Tabla 4.6, en la cual se presentan los promedios trimestrales de sus concentraciones.

Tabla 4.6.
Áreas de alta concentración de plomo en la ZMG, 1991

Área	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
	Trimestre				Promedio
	1er.	2o.	3er.	4o.	
San Juan de Dios (Centro de Guadalajara)	1.43	0.9745	0.568	1.153	1.031
Tránsito	1.15	0.763	0.365	0.894	0.793
Central Camionera (vieja)	1.37	0.781	0.586	1.505	1.060
Zona Industrial	2.07	1.716	0.892	1.450	1.533
Zapopan Centro	0.48	0.379	0.375	0.796	0.507
Huentitán	0.62	0.422	0.249	0.667	0.490

Norma: $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, promedio trimestral.

Fuente: Plan Estatal de Protección al Ambiente, Gobierno del Estado de Jalisco, 1993.

Esta información indica que la contaminación por plomo está generalizada geográficamente en la ZMG; ya que, como se mencionó, la presencia del plomo en el aire es debida fundamentalmente al consumo de gasolina con plomo por los vehículos automotores y a las emisiones de actividades industriales.

Bióxido de nitrógeno

El bióxido de nitrógeno rebasó ocasionalmente el valor de la norma de calidad del aire en 1994 (4% de los días), 1995 (1% de los días) y 1996 (2% de los días). Este contaminante está asociado a los procesos de combustión, ya sea en la industria y los servicios o en los vehículos; su participación en el ciclo atmosférico fotoquímico hace que su presencia en el aire sea corta y no alcance concentraciones muy elevadas. En el caso presente, sus concentraciones no han alcanzado los 150 puntos IMECA.

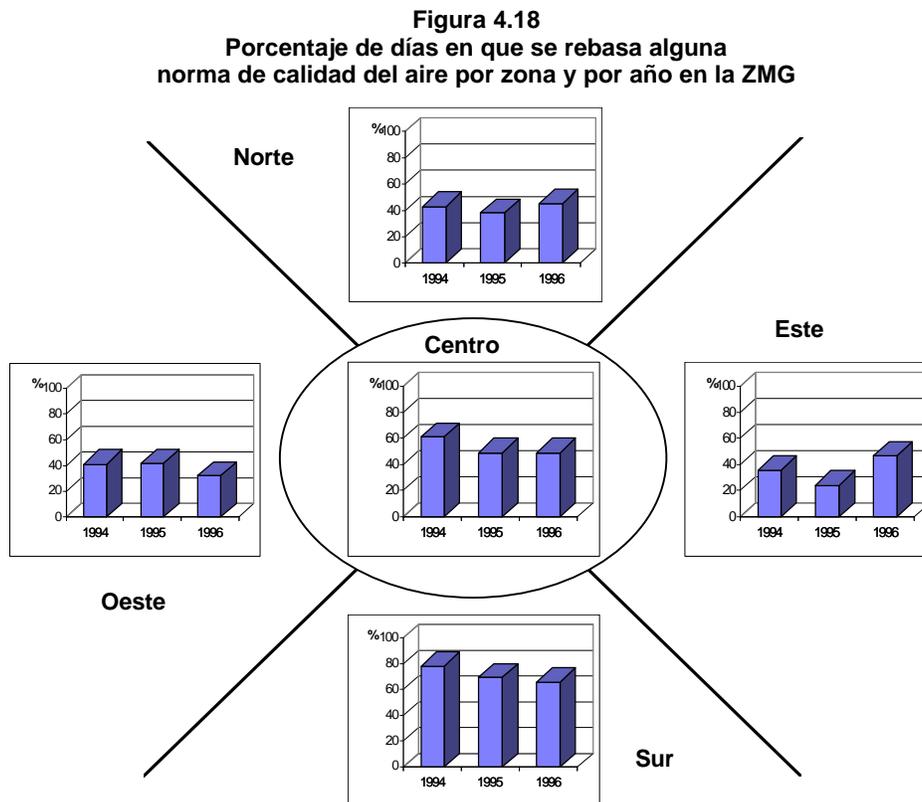
Monóxido de carbono

Al igual que el NO_2 , el monóxido de carbono es emitido por los procesos de combustión, principalmente por los vehículos automotores que no están bien afinados o que no poseen sistemas de control de emisiones. El CO rebasó su norma en varias

ocasiones en los tres años aquí referidos y en 4 ocasiones (durante 1995) superó el valor 150 del IMECA. En 1996, el número de días con excedencia a la norma de este contaminante fue de 20 días (5.6% de los días del año). Como se mencionó anteriormente, en particular para este contaminante parecería que los datos que proporciona la red de monitoreo no reflejan el impacto real de las emisiones de éste sobre las personas que realizan sus actividades en la vía pública.

Bióxido de azufre

A diferencia de los otros contaminantes, el SO₂ no se manifiesta en las mediciones de las estaciones de monitoreo con valores superiores a su norma de calidad del aire, a pesar del importante consumo de combustibles con alto contenido de azufre que se tiene en la ZMG. Esto puede deberse a que las emisiones de SO₂ se dispersan antes de llegar a los sitios de medición, o bien que no existe una cobertura suficiente de la red para seguir a este contaminante.



4.2. Análisis de la calidad del aire por zonas

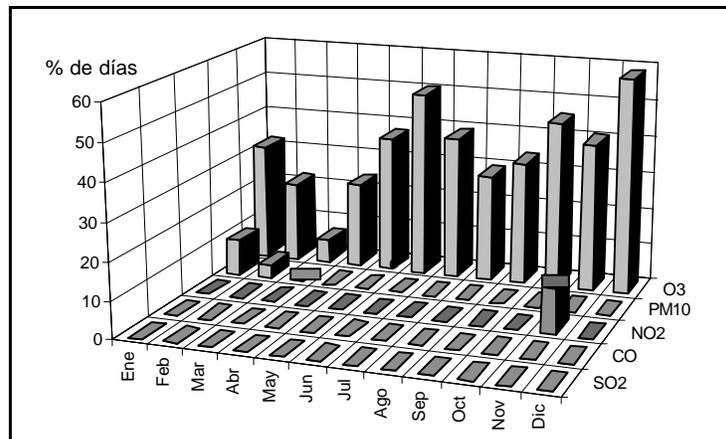
En la Figura 4.18 se muestra el porcentaje de días en que se han rebasado las normas de calidad del aire en cada una de las cinco zonas de la ciudad en 1994, 1995 y 1996. En el diagrama se comparan los años considerando solamente los primeros cinco y últimos dos meses de cada uno de ellos; se puede apreciar que la zona sur de Guadalajara es la que ha presentado problemas de contaminación con mayor frecuencia, registrando violaciones a las normas en más del 65% de los días. También se aprecia que en Guadalajara la contaminación es un fenómeno generalizado espacialmente, puesto que en todas las zonas de la ciudad se presentan violaciones a las normas de calidad del aire con mayor o menor frecuencia.

A continuación se detalla la situación que prevaleció en cada una de las zonas de la ciudad para el periodo de enero a diciembre de 1996. (Figuras 4.19-23).

Zona poniente (Estación Águilas)

El porcentaje de días con excedencias a la norma de ozono en el período fue variable, ocurriendo en todos los meses de 1996, destacando diciembre con un 60% de días con violación. Las partículas PM10 también presentaron días con excedencias a la norma en los meses de enero y febrero, siendo de más del 10% en el primero; y el bióxido de nitrógeno rebasó su norma en cerca del 20% de los días de noviembre. Los otros contaminantes no rebasaron sus normas respectivas.

Figura 4.19
Porcentaje de días con violaciones a las normas
zona poniente (Estación Águilas), 1996



Zona norte (Estación Atemajac)

Al igual que en la zona poniente, el contaminante más significativo en el norte ha sido el ozono, con violaciones a la norma en todos los meses del año y en más del 50% de los días de enero, febrero, mayo, junio y diciembre. El monóxido de carbono excedió su norma en enero y febrero, siendo las excedencias en el segundo de casi el 10% de los días. Las partículas PM10 tuvieron algunas violaciones a la norma en el mes de febrero. Los otros contaminantes no rebasaron su norma.

Figura 4.20
Porcentaje de días con violaciones a las normas
zona norte (Estación Atejamac), 1996

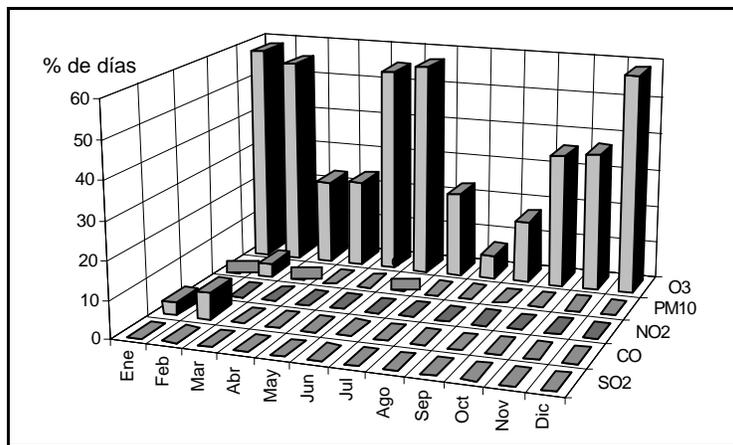
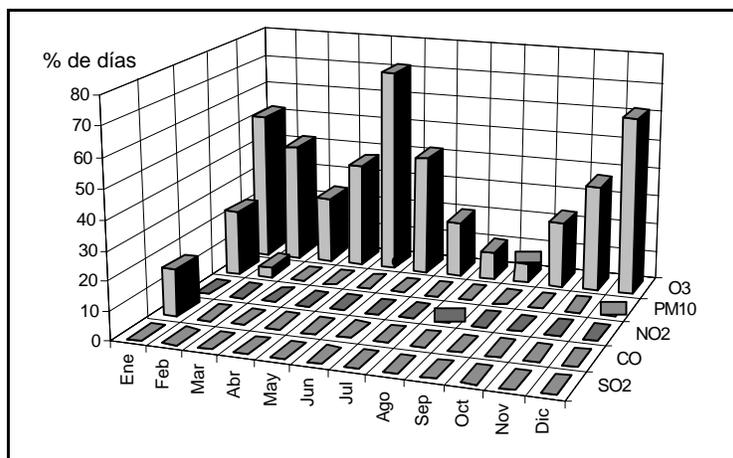


Figura 4.21
Porcentaje de días con violaciones a las normas
zona centro (Estación Centro), 1996



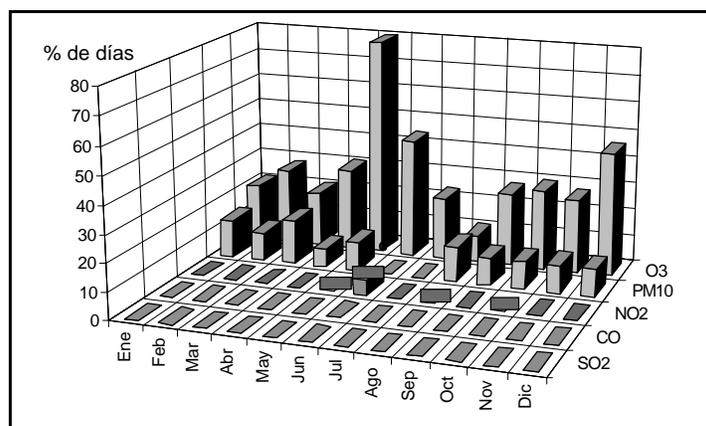
Zona centro (Estación Centro)

En 1996 el ozono fue el contaminante que excedió su norma con mayor frecuencia en el centro de la ciudad, siendo la frecuencia de violación de más del 50% de los días en enero y diciembre y más del 70% en mayo. El monóxido de carbono tuvo un 16% de excedencias en enero. Las partículas PM10 rebasaron la norma en enero y febrero; en el primero las violaciones fueron en un 23% de los días. El bióxido de azufre y el bióxido de nitrógeno no excedieron su norma (ver Figura 4.21).

Zona oriente (Estación Loma Dorada)

En esta zona el ozono excedió su norma en todos los meses del año, alcanzando un 80% de los días en el mes de mayo. Las partículas PM10 excedieron la norma de calidad del aire de enero a mayo y de agosto a diciembre, presentando frecuencias de excedencias de más del 10% en enero, marzo, mayo y agosto. Las normas de monóxido de carbono y bióxido de azufre no fueron rebasadas. La norma del bióxido de nitrógeno se rebasó en cerca del 5% de los días de junio.

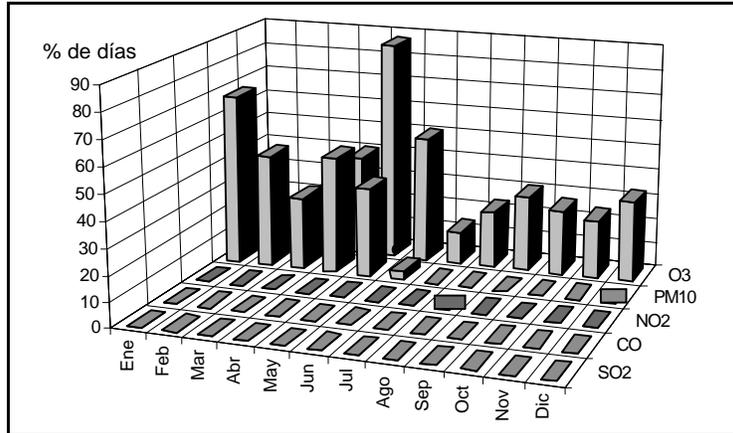
Figura 4.22
Porcentaje de días con violaciones a las normas zona oriente (Estación Loma Dorada), 1996



Zona sur (Estación Miravalle)

Al igual que en la zona oriente, en esta zona el ozono y las partículas PM10 excedieron la norma de calidad del aire en muchos de los meses de 1996, destacando el ozono con violaciones en todos los meses y en más del 80% de los días en mayo; las partículas PM10 presentaron frecuencias de excedencias de más del 40% en enero, febrero, abril y mayo. Las normas de bióxido de nitrógeno, monóxido de carbono y bióxido de azufre no fueron excedidas.

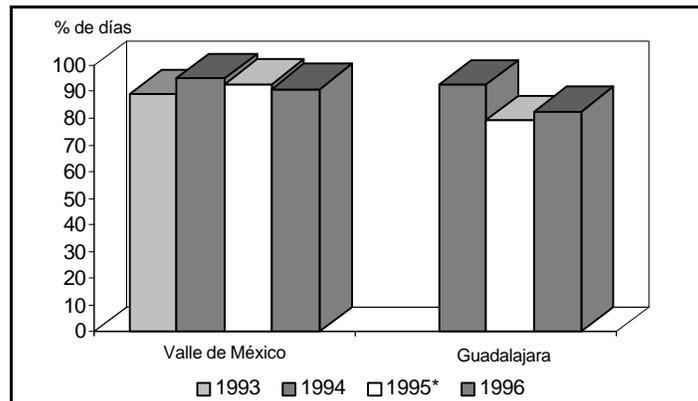
Figura 4.23. Porcentaje de días con violaciones a las normas zona sur (Estación Miravalle), 1996



4.3. Análisis comparativo de la calidad del aire de la ZMG y la ZMVM

A continuación se presentan algunas gráficas con la finalidad de establecer algunas comparaciones de la calidad del aire entre las ciudades de Guadalajara y México. En primer lugar aparece una comparación del porcentaje de días en que se han violado las normas de calidad del aire en cada una de las dos ciudades durante los últimos años. Para el año de 1995, los porcentajes corresponden a los primeros cinco y últimos dos meses. Es notable el hecho de que, en términos de la frecuencia con que se violan las normas, el problema de contaminación del aire en la ZMG puede considerarse casi tan grave como en la ZMVM.

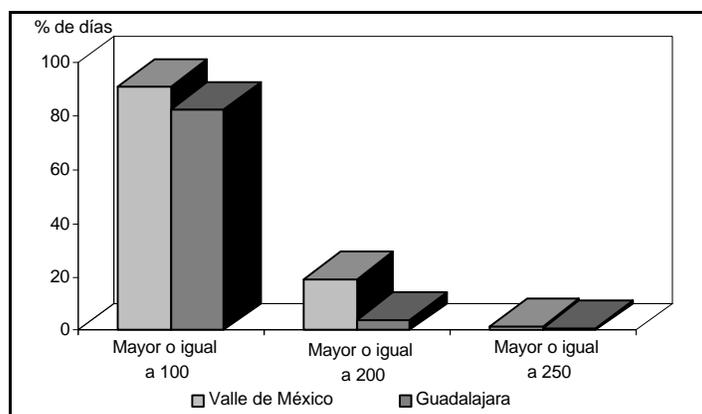
Figura 4.24. Porcentaje de días con excedencias a las normas



* Únicamente se consideraron los periodos enero a mayo y noviembre a diciembre.

Sin embargo, cuando se compara no sólo la frecuencia de violaciones sino también las mediciones más extremas se observa que en la ZMG se rebasan los 200 puntos IMECA en muchas menos ocasiones que en la ZMVM.

Figura 4.25
Porcentaje de días por arriba
de 100, 200 y 250 puntos IMECA en 1996



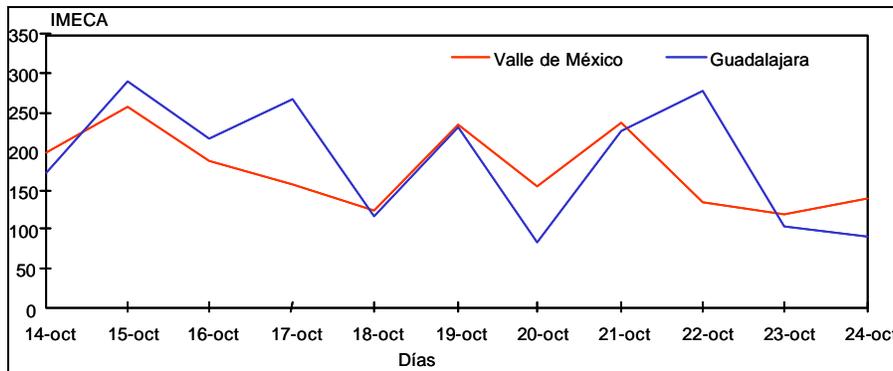
4.4. Episodios críticos de contaminación atmosférica en la ZMG

En las últimas dos semanas de octubre de 1996 se presentaron varios días con altos niveles de contaminación por ozono tanto en el Valle de México como en Guadalajara. La Figura 4.26 muestra los picos diarios de ozono del 14 al 24 de octubre de 1996 y proporciona algunos elementos de análisis interesantes. En primer lugar, es importante notar que en ambas ciudades se presentó un pico por arriba de 250 puntos el martes 15 de octubre, descendiendo a niveles alrededor de 200 puntos IMECA al día siguiente; ese día se puso en marcha el plan de contingencias ambientales de la Ciudad de México. Las curvas de ozono continúan con un comportamiento notablemente similar del día 18 hasta el día 21 de octubre. El hecho de que las concentraciones de ozono en las dos zonas metropolitanas presenten comportamientos tan parecidos, refleja sin duda que la calidad del aire en ambas ciudades estaba siendo determinada fundamentalmente por el mismo sistema macro-meteorológico de alta presión que afectó a toda la región centro y sur del país.

La Figura 4.26 permite también demostrar que la calidad del aire en un momento dado, no depende tanto de la variación diaria en las emisiones de contaminantes como de la variación en los parámetros meteorológicos que determinan la dispersión de los contaminantes. Por otro lado, los análisis presentados muestran la alta vulnerabilidad de ciudades como Guadalajara, en donde a pesar de tener tan sólo una quinta parte de los vehículos y una cuarta

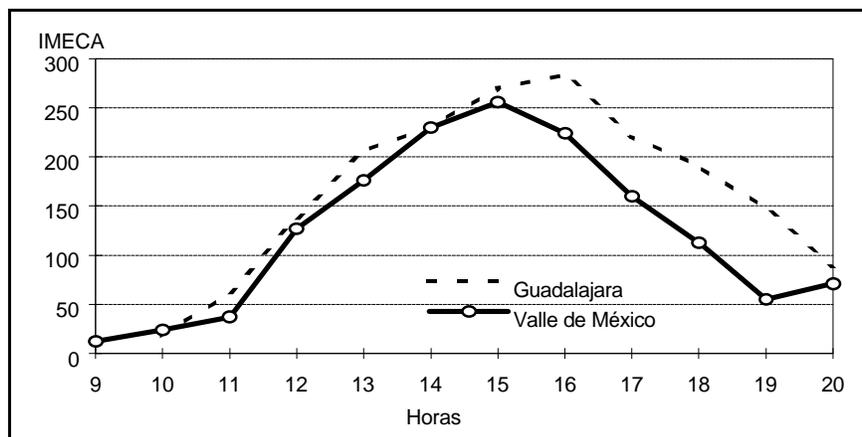
parte de la industria del Valle de México, puede sufrir serios problemas de contaminación si las condiciones meteorológicas son desfavorables.

Figura 4.26
Picos diarios de ozono del 14 al 24 de octubre de 1996

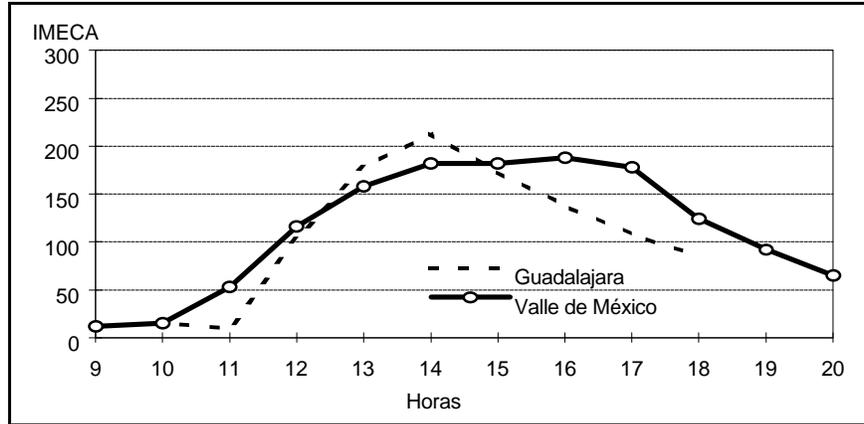


Analizando con más detalle lo ocurrido del martes 15 al jueves 17, la Figura 4.27 presenta el comportamiento horario de los niveles de ozono en ambas zonas metropolitanas; en ese período, los niveles de ozono en la ZMG sobrepasaron durante varias horas los 200 puntos IMECA, habiendo alcanzado un máximo de 284 puntos a las 16:00 horas del día 15; y el 17, el máximo de ozono llegó a los 264 puntos IMECA a la misma hora.

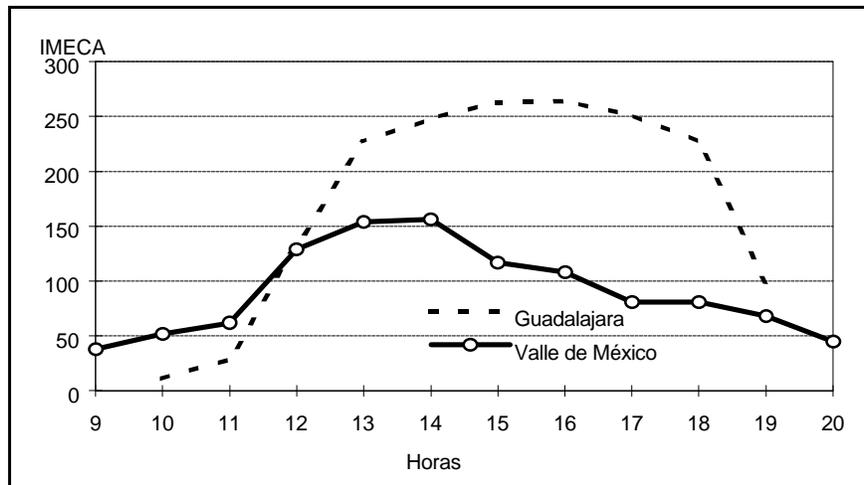
Figura 4.27
Comparación de los niveles de ozono en las zonas metropolitanas del Valle de México y Guadalajara
15 de octubre de 1996



16 de octubre de 1996



17 de octubre de 1996



Se puede observar claramente como el período de contingencia ambiental empezó de manera similar en ambas ciudades. Sin embargo, y a pesar de que las condiciones meteorológicas fueron semejantes en los dos casos, los niveles de ozono en la zona metropolitana de la capital de la República disminuyeron de manera significativa el jueves 17 de octubre de 1996. Contrariamente a este último caso, el mismo día la situación en Guadalajara se agravó sensiblemente, sobre todo de las 13:00 a las 18:00 horas.

5. Conclusiones

De la información analizada se pueden establecer algunas conclusiones importantes sobre la calidad del aire de la ZMG:

- En la ZMG se rebasan las normas de calidad del aire en el 70% de los días del año.
- El ozono es el contaminante que más frecuentemente rebasa su norma, en casi el 60% de los días del año, alcanzando en ocasiones valores de más de 250 puntos IMECA y se manifiesta con mayor o menor frecuencia en todas las zonas de la ciudad.
- Las partículas menores a 10 micras son el contaminante que en segundo término presenta el mayor número de violaciones a la norma de calidad del aire, con más de una tercera parte de los días del año fuera de norma.
- La situación que enfrenta la Ciudad de Guadalajara en términos de contaminación atmosférica es sin lugar a dudas apremiante, sobre todo porque sus niveles actuales de ozono son similares a los de la Zona Metropolitana del Valle de México. La seriedad de esta situación se evidencia si se comparan algunos datos como las poblaciones totales, el tamaño de los parques vehiculares y los volúmenes de emisiones contaminantes a la atmósfera en ambas zonas metropolitanas.

ANTECEDENTES
Y ESFUERZOS
INSTITUCIONALES
EN LA LUCHA CONTRA
LA CONTAMINACIÓN

5

5. ANTECEDENTES Y ESFUERZOS INSTITUCIONALES EN LA LUCHA CONTRA LA CONTAMINACIÓN

En este capítulo se reseñan de forma breve las iniciativas y esfuerzos para mejorar la calidad del aire realizados en los últimos años por los diferentes niveles de gobierno que intervienen en la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG).

1. Programa regional de administración de la calidad del aire en zonas críticas, 1991

En el año de 1991, la entonces Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología estableció el Programa Regional de Administración de la Calidad del Aire en Zonas Críticas, mismo que incluyó la Zona Metropolitana de Guadalajara, iniciándose con este programa la integración del primer inventario de emisiones en donde se consideraron las contribuciones de las fuentes fijas de jurisdicción federal y de las fuentes móviles, además de identificarse las fuentes contaminantes de tipo natural.

Entre los objetivos específicos que persiguió este programa se tuvo el elaborar el inventario de emisiones industriales, constituir un padrón vehicular y el inventario de emisiones asociado, establecer las bases para un programa de verificación vehicular, identificar zonas prioritarias de manejo de calidad del aire de acuerdo a las características meteorológicas de la región y reforzar la estructura delegacional en materia de prevención y control de la contaminación del aire.

A partir de la información que generó este programa, en 1993 se elaboró el capítulo de calidad del aire del programa estatal de medio ambiente, el cual se describe a continuación.

2. Plan estatal de protección al ambiente del Estado de Jalisco, 1993

El 5 de junio de 1993, el Gobierno del Estado de Jalisco dio a conocer el *Plan Estatal de Protección al Ambiente*, en el cual se incluyó un capítulo relativo a la calidad del aire en la entidad. En particular se establecieron una serie de acciones para mejorar la calidad del aire en la Zona Metropolitana de Guadalajara, incluyendo las siguientes recomendaciones:

- Consolidar el Programa Regional de Administración de la Calidad del Aire en Zonas Críticas.

- Elaborar una clasificación industrial de acuerdo a sus emisiones.
- Promover el cumplimiento de normas y reglamentos ambientales por la industria.
- Mejorar y aumentar el sistema de monitoreo, promoviendo la comunicación con las fuentes de generación, los medios colectivos de comunicación y la población en general.
- Revertir las tendencias de deterioro ambiental.
- Promover apoyos tecnológicos y financieros para adquisición de equipos y control de la contaminación.
- Ordenar y regular la instalación de unidades industriales.
- Consolidar el programa de verificación de emisiones a fuentes móviles.
- Promover los proyectos de transporte urbano para incrementar y mejorar el transporte público.
- Contar con una mejor calidad de los combustibles utilizados en la zona.
- Promover un plan de mejoras en la vialidad.
- Establecer un equipo multidisciplinario de las instituciones públicas y privadas que realizan muestreos puntuales en la ciudad para unificar criterios de medición, zonas y frecuencias, estableciendo laboratorios móviles que apoyen las labores de protección civil para aquellos casos de fugas accidentales.
- Revertir las tendencias de deterioro ambiental, a través del uso de bicicletas, energías alternas, uso compartido y moderado de automotores, incremento de áreas verdes, tanto internas como externas y su cuidado posterior por parte de la ciudadanía.
- Constituir clínicas médicas especializadas en la detección y tratamiento de padecimientos respiratorios.

Así mismo, se establecieron 4 programas de acciones prioritarios relativos al monitoreo de la calidad del aire, a la prevención y control de las emisiones de fuentes fijas y móviles y al establecimiento de un programa de emergencia y contingencia. La Tabla 5.1 resume estos programas.

Tabla 5.1
Programas prioritarios en materia de calidad el aire,
Plan Estatal para Jalisco, 1993

Programa	Acciones
Establecimiento de la red de monitoreo de la calidad del aire para la Zona Metropolitana de Guadalajara y las principales ciudades del Estado.	<ul style="list-style-type: none"> • Gestión y concertación interinstitucional para realizar los convenios respectivos de coordinación en el establecimiento de la red. • Realización del proyecto ejecutivo para el diseño de la red, adquisición de equipo, instalación, capacitación y operación. • Gestión y concertación con las Instituciones de crédito y financiamiento nacionales e internacionales para la adquisición, capacitación, diseño y operación de la red.

Programa	Acciones
Prevención y control de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas.	<ul style="list-style-type: none"> • Gestión y concertación de acuerdos con cámaras y asociaciones industriales para dar cumplimiento a la normatividad ambiental. • Inventario, caracterización y regulación de fuentes fijas y emisiones contaminantes. • Regularización de las licencias de funcionamiento. • Promoción de sistemas y equipos anticontaminantes.
Prevención y control de la contaminación atmosférica generada por fuentes móviles.	<ul style="list-style-type: none"> • Gestión y concertación interinstitucional y con los sectores social y privado para la reinstalación del programa de verificación vehicular. • Adecuación de las normas técnicas ecológicas para establecer los límites máximos permisibles de emisiones vehiculares. • Apertura de concesiones al sector privado para la apertura de centros de verificación vehicular. • Supervisión técnica y financiera a los centros de verificación vehicular. • Vigilancia continua de las emisiones vehiculares.
Prevención y control de emergencias y contingencias ambientales.	<ul style="list-style-type: none"> • Prevención y control de contingencias o emergencias ambientales. • Celebración de acuerdos de participación con los gobiernos federal, estatal y municipal y los sectores social y privado. • Promoción y difusión entre la población del Programa de Control y Prevención de la Contaminación Atmosférica durante la época de invierno. • Concientización al sector empresarial sobre el control de sus emisiones contaminantes a la atmósfera. • Promoción de la disminución en el uso de vehículos automotores. • Información y concientización a la ciudadanía sobre las acciones para mejorar la calidad del aire.

Como es bien conocido, el programa de monitoreo se llevó a cabo en la zona metropolitana, estableciéndose y poniéndose en operación el 6 de diciembre de 1993 la actual red automática de monitoreo atmosférico.

3. Comité interinstitucional para la prevención y control de la contaminación atmosférica en la ZMG, 1995

En el año 1991, la Secretaría de Salud y la Comisión Estatal de Ecología (COESE) convocaron a instituciones públicas, privadas y a la ciudadanía en general, a integrar un grupo para tratar los problemas de contaminación atmosférica durante la época de invierno, en la que se acentúan los problemas debido a las inversiones térmicas. Durante los años de 1992 y 1993, se realizó la misma convocatoria interrumpiéndose en 1994.

En el mes de junio de 1995, durante una reunión donde participaron ciudadanos pertenecientes a organizaciones no gubernamentales (ONG'S) ecologistas y personal de la Secretaría de Salud, se generó la idea de integrar un grupo de

trabajo denominado Comité Promotor del Plan de Invierno abocado a continuar con la elaboración de un plan para evitar daños a la población por la contaminación ambiental durante el invierno.

Este Comité Promotor estuvo integrado por representantes de la sociedad civil a través de los grupos PAFAMA, Colectivo Ecologista Jalisco y PROHABITAT y el Gobierno del Estado mediante la Secretaría de Salud y la COESE.

Después de varios meses de trabajo, se integró una Comisión Interinstitucional para estructurar el programa de invierno para 1995-1996, el cual inició el día 28 de noviembre de 1995.

Esta Comisión Interinstitucional inició sus actividades de inmediato, teniendo como secretario técnico y ejecutivo al Secretario de Salud y al Director de la COESE, obteniendo los siguientes resultados:

- Se estableció la coordinación entre las diferentes instituciones involucradas en problemas de contaminación, salud, educación y respuesta a emergencias.
- Se elaboró un plan de emergencia preliminar para aplicar durante contingencias ambientales.
- Se conjuntó información de acciones elaboradas por diferentes instituciones.

En el transcurso de las reuniones se propuso que las acciones para prevenir y controlar la contaminación atmosférica en la ZMG deberían ser permanentes, lo cual traería cambios en la estructura del Comité Interinstitucional del Programa de Invierno 1995-1996. Estos cambios deberían estar sustentados con bases jurídicas más firmes y el Comité debería estar integrado por los representantes de las instituciones que hubiesen acudido con regularidad a las reuniones.

Esta nueva Comisión tendría, entre otras, las siguientes funciones:

- a) Establecer criterios para la integración de programas, proyectos y acciones especiales para la prevención y control de la contaminación ambiental en la ZMG.
- b) Establecer mecanismos de coordinación de acciones entre distintas instituciones.
- c) Proponer a las autoridades correspondientes acciones para prevenir y controlar las contingencias ambientales.
- d) Acordar la realización de programas de investigación, capacitación de recursos humanos y estudios de diagnósticos en materia de contaminación ambiental. Este comité estaría formado por representantes de institutos, organismos públicos y privados, además del sector social.

La Comisión fue establecida y las actividades que se propuso llevar a cabo se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 5.2
Plan de trabajo de la Comisión Interinstitucional
para la Preservación de la Calidad del Aire en la ZMG

Actividad	Fecha
1. Integración jurídica de la comisión.	mayo-junio 96
2. Realización del diagnóstico sobre la calidad del aire en Guadalajara y su zona metropolitana.	
a) Análisis del índice IMECA y especialmente respecto a partículas y ozono.	abril-junio 96
b) Elaboración del inventario de fuentes fijas con datos de Coese y Ayuntamientos.	abril-junio 96
c) Elaboración del inventario de fuentes móviles .	abril-agosto 96
d) Ventas de combustibles más limpios por parte de Pemex.	mayo-junio 96
e) Difusión e implantación del programa de afinación controlada.	junio 96
f) Información sobre la red de semaforización automática.	octubre-noviembre 96
g) Información sobre los planes de vialidades.	septiembre 96
3. Recopilación de datos sobre la salud	
a) Índice de morbilidad causada por la contaminación.	abril 96
b) Estudios efectuados sobre daños a la salud causados por la contaminación.	agosto 96
4. Otras acciones del plan de trabajo	
a) Inventario de áreas verdes.	abril- agosto 96
b) Planes de forestación y reforestación (convenio con ayuntamientos).	
c) Campañas de concientización con la Comisión de Educación (integración de la Comisión y establecimiento de contactos con otros estados y el Distrito Federal).	mayo-septiembre 96

En la tabla 5.3 se detallan las diferentes acciones de cada programa, así como los grupos que participan en el seguimiento del Plan de Trabajo de la Comisión de Investigación y Educación.

Tabla 5.3
Plan de trabajo de la Comisión de Investigación y Educación

Programas	Acciones preparatorias	Acciones consecuentes
Vialidad Participantes: Ayuntamientos, Departamento de Tránsito, Líneas de Camiones, Taxis, Protección Civil y las Universidades.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Censo de parque vehicular. 2. Censo de movimiento vehicular. 3. Rutas de transporte (mapas). 4. Diagnóstico de topes. 5. Censo de movimiento de pasaje. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Reestructuración de rutas de transporte y paradas. 2. Mejoramiento del parque vehicular a todos los niveles. 3. Semaforización adecuada. 4. Sincronizar con ayuntamientos obras viales y de ornato en horas adecuadas (no en horas pico). 5. Creación de rutas alternativas, tanto para obras viales como para situaciones de contingencia.

Programa para el Mejoramiento de la Calidad del Aire en la ZMG 1997-2001

Programas	Acciones preparatorias	Acciones consecuentes
<p>Salud Participantes: Secretaría de Salud, ISSSTE, IMSS, Ayuntamientos, Universidades, Cámaras Industriales, Departamento de Tránsito, Semarnap, CNA y la Ciudadanía.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Censo de enfermos por zona contaminada en el último año. 2. Censo de industrias contaminantes por zona. 3. Censo de flujo de vehículos por zona. 4. Estadísticas o reportes de las zonas más contaminadas en el último año por día/mes. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Información de situación enfermedad/medio ambiente. 2. Boletines preventivos en prensa, radio y televisión. 3. Campañas de higiene. 4. Campañas de concientización para abatir contaminantes.
<p>Comunicación Participantes: Medios de comunicación, Coese, Secretaría de Vialidad, Universidades, Ayuntamientos de la Zona Conurbada, Protección Civil y la Ciudadanía.</p>	<p>Información a la prensa de avance de trabajos.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Donación de espacios en tiempos de alto auditorio (videoauditorio) para información de concientización sobre: <ol style="list-style-type: none"> a) Qué hacer en caso de contingencia. b) Qué hacer para abatir la contaminación. 2. Comunicación directa Coese/ medios/ciudadanía para indicar en caso de contingencia: <ol style="list-style-type: none"> a) Qué fase es b) Qué debe hacerse c) Qué zona comprende d) Fin de la fase 3. Espacios en prensa escrita para que la ciudadanía sepa qué hacer en casos de contingencia y cómo abatir la contaminación. 4. Publicar los boletines de prensa que les dé a conocer la Comisión y darlos a difusión en su caso por radio y televisión.
<p>Evaluación Participantes: Coese y Coordinadores de Grupos de Trabajo cuando así se requiera.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Organizar material entregado hasta la fecha. • Verificar que cada grupo de trabajo cuente con la información necesaria. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Apoyar a los distintos grupos de trabajo. 2. Servir de puente entre los distintos grupos de trabajo. 3. Dar seguimiento a los planes de trabajo. 4. Evaluar avances.
<p>Concientización Participantes: Universidades, SEP, OSEJ, Normales, Sociedades de Padres de Familia, Medios de Comunicación, Coese, Semarnap y la Ciudadanía.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Censo en las zonas escolares para determinar: • Contaminación/ inasistencia/ enfermedad. • Encuestas para determinar, sobre todo en zonas altamente contaminadas, los conocimientos preventivos y/o de abatimiento de la contaminación. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cursos, talleres, seminarios, etc, sobre el tema a: <ol style="list-style-type: none"> a) Maestros. b) Padres de familia. c) Trabajadores sociales. d) Medios de comunicación. 2. Creación de carteles, videos, trípticos, etc, para dar a conocer: <ol style="list-style-type: none"> a) Medidas preventivas b) Acciones en caso de contingencia. c) Formas de abatir la contaminación. 3. Formación de recursos humanos en educación ambiental formal e informal. 4. Fomentar la investigación en jóvenes universitarios sobre el tema.

Programas	Acciones preparatorias	Acciones consecuentes
Reforestación: Participantes: SEP, OSEJ, Universidades, Ayuntamientos, Medios de Comunicación, Gobierno del Estado y la ciudadanía.	1. Censo de arbolado urbano 2. Censo de lotes baldíos de la zona conurbada. 3. Censo de parques y jardines de los distintos ayuntamientos. 4. Censo de viveros: municipales, estatales y particulares.	1. Información y concientización a la ciudadanía. 2. Reforestación intensiva.

Cabe mencionar que la información que ha empezado a generar la Comisión será sin duda de gran valía para las acciones que se desprendan del nuevo programa que aquí se presenta y que, a partir de hoy, se constituye en el hilo conductor de las actividades para detener el deterioro y posteriormente restaurar la calidad del aire de la capital del Estado.

4. Evaluación de los programas

En la ZMG han existido varios programas y planes para mejorar la calidad del aire; sin embargo, su eficacia ha quedado incierta, ya que no se cuenta con información que permita efectuar una evaluación de los logros en la reducción de las emisiones contaminantes. Así mismo, en general, los programas han carecido de una identificación completa de los recursos requeridos para llevarlo a cabo, así como de metas cuantificables. Por otra parte, y como se mencionó en el capítulo de información de la calidad del aire, la ZMG presenta problemas serios de contaminación del aire por ozono y partículas suspendidas, lo que hace suponer que si bien estos programas ayudaron en alguna medida a detener el deterioro de la calidad del aire en los últimos años, no fueron lo suficientemente completos para evitar que se rebasen las normas de calidad del aire vigentes, como ocurre en el presente.

**INTEGRACIÓN
DE POLÍTICAS
POLÍTICAS
AMBIENTALES
URBANAS**

6

6. INTEGRACIÓN DE POLÍTICAS AMBIENTALES URBANAS¹

1. Conceptos fundamentales (estructura urbana)

El proceso de megalopolización de algunas regiones del país conlleva algunos de los retos más grandes que deben enfrentar impostergablemente la sociedad y el gobierno. La magnitud del desafío incluye encontrar soluciones reales y duraderas a los problemas ambientales, para lo cual resulta imprescindible repensar, renovar y enriquecer el marco conceptual que nutre el debate sobre las políticas públicas correspondientes. La argumentación que ha servido de base a las acciones hasta ahora emprendidas va resultando cada vez más limitada y menos productiva; por ello es preciso explorar un nuevo marco conceptual fundado en una reflexión que busque no sólo las verdaderas causas estructurales de los problemas ambientales, sino que vaya más allá en la identificación tanto de los elementos como de los mecanismos que definen y operan los complejos sistemas urbanos.

De ese nuevo marco conceptual puede surgir un lenguaje más rico e integrado en sus ideas, con mayor capacidad de comunicación, de movilización de intereses y mucho más cercano a las realidades que configuran los retos ambientales metropolitanos. En primer lugar, es insoslayable la fusión de una multiplicidad de conceptos que actualmente se encuentran dispersos principalmente en los ámbitos de las ciencias ambientales y la economía. Ello requiere comenzar por una actitud abierta al cambio, dejando de lado prejuicios hoy en día altamente generalizados respecto al tipo y al alcance de las medidas aplicables. Sólo así, se podrá tener éxito en la introducción y en la aceptación del concepto básico de este nuevo enfoque: el desarrollo urbano sustentable. Este concepto es mucho más robusto que el normalmente utilizado como desarrollo urbano, y que se perfila como una idea de gran poder de convocatoria intelectual y política, al compatibilizar la vitalidad económica y social de la metrópoli con su viabilidad a largo plazo, asegurando el mantenimiento de los equilibrios biofísicos fundamentales.

No está por demás recordar que la idea de la sustentabilidad del fenómeno urbano surge de la introducción explícita de conceptos ambientales a la gestión de las ciudades, en un enfoque que destaca el impacto del deterioro ambiental en el bienestar social de las comunidades urbanas. Así, el desarrollo urbano no podrá dissociarse en adelante de los costos sociales y económicos (incluyendo por supuesto los ambientales) producidos por los esquemas actuales de urbanización, en donde, mu-

¹ Este capítulo fue retomado casi íntegramente del *Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000*, para proveer un marco teórico general aplicable a todas las metrópolis del país.

chas de las ventajas ofrecidas por las economías de aglomeración han sido anuladas por los efectos de un crecimiento ambientalmente distorsionado.

2. Recursos comunes ambientales, umbrales y costos

La sustentabilidad del desarrollo urbano depende críticamente de una gestión correcta de los recursos comunes ambientales de la ciudad, los cuales están representados, entre otros, por su cuenca atmosférica, la cuenca hidrológica que la abastece, y por los recursos territoriales que ofrecen servicios de localización espacial, de recarga de acuíferos, de reserva ecológica y territorial, de recreación y de conservación de recursos naturales.

Se sugiere que el deterioro ambiental urbano se debe a la sobre explotación o sobrecarga de los recursos comunes ambientales de la ciudad. Bajo una óptica de sustentabilidad, estos recursos requieren ser manejados de tal forma que no se transgredan sistemáticamente ciertos umbrales críticos, después de los cuales se generan costos socioambientales excesivos. En este sentido, los umbrales no necesariamente representan límites absolutos de este tipo de costos, sino saltos o puntos de inflexión significativos, dado un cierto estado de la tecnología existente.

La idea de umbral puede basarse en observaciones empíricas, en datos científicos o tecnológicos, en experiencias cotidianas e incluso en preferencias subjetivas, que revelen la existencia de limitaciones físicas, funcionales, ecológicas o sociales a la expansión de ciertos procesos urbanos en las condiciones vigentes. Asumir umbrales significa enfrentar límites y escasez, lo cual implica interpretar como bienes económicos los recursos comunes ambientales y, en consecuencia, tener que reconocer la inescapable necesidad de llevar a cabo una gestión eficiente y socialmente equitativa.

Hablar de umbrales implica forzosamente hablar de costos de utilización, acceso o uso sobre de los recursos comunes ambientales, y lleva también a preguntarse acerca de cómo se perciben, asumen, financian y distribuyen estos costos entre diferentes grupos sociales. En la medida en que los costos no se esclarezcan, la forma en la que son asumidos por los diferentes sectores urbanos (incluidas las generaciones futuras) no resultará transparente, lo que seguirá provocando distorsiones en la información que desactivan o bloquean muchos resortes sociales de participación y corresponsabilidad. En este orden de ideas, es absolutamente relevante preguntarse por los costos del mantenimiento del *status quo* ambiental urbano, esto es, la vigencia de las condiciones institucionales y tecnológicas prevalecientes que permiten a los problemas persistir y acrecentarse.

Los costos totales generados por los fenómenos actuales de urbanización se reparten a *grosso modo* en dos grandes grupos: aquellos que son producidos por las dis-

torsiones de la organización espaciofuncional de la ciudad (costos fijos) y aquellos que resultan de las exigencias inherentes al crecimiento desmesurado del área urbana (costos variables).

Los primeros son los costos económicos y sociales generados por una estructura urbana ineficiente en donde la distribución espacial de los usos del suelo, el sistema vigente de transporte, los métodos y procedimientos administrativos de los organismos públicos y de las empresas, y las costumbres laborales, sociales y culturales de sus habitantes, no sólo no ayudan a que la ciudad funcione adecuadamente sino que entorpecen las actividades de la misma, manteniendo la productividad urbana en niveles bajos y reduciendo con ello su competitividad en el sistema de ciudades correspondiente.

En cuanto a los costos variables, éstos son una función creciente del tamaño de la urbe. Cabe mencionar que cuando se trata de un fenómeno de urbanización extensiva o de un caso de metropolización, los costos marginales son cada vez mayores, provocando que la curva de costos económicos y sociales variables se desplace a una tasa creciente.

Ahora bien, en el esclarecimiento de costos para la asunción de responsabilidades privadas y públicas, la información es un prerrequisito. La información ambiental debe nutrir un proceso de entendimiento y conocimiento de variables y procesos relevantes para coadyuvar a modificar conductas en el sentido correcto. En otras palabras, es preciso ofrecer a la sociedad recursos de información para inducir los cambios necesarios y aprovechar las oportunidades existentes. La sociedad urbana tiende a ser un sistema altamente descentralizado y plural, gobernado por infinidad de decisiones individuales y empresariales en mercados que definen patrones de localización, así como la modalidad e intensidad de las actividades metropolitanas. Dado que éstas se nutren de una gran iniciativa y libertad individual, con buena información y con mecanismos para diseminarla y discutirla públicamente, las peculiaridades de la sociedad urbana pueden constituirse en un motor eficaz de viabilidad ecológica. La información soporta en los sistemas urbanos, intrincados mecanismos de ajuste y autorregulación, a través de cambios y adaptaciones en el desempeño económico de grupos, empresas e individuos.

Una *cuenca atmosférica* puede definirse como un sistema fisiográfico entendido como *recurso común ambiental*, del cual por ahora nos interesa saber que presta una serie de servicios a la sociedad, entre los cuales destaca la asimilación, dilución y dispersión de las emisiones contaminantes descargadas en ella por diferentes usuarios en la industria, en el transporte y en los servicios. Como recurso común ambiental, la cuenca atmosférica se encuentra bajo circunstancias de libre acceso, en las cuales cualquier usuario puede utilizar su capacidad de carga de manera virtualmente ilimitada y a un costo muy bajo y con frecuencia nulo.

3. La ciudad: una nueva perspectiva

La ciudad es hoy en día la forma más compleja y acabada de organización humana. En ella podemos convivir millones de seres vivos (incluidas la fauna y la flora urbanas), realizar simultáneamente un número incontable de actividades cotidianas, interactuar, comunicarnos, producir y consumir bienes y servicios, todo sin que la ciudad se colapse. El fenómeno urbano, si bien complejo y multidimensional, es algo que funciona.

Sin embargo, la dinámica de nuestras ciudades ha rebasado en muchos casos los límites de lo saludable: la capacidad de respuesta de los tres órdenes de gobierno y de los sectores social y privado no ha podido operar al ritmo exigido por las necesidades de la población en lo que a calidad de vida se refiere. Las exigencias de la sociedad mexicana en materia de cuidado ecológico, se unen a los reclamos políticos y a las implicaciones de las nuevas relaciones económicas internacionales, para definir conjuntamente el marco de la nueva planeación del desarrollo.

En este marco de ideas, las premisas y los fundamentos de la nueva planeación ambiental urbana y regional se circunscriben al entorno que forman, por un lado, una economía abierta expuesta a los avatares del libre comercio internacional y a un acelerado proceso de globalización de los mercados; y por otro, las nuevas restricciones e incentivos impuestos por los criterios de sustentabilidad ecológica.

En este contexto se puede ver a la ciudad de varias maneras:

- Como una concentración de actividades humanas orientada al aprovechamiento de las *economías de aglomeración* y de las *economías de escala*. Las primeras son de dos tipos: las de *urbanización*, que se refieren a las ventajas que aparecen con el crecimiento económico de la ciudad, y las de *localización*, que se refieren a las ventajas que las industrias adquieren con su propio crecimiento; por *economías de escala*, se entienden las ventajas obtenidas por la empresa como una función creciente de su tamaño. En estos términos, el propósito de las concentraciones humanas es principalmente incrementar su nivel de vida aprovechando las bondades de la aglomeración, como por ejemplo, mejores oportunidades de empleo y mejores salarios, abaratamiento relativo de productos y servicios, y más y mejor equipamiento en servicios de salud, educación y cultura. Sin embargo, el crecimiento irrestricto de las ciudades también genera *deseconomías de aglomeración*, como las relativas al congestionamiento producido por la sobredemanda de servicios urbanos, de vialidades y en general de recursos comunes ambientales.
- La ciudad también puede verse como un *sistema de bienes públicos* (entre los que se encuentran aire limpio y agua de buena calidad) cuya producción

y nuevas modalidades de gestión sientan sus bases institucionales. En una situación en la que los apremios económicos no fuesen la razón de mayor peso específico en las decisiones de localización residencial de las personas, las diferencias en la calidad de los bienes públicos ofrecidos en distintas ciudades comparables, serían razón suficiente para escoger el lugar de residencia. Por ejemplo, si se les presentara la posibilidad de elegir, más personas escogerían la ciudad que ofreciera el aire más limpio.

La tercera aproximación a la ciudad es verla como un denso tejido de *externalidades* (positivas y negativas) donde prácticamente cada acción privada tiene consecuencias sobre el estado del bienestar general y donde las iniciativas y proyectos públicos muchas veces se mueven en una ruta conflictiva con intereses privados bien establecidos. En una gran aglomeración urbana las decisiones cotidianas de sus habitantes se cuentan por millones, de ahí que la única manera de lograr que sus efectos no generen inmensos costos sociales es contar con la presencia del Estado para diseñar y mantener un marco legal y normativo adecuado. En materia ambiental, ese marco debe incluir esquemas transparentes de incentivos para que los individuos tomen decisiones ambientalmente atractivas, liberando al Estado de la indeseable tarea de decidir por cada uno de ellos.

Destaca sobre todas las cosas la necesidad de comprender el orden espacial de la ciudad, plasmado en los usos del suelo, y de interpretar correctamente las formas urbanas de las cuales dependen los patrones de convivencia cotidiana y las relaciones intersectoriales entre un vasto abanico de actividades y conductas. Sin ello, se pierden de vista las rutas para una política ambiental eficiente que asegure un desarrollo urbano sustentable. Es importante subrayarlo: la política ambiental debe ser expresada a través de la política urbana y operada a través de la dinámica espacial y territorial de la ciudad, haciendo que confluyan eficientemente mercados, consumidores, productores, vecinos y sistemas de información.

La organización espacial de la ciudad surge de las formas en que la actividad cotidiana de los individuos se coordina e interactúa con la actividad de las industrias, los servicios y las entidades públicas; esa organización espacial y territorial explica buena parte de sus potencialidades, pero también de sus problemas. En este contexto, los mercados en la ciudad tienen una expresión territorial claramente definida, lo que determina el orden y la organización física de la estructura urbana; es esta geografía económica un factor determinante, que moldea los patrones de convivencia, consumo, demanda de energía y uso de los recursos comunes ambientales; de esto dependen, finalmente, las condiciones para asegurar la sustentabilidad de la ciudad a través de una política ambiental urbana eficaz e integral. La estructura espacio-territorial de la ciudad es algo crítico para comprender las relaciones intersectoriales entre la industria, los servicios, la vivienda, el transporte de personas y mercancías, y entre ellas y el medio ambiente.

El *mercado* es inherente a la ciudad; en ella se nutren y se sustentan demandas, ofertas y transacciones de bienes, servicios y de información en las que participan individuos, entidades públicas y empresas. La actividad intensa en un enorme número de mercados es un rasgo sobresaliente de la ciudad; éstos ofrecen opciones y dan a los ciudadanos mayores posibilidades de elección, son tremendamente diversos y tan extensos que incluso la trascienden, desplegándose mucho más allá de sus límites físicos y de las fronteras nacionales. En los mercados inherentes a la ciudad radican sus distintivas capacidades de innovación, adaptación y pluralismo.

Para encauzar a la metrópoli hacia un futuro sustentable, es preciso promover su productividad y fortalecer sus ventajas competitivas. Se debe asegurar su dinamismo económico a través de la creación y organización de las condiciones locales que permitan aprovechar cabalmente los atributos locales de la urbe, conjurando de paso los peligros de la obsolescencia de su infraestructura para evitar el abandono y la ineficiencia que la misma significaría. Estas condiciones, que hoy conocemos como *ventajas competitivas*, residen en la diversidad y riqueza de los factores locales que permiten a las empresas e industrias alcanzar y mantener altas tasas de productividad, y son producidas por la actualidad, calidad y accesibilidad de todos los insumos requeridos. Su creación y permanencia son de la mayor importancia, porque sólo el mantenimiento de altas tasas de productividad puede asegurar el mejoramiento continuo del nivel de vida de todos los habitantes.

Ello significa, por ejemplo, contar con mano de obra altamente calificada en los lugares en donde se le necesita, tener acceso a nuevas tecnologías y procesos de producción más limpios y eficientes, contar con la información requerida acerca de las necesidades específicas de los consumidores de diferentes lugares, contar con una infraestructura de buena calidad y amplia cobertura, poseer un marco regulatorio que facilite la creación y operación de las empresas y un sistema fiscal internacionalmente competitivo, contar con gobiernos que gocen de credibilidad y que por lo tanto, inspiren confianza y fomenten la certidumbre, tener recursos naturales fácilmente asequibles y buscar la posibilidad de aprovechar la globalización de los mercados, distribuyendo espacialmente las actividades de diseño, producción y distribución de todo tipo de productos y servicios.

Las ciudades se encuentran inmersas en un entorno constituido por nuevas reglas económicas y ambientales. En lo económico, dicho entorno se caracteriza por el libre comercio y por la globalización de los mercados internacionales, construyendo escenarios que se avizoran difíciles pero prometedores. En lo ambiental, la observancia de la sustentabilidad de los procesos de desarrollo definirá, orientará y acotará las acciones deseables para la sociedad pero permisibles por la salud de la ecología.

Garantizar la fortaleza y el dinamismo económicos de la metrópoli es además prerrequisito para generar los recursos y las preferencias sociales que fundamenten una activa política ecológica. Poco o nada se puede hacer en la indigencia o ante los apremios, mientras que, en la pobreza, las prioridades y las expectativas sociales se vuelcan al corto plazo, prevaleciendo tasas de descuento relativamente altas en la estructura de preferencias, lo que invalida y descarta los proyectos a futuro como los de sustentabilidad ambiental.

No debe soslayarse la creciente dependencia de la ciudad abierta y de los procesos urbanos a las condiciones macroeconómicas generales del país, lo que obliga a una gestión urbana atenta al devenir de los mercados nacionales y globales en los que la metrópoli participa. La apertura económica lanza nuevos incentivos de localización industrial, hace fenecer ramas completas de actividades manufactureras y genera oportunidades en diversos sectores. Al mismo tiempo, la política fiscal y las reglas de coordinación federal en materia tributaria abren o cierran oportunidades de financiamiento a la metrópoli; mientras que la política de precios para bienes y servicios clave ofrecidos por el gobierno federal, incide directamente en patrones estratégicos de conducta metropolitana, como es el caso de los combustibles con relación al transporte, la contaminación atmosférica y los usos del suelo.

La innovación tecnológica es un proceso indispensable en la búsqueda de horizontes de sustentabilidad para la ciudad. Recordemos que las condiciones de sustentabilidad están definidas por la población, la tecnología y los patrones de consumo. Sin embargo, siendo indispensable el avance tecnológico también es cierto que algunas de las tecnologías utilizadas presentan ya rendimientos marginales decrecientes, en tanto instrumentos para resolver los problemas ambientales de la urbe. Por ello puede ser cada vez más difícil y costoso abatir volúmenes adicionales de contaminación, y mitigar otros impactos sobre el ambiente sólo por la vía tecnológica de al final del tubo (convertidores catalíticos, vialidades, mejores combustibles, recuperadores de vapores, etc.), dejando intacta la estructura de organización espacial de la ciudad, e ignorando las posibilidades de interacción sectorial de las políticas.

De la consideración de los aspectos presentados en el diagnóstico, se deduce que la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) tenderá a la sustentabilidad sólo en la medida en que cuente con un proyecto estratégico y de largo plazo para enfrentar sus graves y diversos problemas ambientales. El horizonte de planeación debe ser al menos de 15 ó 20 años, con metas, estrategias y acciones calendarizadas anualmente para ir cumpliendo de manera continua con objetivos de corto y mediano plazos. La asunción de un compromiso como éste representa una señal inequívoca de que las autoridades ambientales federales, así como el gobierno del Estado de Jalisco, se mueven por un legítimo compromiso de búsqueda de bienestar permanente para los habitantes de la Zona Metropolitana de Guadalajara.

Es tal la complejidad e intensidad de los problemas ambientales metropolitanos, que los costos de instrumentación y control de las medidas necesarias para su mitigación son necesariamente altos. Las bases de una política pública dirigida a la sustentabilidad del desarrollo urbano, deben por lo tanto considerar una distribución justa de los costos entre todos los usuarios de la cuenca atmosférica, incluido el sector público. *Con esa idea, la integración de un paquete de estrategias e instrumentos de combate a los problemas ambientales de la ZMG, debe mezclar acciones convencionales con acciones innovadoras, así como con amplias y eficaces medidas compensatorias.*

En otros países ha comenzado a experimentarse con diversas acciones que han producido algunas experiencias interesantes y novedosas de política pública. Algunas, tienen que ver con la acelerada innovación tecnológica de los últimos años, y otras, con instrumentos económicos. De acuerdo a estudios recientes, se observó que las políticas más recurrentes en las grandes ciudades han sido, en las últimas décadas, las del mejoramiento del transporte público, con énfasis en la construcción de trenes; en las ciudades medianas la norma ha sido el mejoramiento de los servicios urbanos. La creencia de que la solución a los problemas de congestión vial y su consiguiente volumen de emisiones contaminantes era la construcción indiscriminada de más vialidades urbanas, desapareció hace algunos años ante la evidencia de no haber obtenido resultados positivos. En todas las ciudades estudiadas se han practicado diversas medidas sobre gestión de tránsito, conexiones intermodales y prioridades a autobuses y tranvías. Dentro de las acciones de regulación del uso del automóvil, la más común ha sido la del control de estacionamientos.

Pero, de los conceptos presentados en este documento así como del conocimiento de las experiencias de otros países, se deduce que un manejo eficaz de la cuenca atmosférica de una megalópoli como la que nos ocupa, no se logra sólo con medidas tecnológicas convencionales. Esto nos lleva a incorporar las experiencias y el aprendizaje acumulado en un paquete de criterios ambientales para el desarrollo urbano que coadyuve en la elaboración de la nueva política urbana y regional. No sólo se requiere de la integración de las políticas urbanas y ambientales, sino del diseño de políticas que se refuercen mutuamente con un horizonte de sustentabilidad. Esto implica que además de establecer nuevas políticas de uso del suelo, es necesario actuar directamente sobre los procesos de demanda de viajes en auto privado y de combustibles, y establecer una estricta normatividad tecnológica que tienda a incrementar la calidad ambiental de los vehículos.

La complementariedad de las estrategias es igualmente fundamental desde el punto de vista de su viabilidad política y de su indispensable reforzamiento mutuo. Tal es el caso de la adopción de medidas que incidan sobre la demanda de viajes y de combustibles y sobre la oferta de un transporte público eficaz, junto con nuevas po-

líticas de desarrollo urbano en favor de la densificación y la diversidad de los usos del suelo, de reorganización espacial de algunas actividades importantes, de revitalización de las áreas centrales, de defensa efectiva de las áreas verdes y de las zonas de conservación ecológica, y de promoción del desarrollo urbano sólo en áreas bien atendidas por sistemas de transporte colectivo.

4. Industria, competitividad y medio ambiente

La evidencia internacional demuestra que la protección ambiental en la industria no está reñida con la competitividad. Múltiples casos observados en los últimos años, confirman el hecho de que las empresas y ramas industriales sujetas a estrictas regulaciones ambientales pueden lograr un desempeño sobresaliente en los mercados domésticos e internacionales. En el ámbito de países, es muy claro que naciones con una estricta política ambiental no sólo mantienen, sino que amplían su capacidad de competir y de expandir sus mercados. Los países que permiten una externalización indiscriminada de costos ambientales, en realidad, están subsidiando a los consumidores tal vez de naciones ricas, a expensas de su propia población, recursos naturales y economía.

En muchas ocasiones la protección ambiental requiere de inversiones considerables, que pueden tener importantes costos de oportunidad a nivel de empresa. Sin embargo, en el ámbito social ésto significa en realidad la expresión de una preferencia en favor de la calidad ambiental, la cual también forma parte de los objetivos de bienestar de la población. En este sentido hay una transferencia de empleos a un nuevo y creciente sector ambiental en la economía, que frecuentemente tiene una mayor capacidad de generación de empleos por unidad de gasto. La disyuntiva entre protección ambiental y empleos es solo aparente: en realidad se trata de una decisión social sobre el tipo de economía y sobre los niveles de bienestar que prefiera la sociedad. Se ha estimado en 1994, que el tamaño del sector ambiental de la economía ascendió a casi 2,000 millones de dólares, incluyendo sistemas de control de la contaminación del agua, manejo de residuos sólidos y peligrosos, eficiencia energética y energéticos renovables, control de emisiones a la atmósfera en fuentes industriales, consultoría y reparación de daños ambientales.

La política ambiental hoy debe edificarse a partir de nuevos principios, en donde la regulación ecológica entre en sinergia con un desarrollo industrial competitivo. Industriales y autoridades ambientales deben dejar de verse unos a otros como adversarios en un juego de suma cero, donde lo que uno cosecha para sus propios fines otro lo pierde. Ahora sabemos que la regulación ambiental puede y debe ser un eficaz impulsor de la posición competitiva de la industria, a través de nuevos esquemas de cooperación entre el gobierno y las empresas.

En vez de imponer obstáculos en la senda del desarrollo industrial, la nueva política ambiental para la industria debe ofrecer incentivos a las empresas para innovar de manera permanente sus tecnologías y procesos en favor de la protección ambiental.

En otros países esta asociación de medios y fines entre la promoción del desarrollo industrial y la protección del medio ambiente ha resultado en poderosos círculos virtuosos. Hoy sabemos que los problemas ambientales no sólo pueden y deben atacarse por la vía correctiva de la reparación o al *final del tubo*, sino que es posible resolver problemas ambientales a través de un uso más eficiente de materiales e insumos, un mejor control de procesos; una mayor creatividad en el diseño organizacional; minimización de riesgos y de primas de seguros; reducción de costos de disposición y manejo de efluentes, residuos y emisiones; incremento en la productividad; identificación y aprovechamiento de mercados para materiales secundarios; eficiencia energética; mejor mantenimiento de equipos y recuperación de desechos; entre otros aspectos que de manera conjunta, tienden a promover la innovación y el progreso tecnológico. Así, los resultados de la regulación ambiental no son sólo públicos, sino que también se traducen en ventajas para las empresas que mejoran su productividad y su posición competitiva.

Una gestión ambiental eficiente no es responsabilidad exclusiva de las áreas de ingeniería. Es fundamentalmente una responsabilidad de gestión microeconómica, tendiente a utilizar con una alta racionalidad los recursos ambientales que ingresan, se transforman o se utilizan en el proceso productivo.

La política ambiental debe ser construida sobre un amplio cimiento y enfocarse en el desempeño ambiental de ramas completas de actividad industrial, más que en el desempeño de cada empresa en lo individual; permitiendo de esta forma una competencia sana y leal, entre iguales, para lograr resultados ambientales globales de manera más eficiente.

USUARIOS DE LA
CUENCA
ATMOSFÉRICA



7. USUARIOS DE LA CUENCA ATMOSFÉRICA

En la ciudad son muchos los actores o usuarios de la cuenca atmosférica. Fundamentalmente, establecimientos industriales, comerciales y de servicios, automovilistas privados y vehículos de transporte colectivo. Cada uno de ellos accede a los servicios que ofrece la cuenca atmosférica sin más límite que sus propias preferencias y disponibilidades. La situación puede equipararse a una *tragedia de los recursos comunes*, interpretada como una *tragedia de libre acceso* en donde cada agente, en búsqueda de sus propios intereses o tratando de maximizar beneficios personales o utilidades, emplea sin restricciones la capacidad de carga de la cuenca atmosférica; de hecho, lo hace hasta el punto en que desaparecen los beneficios o la satisfacción adicional de hacerlo.

Sin embargo, los costos inherentes en términos de degradación de la calidad del aire son asumidos por toda la sociedad, esto es, hay una disparidad entre los beneficios, que son privados y los costos, que son públicos. La racionalidad privada permite satisfacer necesidades y expectativas en lo individual. Nadie por sí mismo ajusta sus conductas en aras del interés colectivo, debido a que hacerlo conlleva costos individuales muy altos que resultan inaceptables ante la expectativa de que los demás optarán por mantener la misma conducta, y que los beneficios, siendo sólo resultado de uno o de pocos esfuerzos aislados, serán sumamente magros o despreciables. Este es el típico problema de la acción colectiva: muchas personas buscarán la manera de comportarse de manera oportunista, esperando recibir gratuitamente y sin empeñar esfuerzo alguno, los beneficios generados por la mayoría.

En este capítulo, se presentan en primer término un análisis del consumo de energéticos y la calidad de los mismos en la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) y enseguida el inventario de emisiones desagregado, con el fin de identificar y dar el peso específico de las fuentes que deterioran la calidad del aire.

1. Balance energético

El acceso y el uso de la cuenca atmosférica se manifiestan en el nivel de consumo energético total, específicamente en términos de los combustibles fósiles que se queman. Este concepto constituye un hilo conductor muy eficaz, tanto en el diagnóstico como en el diseño de estrategias de gestión de la calidad del aire. De hecho, la actividad económica de la ciudad se expresa a través de la demanda de energía. En este ámbito existen diversos estudios que consignan una correlación significativa entre el producto interno de una economía y la

demanda de energía. La forma en que esta demanda impactará la calidad del aire depende en buena medida del balance energético.

En la tabla siguiente se resume el balance energético de la ZMG, considerando los principales sectores económicos y los combustibles.

Tabla 7.1. Consumo energético por sectores, % respecto al consumo total anual*

Combustible	Transporte	Industria	Servicios	Total
Gasolinas	29.44			29.44
Diesel	29.00	5.81	0.04	34.85
Combustóleo		20.92	0.04	20.96
Gas L.P.		0.97	6.56	7.53
Gas Natural		7.20	0.02	7.22
Coke		CD		CD
Total	58.44	34.90	6.66	100

CD.- Consumo despreciable.

* Consumo total anual: 45.224×10^{12} kcal, equivalente a 6.170 millones de metros cúbicos de gasolina nova.

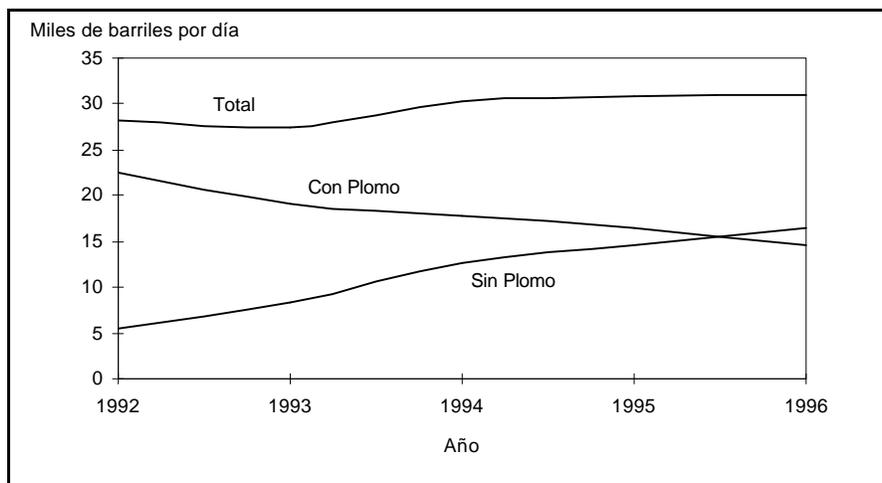
Fuente: Datos de PEMEX, 1996.

En la Tabla 7.1 se resalta el consumo que se tiene de gasolinas y diesel que es mayoritariamente para uso vehicular. Asimismo, es relevante el alto consumo de combustóleo en la industria. Globalmente, se ve que el consumo por el transporte es el más importante en la ZMG, seguido del consumo por la industria.

Dado que la gasolina en usos vehiculares involucra, a la vez, la mayor demanda energética y el porcentaje más significativo de emisiones, es importante prever tendencias más acentuadas de sobrecarga en la cuenca atmosférica a través de la evolución del consumo de la gasolina. Éste a su vez, puede ser explicado por la demanda por kilómetros recorridos en vehículo privado, el número de vehículos en circulación, el congestionamiento vehicular, la superficie del área metropolitana ocupada por vialidades y la eficiencia energética de los vehículos, así como por el tipo y calidad de combustibles que se utilizan y las tecnologías de control de emisiones.

La Figura 7.1 presenta la evolución del consumo promedio de las gasolinas en la ZMG, de 1992 a 1996, el cual muestra una tendencia incremental, situándose actualmente sobre los 30 mil barriles por día, de los cuales corresponde el 47% a gasolina con plomo y 53% a gasolina sin plomo; en 1992 y 1993, el consumo fue inferior a los 30 mil barriles por día.

Figura 7.1
Consumo promedio de gasolina en la ZMG



Fuente: PEMEX, 1996.

Calidad de los combustibles

En relación a la calidad de los combustibles en la ZMG, se considera que conforme a lo establecido en la NOM-ECOL-086-1994 (Publicada en el D.O.F. el 2 de diciembre de 1994) que establece las especificaciones sobre protección ambiental que deben reunir los combustibles fósiles líquidos y gaseosos que se usan en las fuentes fijas y móviles, a partir del año 1998 las especificaciones de las gasolinas Magna Sin y Nova Plus, serán las mismas de las que se consuman en la Zona Metropolitana de Valle de México (ZMVM), así mismo la calidad para cualquier combustóleo en cuanto a contenido de azufre se especifica a un máximo de 4% en peso. Cabe aclarar que recientemente PEMEX cambió el nombre a la gasolina Magna Sin y ahora se llama Pemex Magna, sin embargo en este documento la información de la calidad de la gasolina sin plomo a la que se hace referencia en la ZMVM, es sobre la que se distribuyó en 1995.

Con el propósito de hacer un análisis objetivo del efecto que tienen las diferentes propiedades de una gasolina en los niveles de ozono atmosférico, conviene citar antes, algunas de las conclusiones alcanzadas por el Consejo Nacional Estadounidense de la Investigación (NRC por su nombre en inglés). En efecto, Calvert et al. señalan que *“se ha fracasado en alcanzar las normas de calidad, a pesar de los programas de control de la contaminación de los últimos 20 años”*. Dichos autores indican que de 1982 a 1991, tan sólo disminuyeron en 8% las concentraciones de ozono y comentan que el problema no es fácil de resolver.

Asimismo, advierten que el control de la contaminación es un ejercicio costoso y que por ello es importante determinar la efectividad de las diferentes opciones de control. Los cambios más promisorios que se pueden dar en la calidad de la gasolina desde el punto de vista ambiental consisten en disminuir el contenido de azufre y la presión de vapor Reid. La reducción de azufre mejora la eficiencia del convertidor catalítico y la aminoración de la presión de vapor tiene un efecto directo en la disminución de las emisiones evaporativas. También recomiendan disminuir T90, esto es, la temperatura a la cual se destila el 90% de la gasolina y el contenido de olefinas. La adición de componentes oxigenados es benéfica cuando se pretende mantener el octano y reducir el nivel de monóxido de carbono, pero esta acción parece no ofrecer beneficios con respecto a la reducción de ozono. Los mismos científicos mencionan que no vale la pena abatir la concentración de aromáticos.

Tabla 7.2. Comparación de especificaciones y valores típicos de las gasolinas mexicanas y norteamericanas sin plomo

	Magna Sin	Magna Sin	Regular			Magna Sin	Magna Sin
	ZMCM NOM-086* 1994	ZMG NOM-086* 1994	EE.UU.*** ASTM D4814 1993	CARB**** 1996	CARB**** Junio 1996	ZMVM Valor típico en 1995	ZMG Valor típico en 1996
Presión de vapor Reid, lb/pulg ²	6.5 - 8.5	6.5 - 9.5	7.8 máximo en Denver	7.0 máx.	6.8 máx.	8.1	8.2
10% destila a °C (máximo):	65	65	70			53	60
50% destila a °C:	77-118	77-118	77 - 121	99 máx.	93 máx	100	113
90% destila a °C (máximo):	190	190	190	165	143	174	178
Temperatura final ebullición, °C:	221	221	225			216	215
Azufre, % peso (máximo)	0.10	0.10	0.10	0.013	0.003	0.048	0.059
Plomo, kg/m ³ (máximo)	0.0026	0.0026	0.013			0.000170	0.000104
Número de octano carretero, (R+M)/2 (mínimo)	87.0	87.0	87.0	87.0	87.0	87.3	87.1
Aromáticos, % volumen (máximo)	30	informar	-	27	22	27.2	43.9
Olefinas, % volumen (máximo)	15**	informar	-	8.5	4	10.3	3.7
Benceno, % volumen (máximo)	2	4.9	-	0.8	0.8	1	2.7
Oxígeno, % en peso	1-2	No específica		2 mín	2 mín	1.06	-

Notas: * Norma publicada por el INE en el Diario Oficial de la Federación del 2 de diciembre de 1994.

**A partir de enero de 1998 el valor máximo permisible será de 12.5%.

*** Regular Norteamericana.

**** Regular Californiana.

En Estados Unidos se prohibió la fabricación y venta de gasolina con plomo a partir de 1990. Por ello, sólo se comparan en la tabla anterior las especificaciones mexicanas y norteamericanas de gasolina sin plomo. Se detallan las especificaciones federales norteamericanas de la gasolina Regular, las que rigieron en California hasta mayo de 1996 y las que rigen en California actualmente. En la Tabla 7.2 se incluyen los valores promedio que durante 1995 alcanzaron las diversas propiedades que caracterizan a la gasolina Magna Sin en la Zona Metropolitana del Valle de México y los de 1996 (hasta septiembre) de la gasolina Magna Sin que produce la refinería de Salamanca, principal abastecedor de esta gasolina a la Zona Metropolitana de Guadalajara.

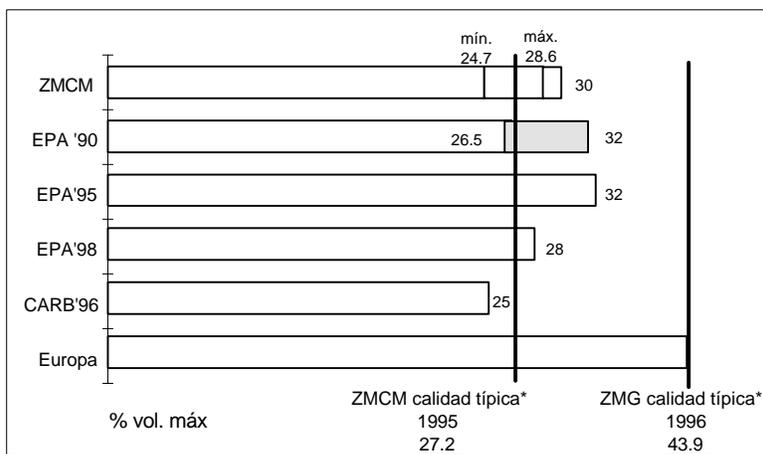
Se puede inferir de la tabla anterior que la gasolina Magna Sin que se distribuye en la Zona Metropolitana de Guadalajara ha satisfecho las especificaciones mexicanas durante 1996 y que tiene características similares a la Regular norteamericana. La gasolina californiana tiene parámetros más estrictos que la Regular norteamericana y que la mexicana, en lo que respecta a presión de vapor, temperaturas de destilación, contenido de azufre, aromáticos, olefinas y benceno. La diferencia se hizo muy notoria a partir de junio de 1996, cuando en California entraron en vigor nuevas especificaciones.

Los precursores de ozono son los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno. Al usar gasolina reformulada en California con las especificaciones de junio de 1996, se espera reducir las emisiones de compuestos orgánicos volátiles en 17% y las de óxidos de nitrógeno en 11%. Cabe hacer notar que las estimaciones se basan en una flota vehicular compuesta de automóviles dotados de convertidor catalítico. El efecto benéfico sería mucho menor si los vehículos no contásen con convertidor catalítico o si éste se encontráse desactivado por estar envenenado con plomo y/o azufre.

Conviene ilustrar gráficamente cómo se compara la calidad típica de la gasolina sin plomo mexicana con la de otros países, en lo que respecta al contenido de aromáticos, olefinas y benceno. Puede observarse en la siguiente gráfica, que el valor típico de la Magna Sin de la Zona Metropolitana del Valle de México de 27.2% en contenido de aromáticos en 1995, es muy inferior al europeo (38%) e inferior aún al valor federal norteamericano que se pronostica para 1998. A diferencia, la Magna Sin de la Zona Metropolitana de Guadalajara posee un contenido de aromáticos de casi el doble el de la ZMVM, igual al de la gasolina europea. Cabe mencionar que para el caso de la gasolina de la ZMG, hasta diciembre de 1997, la NOM-086 no establece valores de referencia para estos compuestos ni para las olefinas.

Figura 7.2
Comparación de la calidad típica de la gasolina sin plomo mexicana
con estándares internacionales

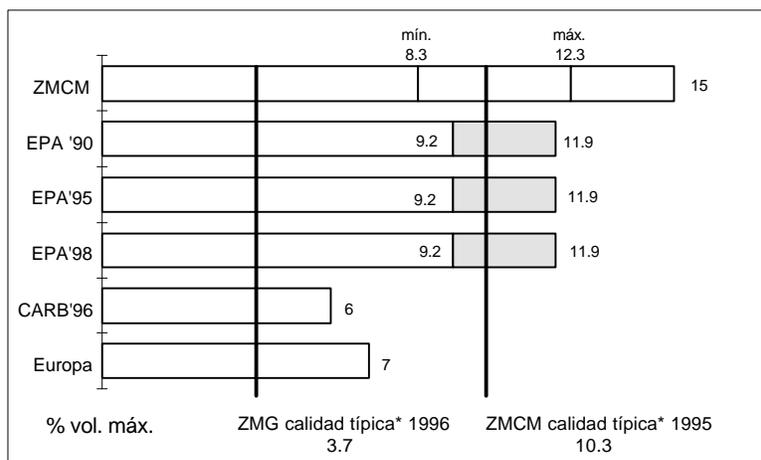
Aromáticos



* Calidad típica en la Zona Metropolitana del Valle de México y Zona Metropolitana de Guadalajara

Fuente: PEMEX Refinación, EPA, CARB.

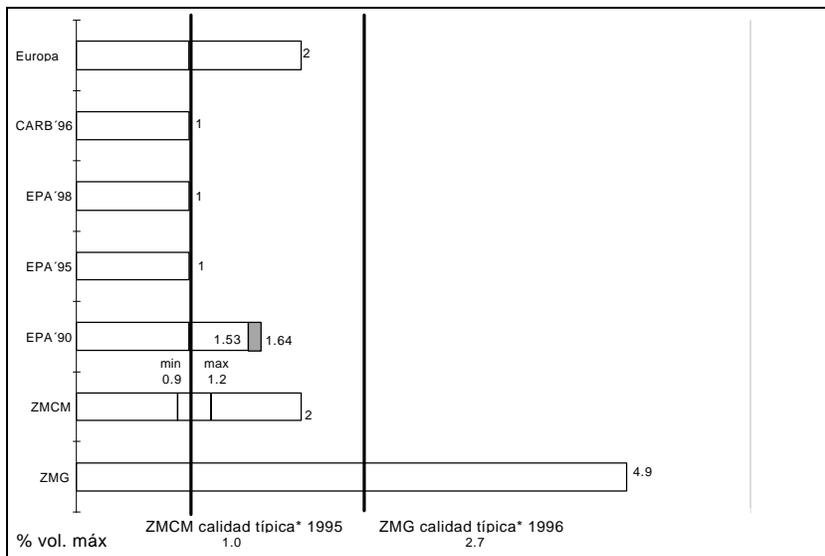
Olefinas



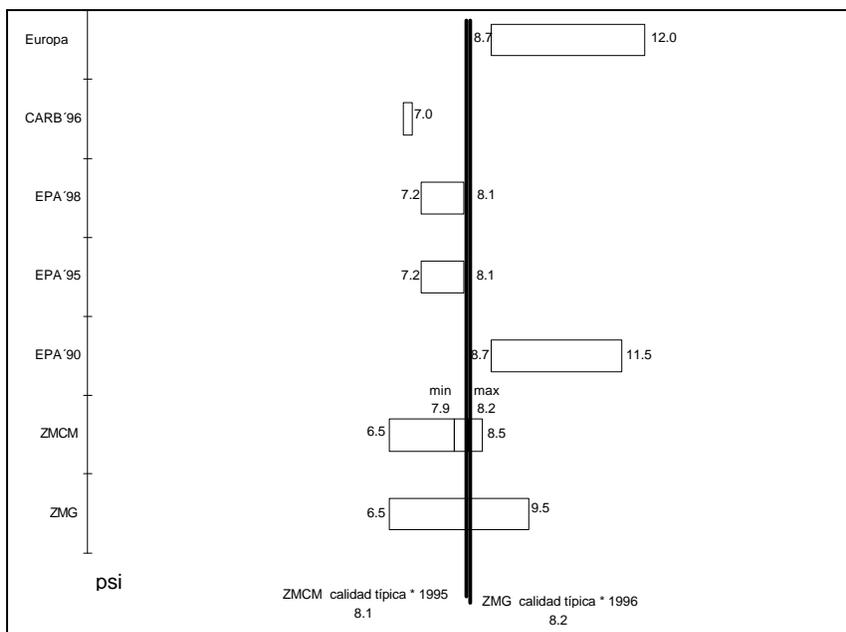
* Calidad típica en la Zona Metropolitana del Valle de México y Zona Metropolitana de Guadalajara

Fuente: PEMEX Refinación, EPA, CARB.

Benceno

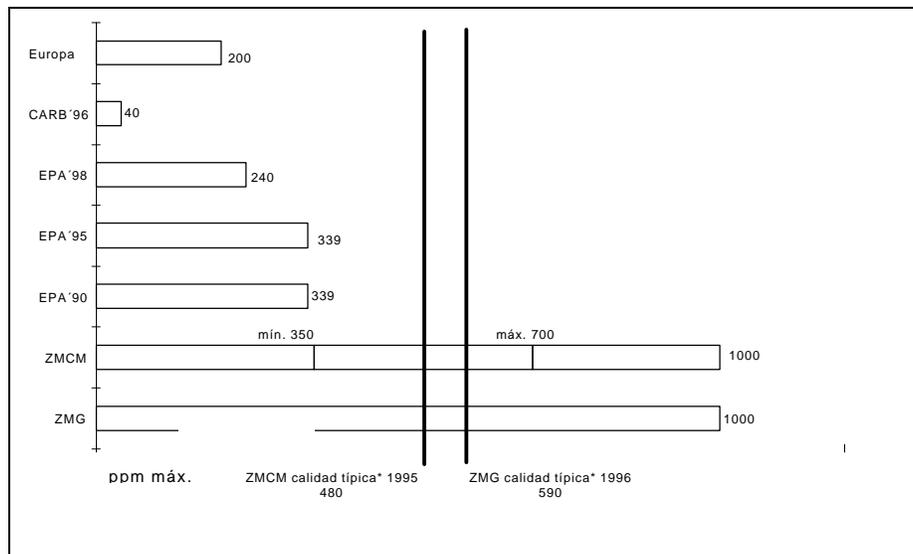


Presión de Vapor Reid



* Calidad típica en la Zona Metropolitana del Valle de México y Zona Metropolitana de Guadalajara
Fuente: PEMEX Refinación, EPA, CARB.

Azufre



* Calidad típica en la Zona Metropolitana del Valle de México y Zona Metropolitana de Guadalajara

Fuente: PEMEX Refinación, EPA, CARB.

En olefinas, la gasolina Magna Sin de la ZMG tiene un contenido típico del 3.7% en volumen, mucho menor al que tuvo la gasolina de la ZMVM en 1995, cuyo valor típico fue de 10.3%. Al analizar la gráfica puede inferirse que la gasolina sin plomo de la ZMVM contenía ligeramente más olefinas que la gasolina federal norteamericana. Tanto la gasolina de California como la europea acusan un mucho menor contenido de olefinas que la mexicana. El hecho anterior puede explicarse por la configuración de las refinerías europeas en las que prevalece el equipo de reformación para incrementar el octano; mientras que las refinerías mexicanas y las norteamericanas, para alcanzar el mismo fin, cuentan generalmente con dos procesos: el de reformación y el de desintegración catalítica de gasóleos de vacío en lecho fluido. No es de extrañar entonces, que la gasolina europea tenga elevados índices de aromáticos y benceno y bajos de olefinas. Esto es todavía mas cierto para la gasolina de la refinería de Salamanca.

En benceno, la gasolina Magna Sin de la ZMVM presentó en 1995 un nivel acotado por el intervalo 0.9-1.2% en volumen, con un valor típico de 1.0%. Este último valor es similar al federal norteamericano y al actual de California. Esta gasolina Magna Sin tiene la mitad del benceno de una gasolina europea. En el caso de la Magna Sin de la ZMG, la norma establece un valor máximo de hasta

4.9% en volumen y en 1996 presenta un valor típico de 2.7%, superior a las especificaciones sobre benceno aquí referidas.

Cabe señalar nuevamente que de acuerdo con la NOM-086, a partir de 1998, las gasolinas que se expendan en la ZMG serán de la misma calidad que las que se distribuyan en la ZMVM y en Monterrey, incluyendo la oxigenación de las mismas en un intervalo de 1 a 2% en peso.

En la Tabla 7.3, respecto a la gasolina con plomo, se observa que la nova de la ZMVM cumplió en 1995 con las especificaciones de número de octano, presión de vapor Reid, contenido de plomo, azufre, aromáticos, olefinas y benceno, y con los cortes de destilación. De igual forma, la nova de la ZMG cumple en 1996 con sus especificaciones; sin embargo, se ve que algunos de sus parámetros importantes que influyen en su reactividad no están normados, pudiendo significar en su conjunto, la posibilidad potencial de emisiones de precursores de ozono más reactivos.

Tabla 7.3
Composición de la gasolina con plomo, distribuida
en las zonas metropolitanas del Valle de México y de Guadalajara

Propiedad	Nova ZMVM Norma-086* 1994	Nova ZMG Norma-086* 1994	Nova ZMVM Valor típico en 1995	Nova ZMG Valor típico en 1996
Presión de vapor Reid, lb/pulg ²	6.5 -8.5	7.0 -9.5 (1)	8.1	8.5
10% destila a °C (máximo):	70	70	52	53
50% destila a °C:	77-121	77 - 121	89	103
90% destila a °C (máximo):	190	190	169	181
Temperatura final de ebullición, °C:	225	225	217	213
Azufre, % peso (máximo)	0.15	0.15	0.07	0.11
Plomo, kg/m ³ (máximo)	0.06-0.08	0.06-0.28	0.03	0.17
Número de octano Research (mínimo)	81	81	82.7	81.1
Aromáticos, % volumen (máximo)	30	no específica	22.4	-
Olefinas, % volumen (máximo)	15	no específica	8.5	-
Benceno, % volumen (máximo)	2	no específica	1.2	-
Oxígeno, % en peso	1 - 2	no específica	0.78	-

Nota: * Norma publicada por el INE en el Diario Oficial de la Federación del 2 de diciembre de 1994.

(1) A partir de enero de 1998 este valor cambia a 6.5 - 9.5 lb/pulg².

En cuanto al Diesel Sin, éste satisface ampliamente las especificaciones mexicanas. Cabe mencionar que en California y Alemania se están dañando los motores, al parecer por usar diesel de muy bajo contenido de hidrocarburos aromáticos (los aromáticos lubrican la máquina). El Diesel Sin promedió 26.6% en

volumen de aromáticos en el Valle de México durante 1995 y 22.4% en volumen en la ZMG hasta septiembre de 1996 (ver Tabla 7.4).

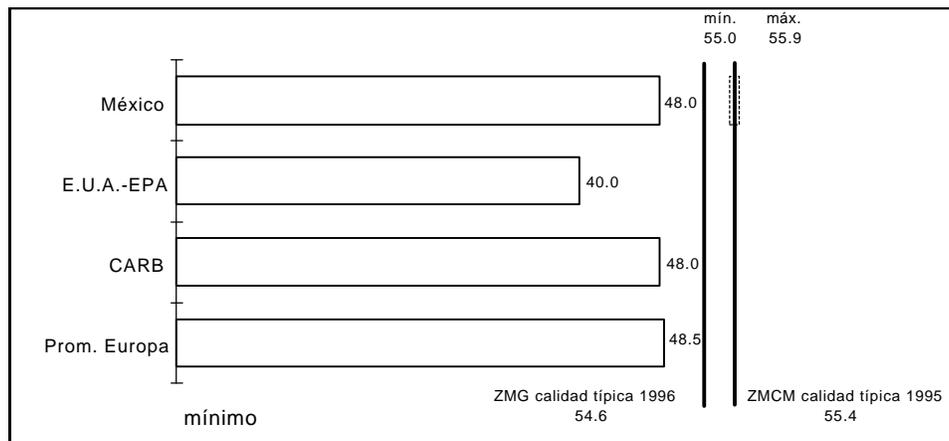
Tabla 7.4
Especificaciones del diesel mexicano con bajo contenido de azufre

Propiedad	Diesel Sin		
	México NOM-086* 1995	ZMVM Valor típico en 1995	ZMG Valor típico en 1996
10% destila a °C (máximo):	275	239	224
90% destila a °C (máximo):	345	339	332
Agua y sedimento, % en volumen (máximo):	0.05	0.010	0.010
Cenizas, % en peso (máximo):	0.01	0.001	0.000
Carbón Ramsbotton, % en peso (máximo):	0.25	0.081	0.048
Azufre, % en peso (máximo):	0.05	0.041	0.036
Índice de cetano (mínimo):	48	55.4	54.6
Viscosidad, (SSU), segundos	32 - 40	38.6	-
Aromáticos, % en volumen	30	26.6	22.4

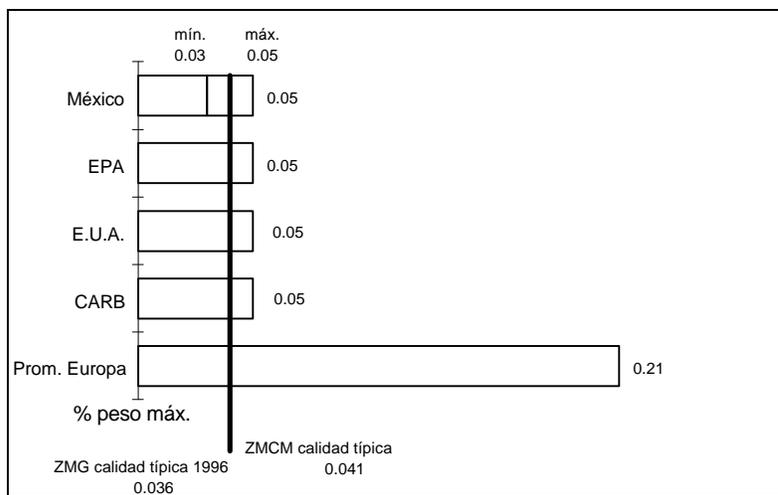
Nota: * Norma publicada por el INE en el Diario Oficial de la Federación del 2 de diciembre de 1994.

En la gráfica siguiente se comparan tres parámetros fundamentales que hablan de la calidad del diesel, a saber, índice de cetano, azufre y aromáticos.

Figura 7.3
Especificación y calidad típica del Diesel Sin
Índice de cetano

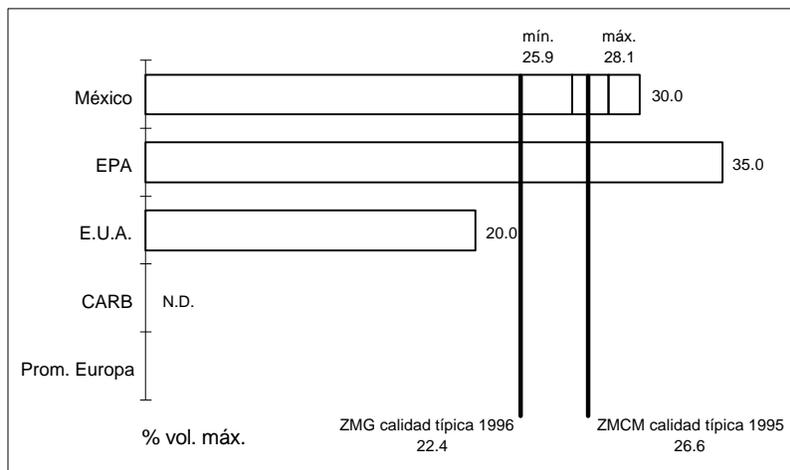


Azufre



*Incluye diesel desulfurado

Aromáticos



Fuente: Pemex Refinación, EPA, CARB

Puede apreciarse en la gráfica que el índice de cetano, con un valor típico de 55.4 en la ZMVM y de 54.6 en la ZMG, muestra que el Diesel Sin es de mucho mejor calidad que el norteamericano y europeo. En la ZMVM, además de tener un excelente índice de cetano, su número fluctúa muy poco, manteniéndose dentro del intervalo 55.0-55.9%.

En azufre el Diesel Sin presentó en 1995 un valor típico de 0.041% en peso en la ZMVM y de 0.036% en la ZMG, con un intervalo de variación de 0.03-0.05% para el primero. La calidad del diesel automotriz mexicano, en cuanto a su contenido de azufre, es muy similar al norteamericano y californiano, pero mucho mejor al europeo.

El diesel federal norteamericano es especificado con un mayor contenido de aromáticos que el Diesel Sin. Únicamente el diesel californiano registra un valor bajo de 20% en volumen en aromáticos, menor al valor típico de 26.6% registrado en la ZMVM durante 1995 y de 22.4% en la ZMG durante 1996.

La calidad del Diesel Sin fue certificada de octubre de 1993 a diciembre de 1994 por las empresas SGS, SAYBOLT y CALEB BRETT, por lo que Petróleos Mexicanos suspendió la certificación externa al no detectarse anomalías en la calidad de este combustible. En la actualidad Pemex-Refinación certifica la calidad del Diesel Sin. Cabe resaltar que la calidad del Diesel Sin ha sido reconocida por Exxon Chemical y por Ethyl Petroleum Additives. Entre muestras de diesel automotriz procedentes de 32 países, por ejemplo, Exxon clasifica al Diesel Sin en cuarto lugar entre mues-

tras procedentes de 32 países, por su elevado índice de cetano y en cuarto lugar por su bajo contenido de azufre. Por otra parte, Ethyl Petroleum Additives señala que el Diesel Sin es de tan alta calidad que no requiere de aditivos como otros.

Con relación al combustóleo y al diesel industrial, se tiene que el contenido de azufre especificado en la NOM-086 es de 4% en peso como máximo para el primero, y de 0.5% en peso como máximo para el segundo. El alto contenido de azufre del combustóleo hace que, como se verá mas adelante, el consumo de éste en la ZMG sea el principal generador de bióxido de azufre en la industria, seguido del producido por el transporte que consume diesel.

Investigadores del Instituto Mexicano del Petróleo y de la Universidad de California detectaron la presencia de concentraciones elevadas de hidrocarburos, que se asocian con los componentes de gas licuado, en la atmósfera de la Zona Metropolitana del Valle de México. Se han hecho esfuerzos para disminuir las fugas de hidrocarburos durante la recarga de tanques para consumo doméstico. Puede observarse, en las tablas siguientes, que Petróleos Mexicanos reformuló el gas licuado para la ZMVM en 1995, con el objeto de enriquecerlo en propano y disminuir el contenido de olefinas y butanos, con objeto de reducir su reactividad atmosférica. Próximamente, el Instituto Nacional de Ecología emitirá una norma que limite la concentración de olefinas y butanos, y que fije un contenido mínimo de propano en el gas licuado. Es necesario hacer notar que la ZMG se abastece de gas licuado a través del GLP-ducto Cactus-Guadalajara, el cual se mezcla con el gas licuado producido en la refinería de Salamanca; la mezcla resultante es la que se comercializa en la ZMG. Actualmente el consumo de gas LP en la ZMG es de alrededor de 30 mil barriles diarios, los cuales se integran por un 92% de gas transportado por el GLP-ducto y un 8% de gas producido por la refinería de Salamanca. Como se puede apreciar en las tablas siguientes, el contenido de olefinas es mucho mayor en el gas de Salamanca; aunque su proporción en la mezcla que se consume en la ZMG es relativamente pequeña, en las condiciones actuales el gas LP distribuido en la ZMG tiene un contenido de olefinas de alrededor del 5% en volumen. Pemex ha indicado que el contenido de olefinas de este gas será reducido drásticamente con la entrada en operación de nuevas plantas durante 1997.

Tabla 7.5
Análisis comparativo de gas licuado de petróleo (% en volumen)

	ZMVM Promedio 1995	ZMVM Promedio de dos muestras de no- viembre de 1991	GLP-ducto Cactus- Guadalajara Promedio de enero a septiembre 1996	Refinería de Sala- manca Promedio de enero a agosto 1996
Metano	0.01	0.02	0.12	0.00
Etano	2.14	0.43	2.39	0.06
Propileno	0.00	0.05	0.03	20.82
Propano	69.28	45.32	64.74	14.23

Isobutano	9.91	14.40	10.96	26.59
n-Butano	17.27	37.02	19.78	11.76
1 buteno	0.31	0.20	0.70	26.51 (*)
Isobuteno	0.00	0.01	0.15	-
2 trans-buteno	0.42	0.20	0.64	-
2 cis-buteno	0.28	0.00	0.48	-
iso-pentano	-	1.90	0.24	0.02
n-pentano	-	0.45	0.08	0.00

(*) Se refiere al contenido total de hidrocarburos de la familia de butenos.

Tabla 7.6
Análisis comparativo de gas licuado por familias de hidrocarburos
(% en volumen)

Familia	ZMVM Promedio 1995	ZMVM. Promedio de dos muestras de noviembre de 1991	GLP-ducto Cactus-Guadalajara Promedio de enero a septiembre 1996	Refinería de Salamanca Promedio de enero a agosto 1996
Propano y más ligeros	71.43	45.77	67.28	35.11
Butanos	27.18	51.42	30.74	38.35
Olefinas	1.01	0.46	2.00	47.34
Pentano y más pesados	-	2.35	0.32	0.02

2. Inventario de emisiones

El balance energético mantiene una asociación estrecha con el inventario de emisiones, lo cual refleja la dependencia de las emisiones respecto del uso de la energía. En efecto, el consumo de gasolina y diesel en el sector transporte representa simultáneamente, el mayor gasto relativo de energía y la mayor aportación de contaminantes con respecto al volumen total (CO, NO_x y HC); aunque la emisión de partículas puede ser también significativa en algunas zonas. Asimismo, emisiones importantes de SO₂ y NO_x encuentran su contraparte proporcional en aquellos sectores de actividad cuyos insumos energéticos son el combustóleo, el diesel, el gas natural y el gas LP, y que son la industria y los servicios.

El inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos es un instrumento estratégico para el manejo de la cuenca atmosférica. El inventario de emisiones refleja la intensidad con que diferentes usuarios de las capacidades de carga de la atmósfera utilizan este recurso común ambiental. Debe tenerse en cuenta que los usuarios se pueden agrupar en sectores de actividad, lo cual da una idea de la eficiencia am-

biental de diferentes procesos urbanos y también de las prioridades de atención en el diseño y seguimiento de programas y medidas ambientales.

El desarrollo de un inventario de emisiones desagregado, preciso y actualizado es una tarea compleja que demanda la integración sistemática de información en un marco de concurrencia institucional entre el gobierno local y la autoridad federal en la materia. Algunas experiencias internacionales señalan años de estudio y una considerable cantidad de recursos necesarios para su definición, por lo que debe subrayarse la necesidad de que en el caso de la ZMG, los municipios conurbados y el Gobierno del Estado de Jalisco deben convenir con la Secretaría de Medio Ambiente Recursos, Naturales y Pesca, los flujos de información pertinentes para mantener actualizado el inventario, ya que hasta ahora se ha trabajado en forma aislada e independiente y aún no se tiene un inventario completo.

El Instituto Nacional de Ecología integró en el año de 1993 un inventario de emisiones con recursos otorgados por el Banco Mundial; en este primer intento se estimaron las emisiones de fuentes fijas de jurisdicción federal, fuentes móviles y se identificaron además las fuentes contaminantes de tipo natural.

En 1996, se hizo el segundo inventario de emisiones, el cual desafortunadamente no puede ser comparado en términos absolutos con el inventario anterior por no aplicar los mismos supuestos y metodologías de cálculo. Este nuevo inventario, a pesar de ser mucho más detallado que el primero no incluye aún algunas fuentes que son de relativa importancia en la ZMG; entre ellas están las emisiones de las fundidoras y las ladrilleras, rellenos sanitarios, tiraderos de basura y los polvos de calles sin pavimentar.

En base al nuevo inventario, el total de emisiones es de 1,389,047 ton/año, de las cuales el 5% corresponden a la industria y servicios, y un 74% al sector transporte. La contribución de las fuentes industriales es de 68% en SO₂ y 9% en NO_x; mientras que los vehículos automotores emiten el 91% de los NO_x, el 99% del CO, el 57% de HC y el 30% de SO₂. La contribución en partículas por la industria y los servicios es menor al 1% del total, sin embargo, se puede recalcar que su grado de toxicidad y la exposición de las personas asociadas a este sector es mucho más elevado que las partículas provenientes de fuentes naturales, las cuales representan el 97% del total estimado. Cabe resaltar que la contribución de los servicios representa el 40% del total de los hidrocarburos.

Tabla 7.7
Inventario de emisiones 1995 (ton/año)

SECTOR	PST	SO ₂	CO	NO _x	HC	Pb	Total	%
Industria (1)	1,595	5,506	1,322	3,148	4,269	0	15,840	1.1
Servicios (2)	40	118	729	218	57,248	0	58,353	4.2

Transporte (3)	5,845	2,461	895,991	33,820	82,318	115	1,020,550	73.5
Suelos y Vegetación* (4)	294,304	0	0	0	0,00	0	294,304	21.2
Total	301,784	8,085	898,042	37,186	143,835	115	1,389,047	100.0

Tabla 7.8
Inventario de emisiones 1995 (porcentaje en peso por contaminante)

SECTOR	PST	SO ₂	CO	NO _x	HC	Pb
Industria	0.5	68.1	0.2	8.5	3.0	0.0
Servicios	0.1	1.5	0.1	0.5	39.8	0.0
Transporte	1.9	30.4	99.7	91.0	57.2	100.0
Suelos y Vegetación*	97.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Notas: * no se estimaron estas emisiones.

- 1) Estimaciones efectuadas por el INE a partir de la información de las cédulas de operación de las empresas (ver anexos técnicos para los métodos de estimación empleados).
- 2) Estimaciones efectuadas por el INE con información de estadísticas de INEGI, Pemex, Secretaría de Energía y Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (ver anexos técnicos para los métodos de estimación empleados).
- 3) Estimaciones efectuadas por el INE con información de la Secretaría de Vialidad y Transporte del Gobierno del Estado de Jalisco, empleando el modelo matemático MOBILE5-MCMA adaptado para la ZMG.
- 4) Estimaciones efectuadas por el INE empleando información de la Universidad de Guadalajara, aplicando factores de emisión de la US EPA.

Las tablas siguientes muestran el inventario desagregado en toneladas por año y en contribución por tipo de contaminante.

Tabla 7.9
Inventario de emisiones 1995 desagregado (ton/año)

Tipo de Fuente	PST	SO ₂	CO	NO _x	HC	Pb	Total
Industria							
Industria química	62.04	204.12	11.88	89.40	332.16	N/E	699.60
Minerales metálicos	290.76	140.40	1,111.68	97.92	2.40	N/E	1,643.16
Minerales no metálicos	543.84	1,000.08	56.40	1,517.40	11.16	N/E	3,128.88
Productos vegetales y animales	23.28	226.68	13.32	101.16	2.28	N/E	366.72
Madera y derivados	3.48	41.28	0.48	10.92	34.32	N/E	90.48
Productos de consumo alimenticio	433.68	2,547.96	76.32	846.36	12.72	N/E	3,917.04
Industria del vestido	37.68	55.20	1.68	14.64	0.84	N/E	110.04
Productos de consumo varios	115.44	1,173.00	32.16	390.84	99.84	N/E	1,811.28
Productos de impresión	5.16	64.20	1.32	17.64	1,879.32	N/E	1,967.64
Productos metálicos	2.88	5.16	2.28	2.40	91.80	N/E	104.52
Productos de consumo de vida media	67.08	4.68	13.08	47.52	447.20	N/E	579.56
Productos de consumo de vida larga	0.36	2.16	0.24	0.72	32.52	N/E	36.00

Usuarios de la cuenca atmosférica

Otros	9.24	41.52	0.72	11.26	10.68	N/E	73.42
Artes gráficas	N/E	N/E	N/E	N/E	1,311.59	N/E	1,311.59
Servicios							
Lavado y desengrase	N/A	N/A	N/A	N/A	6,066.09	N/A	6,066.09
Consumo de solventes	N/A	N/A	N/A	N/A	13,771.66	N/A	13,771.66
Transporte y venta de gasolina	N/A	N/A	N/A	N/A	13,601.00	N/A	13,601.00
Mercadeo y distribución de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	9,170.00	N/A	9,170.00
Oper. de lavado en seco (tintorerías)	N/E	N/A	N/A	N/A	2,688.75	N/A	2,688.75
Superficies arquitectónicas	N/A	N/A	N/A	N/A	4,754.50	N/A	4,754.50
Panaderías	N/E	N/E	N/E	N/E	1,914.92	N/A	1,914.92
Pintura automotriz	N/E	N/A	N/A	N/A	1,344.38	N/A	1,344.38
Pintura de tránsito	N/E	N/A	N/A	N/A	651.58	N/A	651.58
Esterilización en hospitales	N/A	N/A	N/A	N/A	9.35	N/A	9.35
Uso de asfalto	N/E	N/A	N/A	N/E	3,257.27	N/A	3,257.27
Combustión en hospitales	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	N/A	1.20
Combustión residencial	27.38	0.04	720.90	182.50	13.69	N/A	944.51
Combustión comercial/institucional	12.24	117.48	7.68	34.92	4.44	N/A	176.76
Transporte							
Autos particulares	768.00	1,305.00	585,755.00	22,109.00	53,816.00	86.00	663,839.00
Pick-up	398.00	333.00	147,946.00	5,584.00	13,592.00	22.00	167,875.00
Taxis	45.00	77.00	34,335.00	1,296.00	3,155.00	5.00	38,913.00
Camiones de pasajeros	2,460.00	385.00	62,566.00	2,362.00	5,748.00	N/A	73,521.00
Camiones de carga	2,160.00	338.00	54,936.00	2,074.00	5,047.00	N/A	64,555.00
Motocicletas	14.00	23.00	10,453.00	395.00	960.00	2.00	11,847.00
Suelos							
Suelos	294,304.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	294,304.00
Total	301,783.78	8,085.20	898,041.38	37,185.14	143,834.70	115.00	1'389,046.90

N/E: No estimado

N/A: No aplica

Tabla 7.10
Inventario de emisiones 1995 porcentaje en peso por contaminante

Tipo de Fuente	PST	SO ₂	CO	NO _x	HC	Pb
Industria						
Industria química	0.02	2.52	0.00	0.24	0.23	N/E
Minerales metálicos	0.10	1.74	0.12	0.26	0.00	N/E
Minerales no metálicos	0.18	12.37	0.01	4.08	0.01	N/E
Productos vegetales y animales	0.01	2.80	0.00	0.27	0.00	N/E
Madera y derivados	0.00	0.51	0.00	0.03	0.02	N/E
Productos de consumo alimenticio	0.14	31.51	0.01	2.28	0.01	N/E
Industria del vestido	0.01	0.68	0.00	0.04	0.00	N/E
Productos de consumo varios	0.04	14.51	0.00	1.05	0.07	N/E
Productos de impresión	0.00	0.79	0.00	0.05	1.31	N/E
Productos metálicos	0.00	0.06	0.00	0.01	0.06	N/E
Productos de consumo de vida media	0.02	0.06	0.00	0.13	0.31	N/E
Productos de consumo de vida larga	0.00	0.03	0.00	0.00	0.02	N/E
Otros	0.00	0.51	0.00	0.03	0.01	N/E

Programa para el Mejoramiento de la Calidad del Aire en la ZMG 1997-2001

Artes gráficas	N/E	N/E	N/E	N/E	0.91	N/E
Servicios						
Lavado y desengrase	N/A	N/A	N/A	N/A	4.22	N/A
Consumo de solventes	N/A	N/A	N/A	N/A	9.57	N/A
Transporte y venta de gasolina	N/A	N/A	N/A	N/A	9.46	N/A
Mercadeo y distribución de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	6.38	N/A
Oper. de lavado en seco (tintorerías)	N/E	N/A	N/A	N/A	1.87	N/A
Superficies arquitectónicas	N/A	N/A	N/A	N/A	3.31	N/A
Panaderías	N/E	N/E	N/E	N/E	1.33	N/A
Pintura automotriz	N/E	N/A	N/A	N/A	0.93	N/A
Pintura de tránsito	N/E	N/A	N/A	N/A	0.45	N/A
Esterilización en hospitales	N/A	N/A	N/A	N/A	0.01	N/A
Uso de asfalto	N/E	N/A	N/A	N/E	2.26	N/A
Combustión en hospitales	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	N/A
Combustión residencial	0.01	0.00	0.08	0.49	0.01	N/A
Combustión comercial/institucional	0.00	1.45	0.00	0.09	0.00	N/A
Transporte						
Autos particulares	0.25	16.14	65.23	59.46	37.42	74.78
Pick-up	0.13	4.12	16.47	15.20	9.45	19.13
Taxis	0.01	0.95	3.82	3.49	2.19	4.35
Camiones de pasajeros	0.82	4.76	6.97	6.35	4.00	N/A
Camiones de carga	0.72	4.18	6.12	5.58	3.51	N/A
Motocicletas	0.00	0.28	1.16	1.06	0.67	1.74
Suelos						
Suelos	97.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

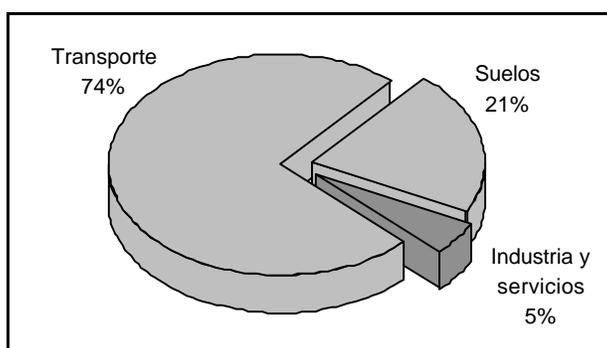
N/E: No estimado

N/A: No aplica

A continuación se describe la participación de los diferentes sectores a las emisiones totales y de cada contaminante.

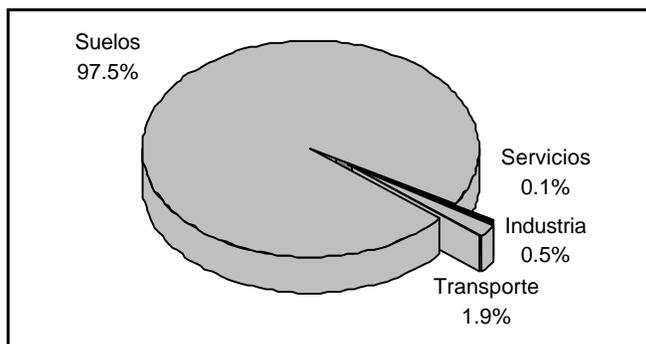
Como se observa en la gráfica siguiente, el sector transporte genera aproximadamente el 74% del total de las emisiones, lo cual nos indica que los vehículos automotores son la principal fuente de emisiones en la ZMG. En segundo lugar se tiene a los suelos con el 21%, y en tercero a la industria y los servicios con un 5%.

Figura 7.4
Contribución a las emisiones totales por sector



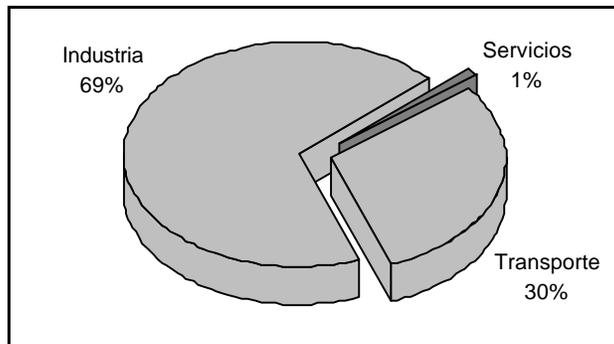
De acuerdo con la gráfica siguiente, el 97% de las partículas emitidas en la ZMG son generadas por los suelos. El resto provienen de los sectores industria, servicios y transporte. En los sectores transporte e industria la generación de partículas se debe principalmente al tipo de combustible utilizado. Si no se consideran las emisiones de partículas originadas por los suelos, se observa que el sector transporte genera el triple de partículas con respecto a la industria y los servicios.

Figura 7.5
Contribución a las emisiones de PST por sector



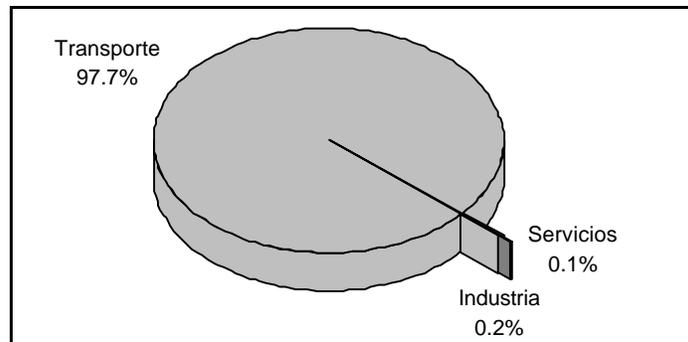
Respecto a las emisiones de SO_2 , la industria contribuye con el 69% seguido por el transporte con el 30%. En este caso las emisiones industriales de SO_2 se presentan como las más significativas, como consecuencia de los tipos y calidad de los combustibles usados por este sector en la ZMG, ya que de acuerdo a las políticas de suministro de energéticos por parte de Pemex y las especificaciones establecidas en la norma de calidad de combustibles NOM-086, con excepción de la Zona Metropolitana del Valle de México, en el resto del país se sigue consumiendo combustóleo pesado con un alto contenido de azufre, hasta 4% de azufre en peso (Figura 7.6).

Figura 7.6
Contribución a las emisiones de SO_2 por sector



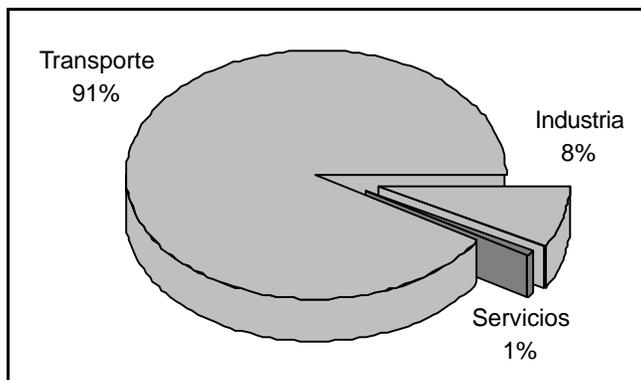
En cuanto al monóxido de carbono se observa que el sector transporte genera el 97.7% de las emisiones de este contaminante y los otros sectores contribuyen únicamente con el 0.3%. Esta alta contribución por los vehículos indica claramente la necesidad de contar con programas de afinación y de reducción de contaminantes vehiculares, con el fin de abatir estas emisiones (Figura 7.7).

Figura 7.7
Contribución a las emisiones de CO por sector



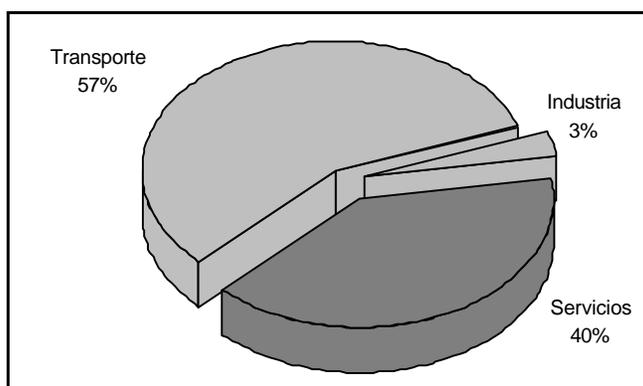
El sector transporte aporta el 91% de las emisiones de NO_x en la ZMG. La industria contribuye con el 8% y los servicios con el 1% restante, tal y como se muestra en la lámina siguiente.

Figura 7.8
Contribución a las emisiones de NO_x por sector



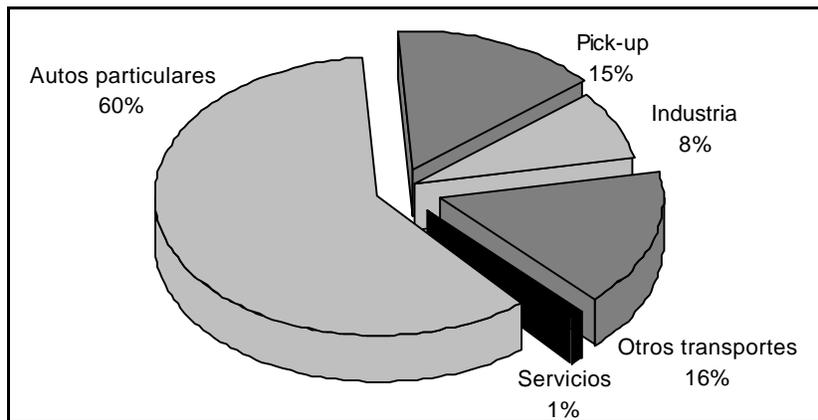
Con relación a las emisiones de hidrocarburos, se tiene que los vehículos automotores contribuyen con el 57% de las emisiones de este contaminante, seguido por los establecimientos de servicios con el 40% y la industria aporta el 3% (Figura 7.9). Con relación a estas emisiones se considera que el mayor porcentaje de generación está relacionado con el consumo de gasolinas. También es importante mencionar que no se estimaron los aportes naturales de HC generados por las diferentes especies de árboles que se encuentran en las áreas verdes de la ZMG y sus alrededores.

Figura 7.9
Contribución a las emisiones de HC por sector



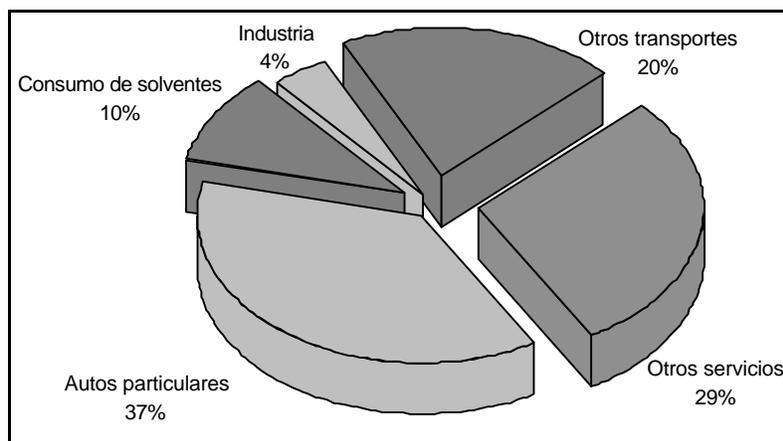
Si hacemos un recuento de la participación de todas las fuentes que integran el inventario de emisiones en cuanto a las contribuciones de óxidos de nitrógeno, tenemos que los autos particulares a gasolina contribuyen con cerca del 60%, los pick-up con el 15% y los otros transportes con el 16%; el total aportado por el sector transporte corresponde aproximadamente al 91%; el resto se divide en orden de importancia entre la industria con 8% y los servicios con el 1% (Figura 7.10).

Figura 7.10
Contribución anual en NOx por tipo de fuente



Asimismo, en la gráfica siguiente se observa que los autos particulares a gasolina contribuyen con el mayor porcentaje de HC, siendo del 37%. En segundo lugar se tienen los servicios con un 40% el cual incluye consumo de solventes y otros servicios; la industria contribuye con el 3% de las emisiones.

Figura 7.11
Contribución anual en HC por tipo de fuente



Industria

Se cuenta actualmente con 371 fuentes industriales de jurisdicción federal inventariadas en la Zona Metropolitana de Guadalajara, distribuidas en 13 giros, de los cuales el de la industria química agrupa el 19%, seguido por el de productos de consumo alimenticio con 18%, el de productos de consumo de vida media con el 15%, el de productos metálicos con 12%, el de minerales no metálicos con el 7%, el de minerales metálicos con 6% al igual que el de productos de consumo varios. No obstante esta distribución, es de suma importancia observar que del aporte total de emisiones generadas por el sector industrial, los giros de mayor contribución en contaminantes son los de productos de consumo alimenticio, minerales no metálicos y productos de impresión, los cuales contribuyen con el 25%, 20% y 12% a las emisiones, respectivamente, sin incluir a las artes gráficas. En un análisis más detallado para los contaminantes precursores de ozono, respecto al total de NOx generados por la industria, los giros de minerales no metálicos, productos de consumo alimenticio y productos de consumo varios, son los más importantes ya que contribuyen con el 48%, 26% y 12.5%. En cuanto a los hidrocarburos, es el giro de artes gráficas el que más contribuye con un 27% respecto al total de las emisiones industriales.

Como ya se mencionó anteriormente, el inventario actual de establecimientos industriales en la ZMG incluye 371 empresas, la ordenación de estas de acuerdo a la magnitud de las emisiones de contaminantes atmosféricos se presenta en las tablas siguientes y las curvas de Lorenz respectivas se presentan inmediatamente después.

Las tablas presentan 9 estratos de empresas de acuerdo al nivel de emisiones indicado en la segunda columna. Un análisis sobre emisiones de NOx y HC, muestra que el estrato A que incluye a todos los demás, está constituido por las 130 empresas cuyos niveles individuales de emisión son mayores a 0.5 toneladas anuales; el estrato B, que incluye a los subsecuentes esta formado por 105 establecimientos con emisiones mayores a 2 toneladas al año, y así sucesivamente.

Esta forma de organizar la información contenida en la tabla permite observar que las 130 empresas del estrato A, representan un volumen de 6,078 ton/año de precursores de ozono, que corresponde al 99.5% de las emisiones totales generadas por el sector industrial. Así mismo, y siguiendo el mismo razonamiento, se puede observar que basta incluir a las 45 empresas que emiten más de 10 ton/año en HC y NOx (grupo D) para abarcar el 94% de emisiones de estos contaminantes producidos por la industria en su conjunto en la Zona Metropolitana de Guadalajara.

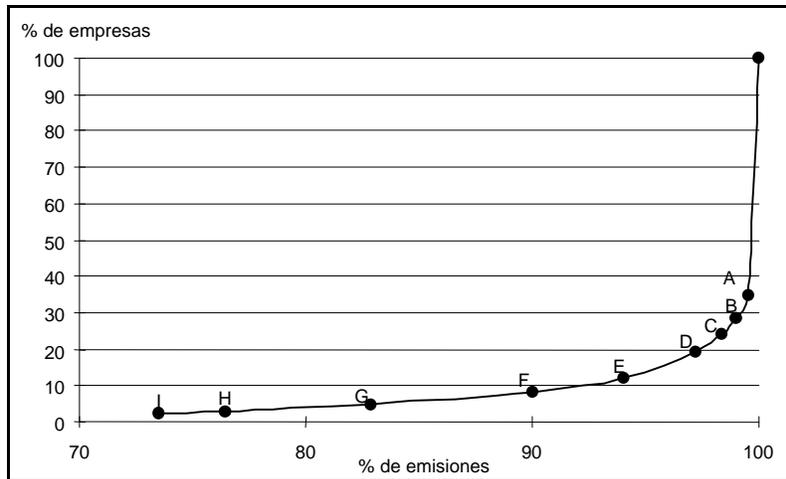
Tabla 7.11. Ordenación de empresas de la ZMG según volumen de emisiones de NO_x y HC (ton/año)

Grupo	Estratos de emisión	No. de empresas	% de empresas respecto del total	NO _x	HC	Emisión HC+NO _x	% de emisión respecto al total HC+NO _x del sector
A	>0.5	130	35.0	3,136	2,942	6,078	99.9
B	>2	105	28.3	3,121	2,925	6,046	98.9
C	>3	90	24.3	3,104	2,904	6,008	98.4
D	>5	72	19.4	3,063	2,870	5,933	97.2
E	>10	45	12.1	2,953	2,769	5,722	93.7
F	>20	31	8.4	2,811	2,685	5,496	90.0
G	>40	17	4.6	2,612	2,455	5,067	82.9
H	>80	10	2.7	2,216	2,450	4,666	76.4
I	>120	8	2.2	2,212	2,276	4,488	73.5

Nota: No. total de empresas de la base de datos: 371
 Emisión total (HC+NO_x), ton/año: 6,106
 Emisión total HC, ton/año: 2,958
 Emisión total NO_x, ton/año: 3,148
 Sin considerar artes gráficas

El sesgo en la distribución de emisiones de precursores de ozono del sector industrial puede observarse claramente en la siguiente curva de Lorenz (Figura 7.12). El punto A representa a las 130 empresas que generan el 99.9% de los precursores de ozono en el sector industrial. El otro 0.1% de los precursores, corresponde a las emisiones producidas por el 65% restante de las empresas, es decir, por 241 establecimientos.

Figura 7.12. Contribución de las industrias a las emisiones de HC y NO_x



Sí ampliamos el análisis anterior e incorporamos las emisiones totales de SO₂, PST, CO, NOx y HC, se observa que las mismas 45 empresas generan el 81% de las emisiones totales del sector industrial. Este tipo de análisis proporciona elementos para el establecimiento de programas adecuados de reducción de emisiones industriales, como es el caso de contingencias ambientales, de mejoramiento de combustibles y de modernización tecnológica de la planta industrial.

Tabla 7.12
Ordenación de empresas de la ZMG según volumen de emisiones
totales de PST, SO₂, CO, NOx y HC, (ton/año)

Grupo	Estratos	No. de empresas	% de empresas	PST	SO	CO	NOx	HC	Emisión total (ton/año)	% de emisión respecto al sector
A	>0.5	130	35.0	1,048	5,341	210	3,136	2,942	12,677	87.3
B	>2	105	28.3	1,039	5,300	207	3,121	2,925	12,591	86.7
C	>3	90	24.3	1,002	5,253	204	3,104	2,904	12,468	85.8
D	>5	72	19.4	994	5,179	199	3,063	2,870	12,304	84.7
E	>10	45	12.1	944	4,921	186	2,953	2,769	11,773	81.0
F	>20	31	8.4	908	4,649	171	2,811	2,685	11,225	77.3
G	>40	17	4.6	875	4,332	134	2,612	2,455	10,407	71.6
H	>80	10	2.7	658	3,514	86	2,216	2,450	8,925	61.5
Y	>120	8	2.2	658	3,514	85	2,212	2,276	8,745	60.2

Nota: No. total de empresas de la base de datos: 371
Emisión total, ton/año: 14,528 (Sin considerar artes gráficas)

A continuación se presentan las Tablas 7.13, 14 y 15 y las correspondientes curvas de Lorenz (Figuras 7.13, 14 y 15), para las emisiones de los contaminantes importantes, relacionados con la actividad industrial.

Tabla 7.13
Ordenación de empresas de la ZMG
según volumen de emisiones de partículas (ton/año)

Grupo	Estratos de emisión (ton/año)	No. de empresas	% de empresas respecto del total	Emisión (ton/año) PST	% de emisión respecto al total de PST del sector
A	>0.5	95	25.6	1,575	98.8
B	>2	56	15.1	1,532	96.1
C	>3	45	12.1	1,506	94.4
D	>5	37	9.9	1,474	92.4
E	>10	28	7.6	1,417	88.8
F	>20	16	4.3	1,243	77.9
G	>40	9	2.4	1,046	65.6
H	>80	6	1.6	864	54.2
I	>120	2	0.5	468	29.4

Nota: No. total de empresas de la base de datos: 371
Emisión total PST, ton/año: 1,595

Si se parte del criterio de considerar sólo a las empresas que generan más partículas suspendidas, 28 establecimientos, 8% del total, generan el 89% de las emisiones de este contaminante. Se identifican únicamente a dos establecimientos que emiten más de 10 toneladas mensuales de partículas.

Figura 7.13. Contribución de las industrias a las emisiones de Partículas

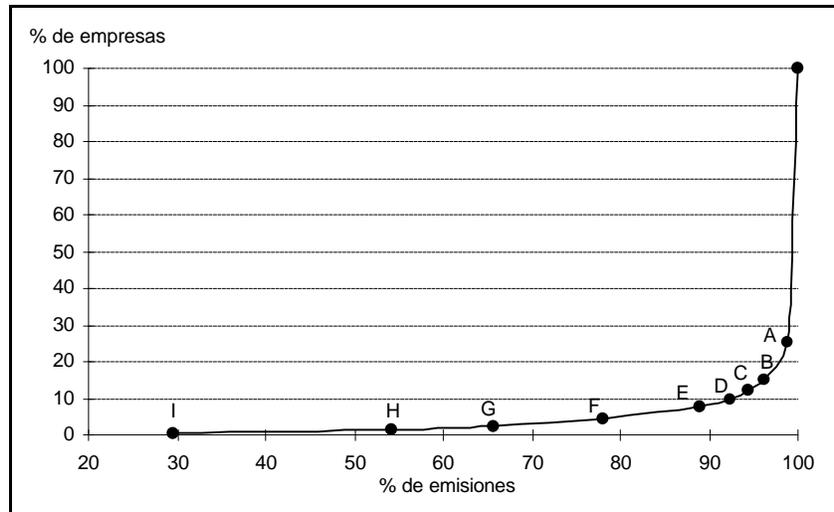


Tabla 7.14. Ordenación de empresas de la ZMG según volumen de emisiones de SO₂ (ton/año)

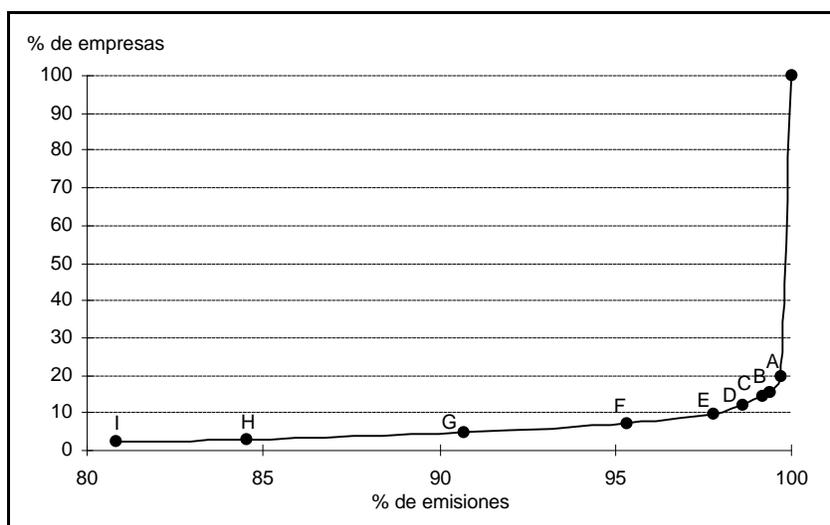
Grupo	Estratos de emisión (ton/año)	No. de empresas	% de empresas respecto del total	Emisión (ton/año) SO ₂	% de emisión respecto al total de SO ₂ del sector
A	>0.5	73	19.7	5,488	99.7
B	>2	57	15.4	5,473	99.4
C	>3	53	14.3	5,464	99.2
D	>5	44	11.9	5,431	98.6
E	>10	37	9.9	5,385	97.8
F	>20	27	7.3	5,246	95.3
G	>40	17	4.6	4,992	90.7
H	>80	11	2.9	4,651	84.5
I	>120	9	2.4	4,448	80.8

Nota: No. total de empresas de la base de datos: 371
Emisión total SO₂, ton/año: 5,506

Considerando a las empresas que generan la mayor emisión de bióxido de azufre, se tiene que 17 que representan el 5% del total de establecimientos, generan el 91% de las emisiones totales para este contaminante. Existen 9 fábricas cuyas emi-

siones son superiores a las 10 toneladas mensuales de SO₂, producidas por la quema de cantidades importantes de combustibles con alto contenido de azufre.

Figura 7.14
Contribución de las industrias a las emisiones de SO₂



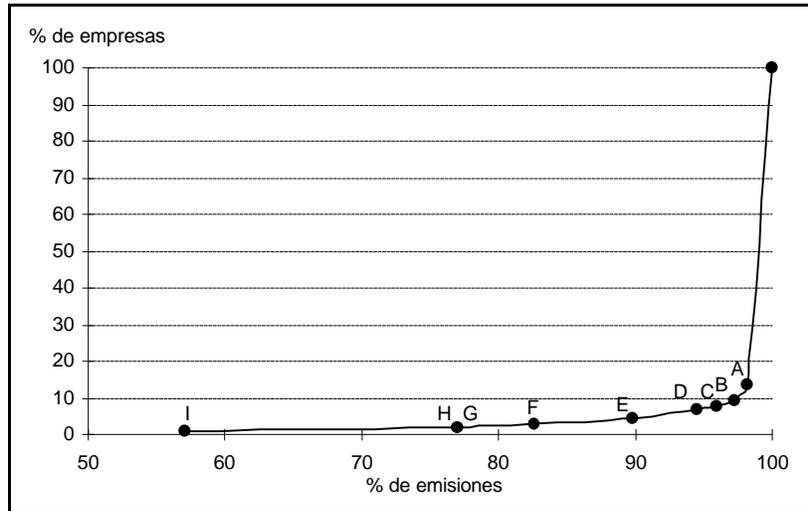
Finalmente en el caso de las empresas que generan más monóxido de carbono, 16 empresas, 4% del total de establecimientos, generan el 90% de las emisiones de este contaminante. Estas emisiones de CO están relacionadas con los procesos productivos que se emplean y son de menor relevancia en el inventario de emisiones completo.

Tabla 7.15
Ordenación de empresas de la ZMG
según volumen de emisiones de CO (ton/año)

Grupo	Estratos de emisión (ton/año)	No. de empresas	% de empresas respecto del total	Emisión (ton/año) CO	% de emisión respecto al total de CO del sector
A	>0.5	50	13.5	1,298	98.2
B	>2	35	9.4	1,285	97.2
C	>3	28	7.6	1,269	96.0
D	>5	25	6.7	1,255	94.5
E	>10	16	4.3	1,186	89.8
F	>20	10	2.7	1,091	82.6
G	>40	7	1.9	1,016	76.9
H	>80	7	1.9	1,016	76.9
I	>120	3	0.8	754	57.1

Nota: No. total de empresas de la base de datos: 371
Emisión total CO, ton/año: 1,322

Figura 7.14
Contribución de las industrias a las emisiones de CO



Servicios

Este sector es importante debido a que la ZMG es una zona densamente poblada lo cual implica que es necesaria la existencia de toda la gama de servicios y comercios que satisfagan las necesidades básicas de los habitantes; mismos que individualmente generan contaminantes en poca cantidad, pero que, sin embargo, considerándolas en forma conjunta, esas emisiones generadas son de importancia principalmente en lo que se refiere a los compuestos orgánicos volátiles, presentes en una gran variedad de productos y materiales de consumo doméstico.

En la ZMG se ha iniciado la integración de un inventario de servicios y comercios dentro de los cuales se identifican 16 giros, de éstos se han estimado principalmente las emisiones de lavado y desengrase, consumo de solventes, operaciones de lavado en seco, recubrimientos de superficies arquitectónicas, pintura automotriz y pintura de tránsito.

Para el caso de la combustión en hospitales, de 200 hospitales públicos y privados existentes en la ZMG, sólo se estimaron las emisiones de 2 de ellos, esto es el 1%. En el caso de la combustión residencial, las emisiones se están considerando sobre un consumo de 240,000 ton/año de gas L.P.

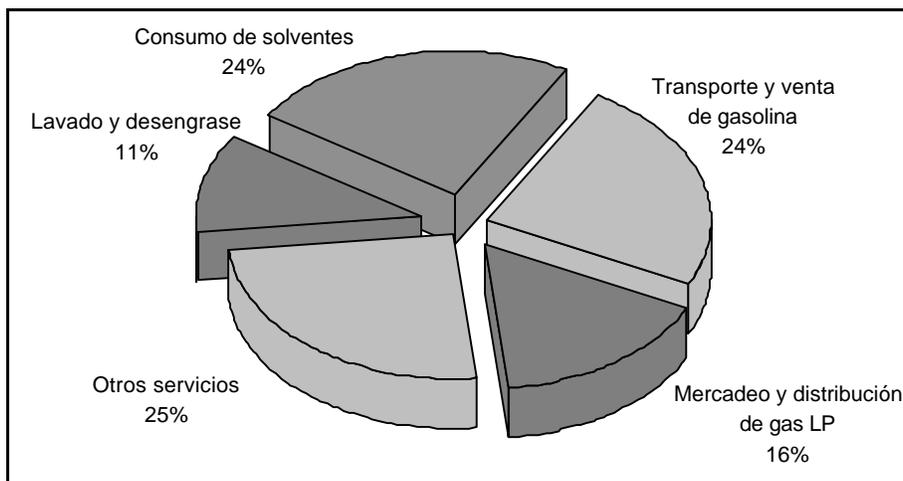
Además de los giros antes mencionados se estimaron las emisiones de almacenamiento y venta de gasolinas, considerando un consumo anual en la ZMG

de 842,239 m³ de gasolina Nova, 958,706 m³ de gasolina Magna Sin y 1'438,890 m³ de diesel, según datos proporcionados por Pemex.

En el giro de panaderías se consideró la información del consumo por habitante y peso promedio por pieza de pan. Para la estimación de esterilización en hospitales se considera la clasificación de la Secretaría de Salud, en la que se presenta un censo de camas destinadas por nivel de atención, tanto en hospitales privados como públicos, teniéndose que en los hospitales privados existen 7,441 camas destinadas para un nivel de atención 2 y 652 destinadas para un nivel de atención 3, mientras que para los hospitales públicos se cuenta con 2,600 camas para un nivel de atención 2 y 3,344 para un nivel de atención 3.

Las emisiones generadas por el sector servicios son principalmente de hidrocarburos; se estimaron sin incluir a los giros donde existen procesos de combustión. En la figura siguiente se observa que cerca del 83% de ellos son generados por únicamente cinco de los catorce giros en los que se realizaron las estimaciones, siendo en orden de aportación el de consumo de solventes, el de transporte y venta de gasolinas, el de mercadeo y distribución de gas L.P., el de lavado y desengrase y el de superficies arquitectónicas. La Figura 7.16 muestra que los cuatro primeros giros contribuyen con el 75% de las emisiones de hidrocarburos del sector servicios.

Figura 7.16
Contribución anual en hidrocarburos del sector servicios



Suelos y vegetación

Una de las principales fuentes de emisión de partículas a la atmósfera en la ZMG es la erosión del suelo, así como la suspensión de polvos provenientes de áreas pavimentadas y sin pavimentar.

Dentro de las zonas identificadas como aportadoras de contaminantes de origen natural a la ZMG, se consideran de importancia las que se ubican en el área conurbada de la misma, esto es, además de los municipios de la misma ZMG, se tienen los aportes de otros municipios como: Arenal, el Salto, Tala y Tlajomulco de Zuñiga.

Actualmente se han desarrollado las primeras estimaciones de emisiones generadas por la erosión de suelos en fuentes naturales, lo que, además de permitir su integración al inventario total de la ZMG, podrá también servir para los programas de reforestación en la zona.

Existen también calles sin pavimentar localizadas en la periferia de la zona conurbada de la ciudad y los tiraderos de basura dentro de la zona urbana (2 ex-tiraderos de basura en Las Juntas, Municipio de Tlaquepaque, el tiradero actual de Matatlán-Coyula ubicado en el municipio de Tonalá, y finalmente el depósito operado en la localidad de Coyula del mismo municipio). Las emisiones principalmente son de partículas, metano y ácido sulfhídrico.

En el presente inventario no se estimaron las emisiones generadas por la vegetación por no contarse con la información necesaria; sin embargo se tienen identificadas áreas con diferentes especies vegetales que generan hidrocarburos que son precursores de ozono. Entre éstas se encuentra el Bosque de la Primavera, el cual se extiende en una superficie de 30,000 hectáreas, abarcando los municipios de Zapopan, Tala y Tlajomulco; otra zona con cobertura vegetal de importancia localizada en el municipio de Zapopan es el Bosque Centinela. Para poder llevar a cabo una estimación adecuada de las emisiones biogénicas por la vegetación, es necesario contar con información de la cobertura y composición de las diferentes especies vegetales presentes y con ello poder utilizar un modelo para estimar las emisiones de la vegetación.

Transporte

El gran consumo de combustibles por parte de los vehículos automotores constituye la principal fuente de emisiones contaminantes de la ZMG. El parque vehicular de esta zona se estima en 662,437 vehículos (Secretaría de Vialidad y Transporte del Estado de Jalisco, 1993).

En el inventario de emisiones se indica que el sector transporte genera anualmente 1'020,550 toneladas de contaminantes anuales de los cuales 895,991 toneladas co-

responden a monóxido de carbono, 82,318 toneladas a hidrocarburos, 33,820 toneladas a óxidos de nitrógeno, y 5,845 toneladas a partículas. Dada la situación de la problemática ambiental y del nivel del desarrollo que se requiere en la estructuración de los planes y programas ambientales en la Zona Metropolitana de Guadalajara, es necesario que la estimación para este tipo de fuentes sea lo más actualizada posible.

En la tabla siguiente se muestran las principales vialidades primarias de la Zona Metropolitana de Guadalajara, los puntos donde comienzan y terminan, así como la longitud total de estas vías de comunicación.

Tabla 7.16
Vialidades primarias de la ZMG

Vialidad	Puntos extremos	Longitud (km)
Anillo Periférico	Carr. a Chapala-M. Otero	57
	M-Otero-Carr. a Nogales	
	Carr. a Nogales-Belenes	
	Belenes-Carr. a Saltillo	
Calz. Independencia	Carr. a Saltillo-Tonalá	7
	Est.FF.CC-Estadio Jal.	
Gobernador Curiel	Est.FF.CC-Periférico	3
Colón	Calle 7-Zapopan (Federal)	9
Colón	Calle 7-Periférico	4
López Mateos	Periférico-Américas	9
Vallarta	Periférico-Calz. Indep.	11
Javier Mina	Calz.Indep.-Sn. Andrés	5
Alcalde	Est.FF.CC.-Periférico	6
Lázaro Cárdenas	Carr.Qro-Libto.Celaya	13
Niños Heroes	Calz.Indep.-Av. Unión	4
Longitud total		128

Fuente: Secretaría de Vialidad y Transporte del Estado de Jalisco, 1993.

Haciendo un análisis de la Tabla 7.16, se tiene que la Zona Metropolitana de Guadalajara cuenta con una estructura vial que integra a las diferentes zonas de la misma, además de brindar acceso de los sistemas carreteros hacia su zona urbana. Así, se identifican 11 vialidades primarias que conforman la vialidad principal de la ciudad, siendo la más extensa su anillo periférico con una longitud de 57 km, seguido de la Av. Lázaro Cárdenas con una longitud de 13 km y en tercer lugar la Av. Vallarta con una extensión de 11 km. La vialidad primaria de menor longitud es la Av. Gobernador Curiel con 3 km de extensión.

Las vialidades de alta velocidad son la Av. Lázaro Cárdenas, que es la continuación de la carretera México-Nogales, y en la zona centro, de norte a sur, la

Av. Alcalde; estas vialidades presentan aforos vehiculares superiores a las 1,500 unidades por hora.

En el centro de la ciudad las velocidades promedio de los vehículos llegan a ser de 5 a 8 km/h en las horas pico, en las avenidas Vallarta, México e Hidalgo; lo cual es debido en parte a la afluencia de escolares a la zona, produciéndose congestionamientos frente a las entradas de las escuelas.

En la Tabla 7.17 se muestra la clasificación del parque vehicular de la ZMG y los kilómetros que recorre en promedio anualmente cada unidad de cada tipo de vehículo.

Tabla 7.17
Parque vehicular

Tipo de vehículo	No. de vehículos	(%)	Km recorridos por vehículo al día	Km recorridos por vehículo al año
Autos particulares	443,554	67.0	48	17,300
Pick-up gasolina	148,260	22.3	36	13,000
Taxis	11,206	1.7	110	40,000
Pick-up diesel	1,000	0.2	28	10,000
Camiones urbanos y suburbanos	5,989	0.9	375	137,000
Camiones de carga	28,433	4.3	69	25,000
Motocicletas	23,995	3.6	17	6,000
Total	662,437	100.0		

Fuente: Secretaría de Vialidad y Transporte del Estado de Jalisco, 1996.

Se observa que los vehículos particulares representan el 67% del parque vehicular existente de la ZMG, los vehículos pick-up ocupan el segundo lugar con 22%, el 5% corresponde a los camiones y cerca del 2% a los taxis.

En la tabla siguiente se presenta el número de viajes diarios (NVD) promedio por tipo de transporte, así como el porcentaje respectivo del total de viajes.

Tabla 7.18
Número de viajes diarios

Tipo de viajes	NVD	%
Autobús urbano y suburbano	3'392,782	62
Taxis	290,035	5
Autos y otros modos	1'643,533	31
Tren ligero	135,000	2
Total	5,461,350	100

Fuente: Secretaría de Vialidad y Transporte del Estado de Jalisco, 1994.

La Tabla 7.18 muestra que el mayor número de viajes diarios que se realizan en la zona es a través del transporte público, como son los autobuses urbanos y suburbanos y los taxis, en los cuales se realiza el 65% de los viajes en la ZMG; el porcentaje restante lo llevan a cabo los autos particulares y algún otro tipo de transporte. En este aspecto es importante mencionar que no obstante que los autos particulares representan casi el 70% del parque vehicular, sólo realizan un poco más del 30% de los viajes diarios en el área.

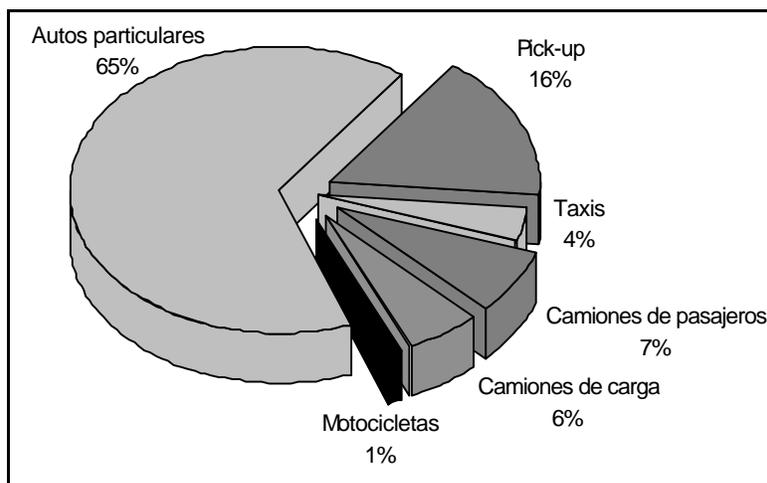
En la Tabla 7.19 se muestran los consumos históricos de combustibles para el sector transporte.

Tabla 7.19. Consumo de combustible (m³/año)

Combustible	1992	1996	Variación, % 1992-1996
Nova	1'017,323	842,239	-17.2
Magna	179,832	958,706	+533.1
Diesel	230,004	1'438,890	+625.6

Fuente: Pemex Refinación, 1996.

Figura 7.17. Emisiones por tipo de vehículo



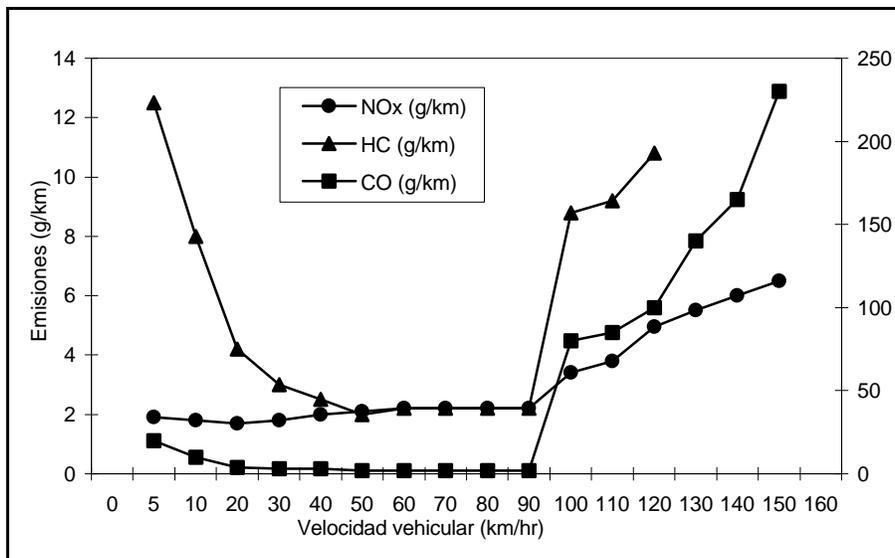
Se observa que de acuerdo a cifras reportadas por Petróleos Mexicanos, el 44% del volumen de combustible consumido por los vehículos corresponde a diesel, en segundo lugar está el consumo de gasolina Magna Sin con el 30% y por último la gasolina Nova con un 26%. Es interesante remarcar que en el período 1992-1996, el consumo de Nova se redujo en un factor de 0.8 y el de Magna y diesel se incrementaron en un factor de 5.3 y 6.3, respectivamente. Se puede mencionar que el consumo de combustible tiene una relación directa con la conformación del parque vehicular, ya que el diesel es utilizado por los camiones de carga y camiones subur-

banos; éstos últimos realizan el mayor número de viajes diarios y por ende su kilometraje anual recorrido es mucho mayor; esto explica el alto consumo anual de diesel. Por otro lado, si se suman los consumos de gasolinas Nova y Magna Sin, se observa que representan más del 55% de los combustibles vehiculares consumidos en la ZMG, lo cual es consecuencia de que el 91% del total del parque vehicular correspondan a vehículos a gasolina.

En cuanto a los vehículos que originan las principales emisiones contaminantes del sector transporte, la Figura 7.17 muestra que el 65% de ellas provienen de los automóviles particulares y el 16% de los vehículos pick-up.

Un elemento adicional que contribuye a la mayor intensidad de las emisiones del sector transporte, es la velocidad a la que se desplazan los vehículos en las zonas urbanas (Figura 7.18).

Figura 7.18
Emisiones de vehículos particulares en relación con la velocidad



Fuente: Methods and technology for reducing motor vehicle pollution, INRETS synthesis, 1987.

La velocidad promedio vehicular en la Zona Metropolitana de Guadalajara es de 40 km por hora. Esta velocidad, sumamente baja, se ve reducida aún más cuando la ciudad sufre de interrupciones y obstrucciones viales ya que existen muchas calles empedradas o sin pavimentación, y otras se reducen de tres a dos carriles; otras clases de interrupciones se dan por manifestaciones de carácter público, como son las marchas y los plantones. Aunque es difícil cuantificar el impacto ambiental ocasionado por estas obstrucciones viales, debido a que éste depende del lugar donde

ocurra y la hora en que se realiza, la vialidad que se afecta, el número de carriles obstaculizados y la duración de la misma, es una realidad que al disminuir significativamente la velocidad de cruce se incrementan las emisiones vehiculares de HC y CO, sobre todo en los vehículos con carburador.

Costos externos del automóvil

Además de su responsabilidad en las emisiones a la atmósfera, los vehículos automotores plantean costos e impactos adicionales al medio, que directa o indirectamente deben ser ponderados con el objeto de configurar escenarios más integrados de política ambiental urbana. Entre tales costos externos sociales ambientales atribuibles a la utilización irrestricta de los vehículos automotores, además de la contaminación atmosférica, se cuentan el congestionamiento vial, la pérdida de horas-hombre, la baja productividad, los accidentes, la ocupación ineficiente de recursos territoriales, la suburbanización horizontal, los patrones extensivos de inversión y la ocupación territorial (vialidades, redes de comunicación, electrificación, pavimentos y guarniciones, agua potable, alcantarillado, redes de transporte), las reducciones en las áreas verdes y reservas disponibles, la emisión de gases con efecto invernadero, los cambios climáticos locales, el uso de sustancias agotadoras de la capa de ozono estratosférico, etc. Estos costos no los paga quienes los provocan, sino que se transfieren a toda la sociedad, al no existir un sistema de precios relevantes ni un marco de incentivos que lo impida.

Los autos privados se asocian con muchas de las ineficiencias de la estructura y del funcionamiento urbano, así como con tendencias claramente alejadas de perspectivas de sustentabilidad. Los procesos de circulación de vehículos automotores en la ciudad imponen considerables costos a la economía urbana y al bienestar de sus habitantes.

Varios estudios llevados a cabo en diversos países han demostrado que a lo largo de los años han ido aumentando no sólo el número de viajes en automóvil, sino también la longitud de los mismos. Por ejemplo, en los Estados Unidos (en donde el automóvil es uno de los pilares del *sueño americano* y por lo tanto casi un fin en sí mismo), el automovilista promedio manejó 16% más kilómetros para ir al trabajo en 1990 que en 1969, 88% más kilómetros para ir de compras y 137% más kilómetros para realizar otras actividades (escuela, iglesia, médicos, etc.). Estas estadísticas van más allá de reflejar un hecho particular de la sociedad norteamericana; indican lo sucedido en la mayoría de los países y que va generalmente acompañado por un fenómeno de urbanización extensiva altamente costoso e ineficiente: cada vez más vialidades y redes de agua potable, drenaje y electrificación más largas y con costos marginales crecientes; también menos áreas verdes y centros de convivencia vecinal, lo cual propicia una inevitable desintegración comunitaria.

Otros estudios arrojan datos poco alentadores. Por ejemplo, John Whitelegg, Jefe del Departamento de Geografía de la Universidad de Lancaster, en Inglaterra, cita

evidencias de que en muchos casos el tiempo ahorrado en trayectos de automóvil, se gasta simplemente en recorrer más distancias. Por otro lado, un estudio realizado por las autoridades metropolitanas de Bangkok estima que la fuerza de trabajo en Tailandia pierde en promedio 44 días laborables al año por problemas de tráfico.

Estas tendencias resaltan cada vez más dramáticamente los costos externos del automóvil. Por ejemplo, los problemas de congestión son comunes a todas las grandes ciudades, tanto en aquellas que tienen una buena infraestructura vial, como en los EUA, asimismo en las que pertenecen a países como Polonia y Turquía que tienen niveles bajos de posesión de autos. Independientemente del caso, los costos del congestionamiento son tremendamente altos: se calcula que en la Organización de Cooperación para el Desarrollo Económico el costo del tiempo gastado en desplazamientos se aproxima al 7% del PIB.

El transporte automotor de carga por carretera también tiende a aumentar, al permanecer estancada la actividad ferroviaria; y, dado que todo viaje de carga comienza y termina generalmente en alguna área urbana, éste se adiciona a las presiones ambientales de las ciudades y a los problemas de congestión vehicular. Igualmente, nuevos esquemas de distribución de mercancías más intensos requieren de envíos más frecuentes, mientras que la distribución al mayoreo en grandes bodegas o almacenes centrales implica viajes más largos.

Del mismo estudio se desprende que el costo en vidas humanas es notable: en la Unión Europea cada año mueren 55,000 personas en las carreteras, 1.7 millones son heridas y 150,000 quedan incapacitadas de por vida. Pero más allá del dolor que todo esto pueda producir, están los costos pecuniarios de los percances del transporte: se calcula que éstos alcanzan el 2% del PIB en los países de la OCDE. Ahora bien, en lo que se refiere a los costos ambientales, cabe decir que éstos son difíciles de medir y que todas las estimaciones deben tomarse con cuidado. Un grupo de investigadores de la Universidad de California, estimó los costos de la contaminación atmosférica relacionados con el transporte en los EUA entre 10 y 200 mil millones de dólares anuales. En Suiza, el costo relativo al daño de los edificios en el año de 1988 se estimó en 278 millones de dólares y los impactos en la salud en 333 millones. En la Unión Europea los costos de la contaminación atmosférica (90% de ellos se atribuyen al transporte) equivalen a 0.3 ó 0.4% del PIB, misma cifra que se encontró para los países de la OCDE.

El tránsito de vehículos automotores provoca en Suecia cerca de 2,000 nuevos casos de cáncer anualmente, como consecuencia de las emisiones tóxicas que desprenden. Se estima que, en general, más del 70% de los compuestos tóxicos a que está expuesta la población urbana se asocia a los vehículos automotores privados. En Inglaterra y Gales, más de 10 mil personas mueren al año como resultado de las emisiones tóxicas de los automóviles, sin contar los problemas cardiovasculares provocados por partículas inhalables también provenientes de los autos privados.

Es necesario añadir que la inseguridad por el riesgo de accidentes a peatones en grandes vialidades y en calles congestionadas, tiende a reducir los viajes a pie (a la escuela, al trabajo o de compras) y, consecuentemente, a incrementar los viajes en automóvil, lo cual retroalimenta el proceso de congestionamiento e inseguridad. Además del congestionamiento, recordemos que el riesgo de accidentes por atropellamientos a peatones es directamente proporcional a la anchura o amplitud de las vialidades.

El caso de México no es menos dramático. En un trabajo de Margulis publicado por el Banco Mundial se incluyen estimaciones que indican los siguientes costos anuales de acuerdo a sus efectos potenciales, en miles de millones de dólares para la Zona Metropolitana del Valle para México.

Tabla 7.20
Costos ambientales estimados por la contaminación atmosférica en México

Efectos de los contaminantes	Millones de dólares
Morbiilidad por partículas suspendidas totales.	360
Mortalidad por partículas suspendidas totales.	480
Morbiilidad por ozono.	100
Tratamiento de afecciones asociadas a la presencia de plomo en sangre de niños.	60
Educación especial para niños por afecciones asociadas al plomo en sangre de niños.	20
Tratamiento de afecciones por hipertensión asociadas a la presencia de plomo en sangre de adultos.	10
Tratamiento de afecciones por infartos al miocardio asociadas a la presencia de plomo en sangre.	40

En los Estados Unidos los costos externos anuales del transporte son también extraordinariamente altos. Komanoff realizó los cálculos y presenta sus estimaciones de la manera siguiente:

Tabla 7.21.
Costos externos del transporte para los Estados Unidos

Concepto	Miles de millones de dólares/año
Accidentes (daños a propiedad privada y federal).	49
Congestionamientos (pérdida de productividad laboral).	25
Contaminación atmosférica (incluye enfermedades, mortalidad, daños agrícolas).	63
Uso del suelo para pavimentación (ingresos fiscales perdidos).	65
Energía (uso de combustibles y accesorios).	60
Ruido (estrés, pérdida de sueño, daños por vibración a edificios).	26

Con base en los análisis presentados en este capítulo podemos afirmar que el papel preponderante que juegan los automóviles en la dinámica diaria de la vida de la ZMG contradice elementales criterios sociales, energéticos, de planeación urbana, ambientales y económicos:

- Desde el punto de vista social, la preeminencia del automóvil privado no es justificable: se estima que sólo una parte, no mayoritaria, de la población viaja habitualmente en dicho medio, realizando tan sólo el 30% del total de viajes diarios; en tanto que el transporte público (autobuses urbanos, suburbanos y tren eléctrico) absorbe el 64% de los viajes diarios.
- El balance energético de la ciudad indica que el consumo de gasolina por parte de usuarios de vehículos automotores privados representa el mayor gasto relativo de la energía usada por el sector transporte. Por ejemplo, en la ZMVM se encontró que por cada viaje-persona-día (vpd), los vehículos privados consumen alrededor de diecinueve veces más energía que los autobuses de la ex-Ruta 100, nueve veces más que el transporte colectivo de ruta fija (peseros), sesenta y dos veces más que el metro y noventa y cuatro veces más que los trolebuses. No se han estimado estas cifras para la ZMG, pero es de esperarse que sean cercanas.
- En relación con los criterios urbanos se puede considerar que el uso del automóvil es causa y resultado a la vez de la creciente expansión de la mancha urbana. Este proceso de expansión produce la necesidad de viajar distancias cada vez más largas para ir a trabajar, desde áreas suburbanas con densidades relativamente bajas de población, en las cuales resulta sumamente difícil y costosa la dotación de un transporte público adecuado. Adicionalmente, las vialidades ocupan una superficie cada vez mayor del espacio urbano disponible, estimándose que actualmente, el 10% del área metropolitana de Guadalajara está cubierta por vialidades.
- La inequidad social del automóvil se acentúa al considerar aspectos ambientales, pues además de su limitada contribución en términos de viajes-persona-día, los autos son responsables de más del 60% de las emisiones contaminantes producidas por el sector transporte en la ZMG. En cuanto a la carga contaminante expresada en Unidades de Toxicidad Equivalente (UTE), en un estudio llevado a cabo en la Ciudad de México, se encontró que, por cada vpd, los autos privados emiten cinco y media veces más que los microbuses colectivos, siete veces más que los autobuses suburbanos y trece veces más que los autobuses de la ex-Ruta -100 (ver tabla a continuación). Aunque no se cuenta con este tipo de información para la ZMG, es factible que su situación se asemeje a la de la ZMVM.

Tabla 7.22
Consumo energético y carga contaminante por tipo de transporte
en la ZMVM (Datos de 1989)

Medio de transporte	Viaje persona día	Consumo energético Kcal x 10 ¹⁰ /día	Consumo de energía Kcal/VP	Emisiones por contaminante ton/día UTE	Carga conta- minante UTEx10 /VPD
Autos privados	4 400 000	8.00	18 200.0	1 1809.9	411.34
Transporte colectivo, ruta fija y libres	10 020 000	2.30	2 295.0	759.33	75.78
R-100	4 200 000	0.45	1071.0	124.62	30.86
Autobuses suburba- nos y líneas privadas "chimecos"	5 500 000	1.03	1873.0	304.20	55.31
Metro	4 800 000	0.15	319.0	41.17	8.57
Trolebús y tren ligero	535 000	0.01	187.0	3.46	6.4
Totales	29 455 000	11.94	4 054.0*	3 047.68	588.26*

* Resultado promedio para todo el sistema de transporte.

- Finalmente, la perspectiva económica nos indica que existe una gran cantidad de costos externos asociados al uso del automóvil que son asumidos por toda la sociedad y no sólo por los propietarios de vehículos. Entre estos costos destacan los gastos por enfermedades causadas por la contaminación (hospitalización, medicinas, etc.), la disminución y pérdida de productividad económica, la pérdida de horas-hombre por congestiónamiento, la pérdida de vidas humanas por accidentes, y el daño a bosques y cultivos causados por los oxidantes fotoquímicos.

De todas las estimaciones anteriores, queda claro que independientemente de las metodologías seguidas para el cálculo de los costos externos del automóvil, éstos son exageradamente altos. Las implicaciones ambientales de la automovilización rebasan los problemas estrictamente catalogados como "al final del tubo" y conducen hacia una tendencia centrífuga de derrame urbano sobre importantes recursos territoriales y sistemas biofísicos que suministran bienes y servicios ambientales de carácter estratégico. Esto se manifiesta claramente en el uso excesivo y no sustentable de las capacidades de carga de la cuenca atmosférica de la Zona Metropolitana de Guadalajara para recibir, dispersar, diluir y neutralizar contaminantes presentes en el aire.

IDENTIFICACIÓN DE METAS Y ESTRATEGIAS



8. IDENTIFICACIÓN DE METAS Y ESTRATEGIAS

1. Propósito general

Tal y como se esbozó en la presentación de este documento, el problema de política pública a largo plazo se plantea aquí en términos de cómo escoger, con criterios de eficiencia y de viabilidad social, una combinación de estrategias e instrumentos que desplacen la media de la distribución de probabilidad de los índices de calidad del aire hacia la izquierda, de tal forma, que cada vez se tengan menores niveles de contaminantes por día y menos contingencias por año. Sin embargo, en última instancia el propósito general es sin duda el de cuidar la salud de los habitantes de la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) y salvaguardar la de las generaciones futuras.

Planteado en estos términos y considerando la extrema complejidad del problema de la contaminación atmosférica, el propósito que se persigue sólo puede ser alcanzado a través de la aplicación de un paquete consistente de medidas a lo largo de un período que puede llegar hasta bien entrado el siglo XXI. En su horizonte más cercano, la planeación puede estar sujeta, a una calendarización que permita ir alcanzando objetivos y metas importantes en el corto y mediano plazo.

A pesar de la relativamente poca información de la calidad del aire con que se cuenta en la ZMG, del análisis estadístico de la serie del índice IMECA presentado en el capítulo cuarto, y otros efectuados en otras ciudades del país como la ZMVM, se tiene que su comportamiento se parece a un proceso estocástico constituido por una parte sistemática y otra aleatoria. Puede argumentarse que la parte sistemática corresponde a una media que tiende a modificarse con el tiempo, sobre la cual se sobreponen las variaciones estacionales.

Se ha dicho que el propósito fundamental es desplazar la media de la distribución hacia la izquierda, de tal forma que la frecuencia de incumplimiento de las normas establecidas se reduzca. Más aún, considerando que la variación del índice tiende a ser estacionaria en torno a la media, se puede esperar que el conjunto de ocurrencia de los eventos tenderá a desplazarse igualmente hacia la izquierda. De este modo, la media del índice puede utilizarse como una línea de base para disminuir uniformemente la frecuencia de las distribuciones. En otras palabras, si se logra recorrer la media hacia la izquierda, se disminuirá con ello la ocurrencia de eventos por encima del nivel de contingencia.

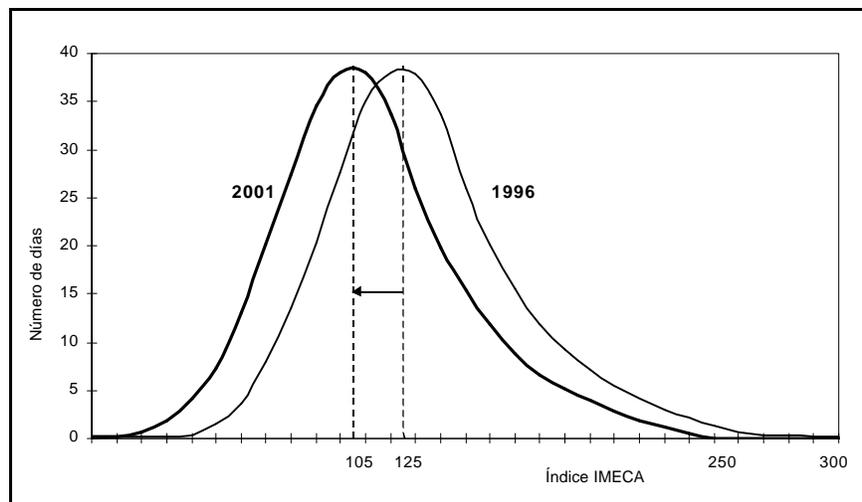
Sin embargo, tampoco es realista plantear para el corto plazo la eliminación total de las excedencias a la norma de calidad del aire, ya que eso implicaría costos exorbitantes y, en el fondo, una estructura de preferencias sociales difícilmente asequible. Además, y como se sabe, estas excedencias están sujetas al

comportamiento probabilístico de las condiciones atmosféricas que determinan la dispersión de los contaminantes, tales como, las tasas de radiación solar, la nubosidad y los gradientes de temperatura.

Objetivos

- Se busca lograr gradualmente menores niveles de contaminación durante el día y tener menos contingencias al año, como resultado de un abatimiento del 25% de las emisiones de hidrocarburos, 50% de óxidos de nitrógeno y 50% de partículas suspendidas, para el año 2001.
- Esto se traduce en desplazar hacia la izquierda la distribución de frecuencias del IMECA, logrando que la media de esta distribución se reduzca de 125 puntos en la actualidad a un nivel de alrededor de 105 puntos y que se disminuya la probabilidad de ocurrencia de contingencias por encima de los 250 puntos para el año 2001. Evidentemente, la actualización y el mantenimiento del Programa de Contingencias Ambientales permitirá minimizar el número de días en que efectivamente el índice IMECA supere los 250 puntos al reducir las emisiones de contaminantes durante episodios de estancamiento atmosférico.
- De la misma forma, prácticamente, el número de días en que se cumple la norma (100 IMECA) se incrementará para pasar de aproximadamente 30% al 50% de los días.
- En forma consecuente, se lograrán importantes beneficios para la salud de la población de la ZMG, especialmente la de los niños y grupos sensibles, disminuyendo así el número de casos de enfermedades respiratorias agudas.

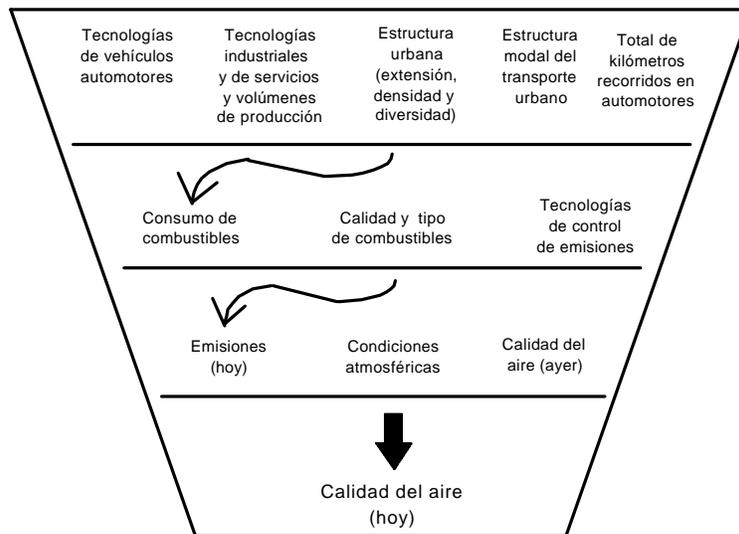
Figura 8.1
Aproximación general de las distribuciones
de frecuencias del IMECA en 1996 y 2001



2. Metas

Las cuatro metas generales del programa fueron determinadas a partir de la asimilación de dos aspectos fundamentales: las causas de fondo de la contaminación atmosférica y el inventario de emisiones. En este sentido, las metas cubren de manera general todos aquellos aspectos sobre los cuales hay posibilidad de incidir para modificar el estado de la calidad del aire. Como puede observarse en el diagrama retomado del capítulo cuarto, sólo quedan fuera de nuestras posibilidades de acción las variables exógenas, a saber, las condiciones atmosféricas.

Figura 8.2
Factores determinantes de la calidad del aire



Como se mencionó anteriormente, la lógica estructural del inventario de emisiones también queda plasmada en las siguientes cuatro metas generales:

I. Industria limpia.	<i>Reducción de emisiones en la industria y servicios.</i>
II. Vehículos limpios.	<i>Disminución de las emisiones por kilómetro.</i>
III. Transporte eficiente y nuevo orden urbano.	<i>Regulación del total de kilómetros recorridos por vehículos automotores.</i>
IV. Recuperación ecológica.	<i>Abatimiento de la erosión.</i>

3. Estrategias

El diseño de las estrategias propuestas se fundamenta, primero, en el marco conceptual desarrollado, segundo, en el inventario de emisiones y tercero, en el conocimiento que tenemos hasta ahora de los problemas ambientales, de las tecnologías relevantes y de las experiencias propias e internacionales.

Cabe subrayar que las estrategias están constituidas por una serie de instrumentos diversos y complementarios, pertenecientes principalmente a dos grandes ámbitos: el de la regulación y el de los marcos de incentivos. El ámbito de la regulación incluye mecanismos reglamentarios que deben ser respetados, sin excepciones, por las personas y las empresas. Sin embargo, los parámetros que determinan los niveles de exigencia de cada mecanismo dependen del estado y de la accesibilidad de las tecnologías relevantes, lo cual define a su vez, la velocidad con la que los mecanismos regulatorios pueden actualizarse.

Por su parte, los marcos de incentivos se definen a partir de instrumentos cuya flexibilidad permite que los agentes involucrados mantengan y utilicen varios grados de libertad en la toma de decisiones. Así, un marco de incentivos diseñado correctamente puede inducir un cambio de conductas que oriente una parte importante de millones de decisiones individuales hacia los objetivos ambientales deseados; esto implica que los individuos y las empresas tomen, por sí mismos, decisiones que conlleven un beneficio social, liberando al Estado de la carga de tomar las decisiones por ellos. Los instrumentos regulatorios considerados son las normas y las restricciones cuantitativas, en cuanto al segundo de los ámbitos, el instrumento natural es el de los incentivos económicos.

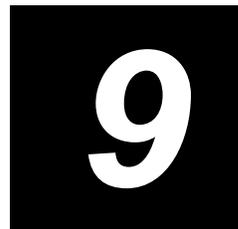
Las estrategias propuestas son las siguientes:

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

El propósito de la política ambiental urbana, en lo que a calidad del aire se refiere, es muy claro, se trata de avanzar de tal manera que cada vez estemos más cerca de cumplir con las normas de calidad del aire, en un período de tiempo razonable. Ello implica enfrentar un alto costo y por lo tanto quedar expuesto a diversas objeciones. Sin embargo, soslayar hoy la importancia de avanzar hacia el cumplimiento de las normas significaría el abandono de los intentos reales por mantener la salud pública a salvo de los graves efectos de la contaminación atmosférica; más aún, los beneficios presentes y futuros que se obtendrían con la instrumentación de las medidas propuestas en este programa podrían ser indudablemente superiores a los costos. En el caso particular de la Zona Metropolitana de Guadalajara, el reto es convencer a la opinión pública de que las posibilidades de alcanzar esos beneficios son indudablemente reales.

El problema que enfrenta la autoridad es el de escoger una combinación de instrumentos que minimice el costo social de lograr tales objetivos, sujeta a una restricción sobre las emisiones totales permisibles. La reducción en las emisiones puede establecerse como una función de la capacidad de carga (escasa y variable) de la cuenca atmosférica de la Zona Metropolitana de Guadalajara, lo cual se determina exógenamente. La definición de costo se asocia con *costos de oportunidad* (lo cual implica la minimización del costo en todas sus expresiones) entre las que se encuentran, por ejemplo, la reducción en el bienestar como resultado de los hábitos actuales de transporte y el costo de los recursos tecnológicos asignados al abatimiento de las emisiones. La dualidad del problema consiste en la maximización del bienestar con sujeción a restricciones sobre las emisiones contaminantes.

ACCIONES
PARA MEJORAR
LA CALIDAD DEL AIRE



9. ACCIONES PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AIRE

A continuación se presentan las acciones del Programa, agrupadas de acuerdo con las cuatro estrategias y metas generales que son: *Industria Limpia, Vehículos Limpios, Nuevo Orden Urbano y Transporte Limpio y Recuperación Ecológica.*

Acciones para el mejoramiento de la calidad del aire en la ZMG

Acciones	Participantes
<i>Industria Limpia</i>	
1. Limitar el asentamiento de nuevas industrias potencialmente contaminantes.	Mpios. conurbados, Gob. del Edo., Semarnap
2. Evaluar la factibilidad de suministrar gasóleo industrial con bajo contenido de azufre.	Gob. del Edo., Pemex, Semarnap
3. Evaluar la factibilidad de suministrar gas LP con bajo contenido de olefinas.	Gob. del Edo., Pemex, Semarnap
4. Ampliar el suministro de gas natural para la industria y como carburante..	Sector privado, Gob. del Edo., Pemex, Semarnap
5. Controlar las emisiones de partículas y bióxido de azufre en industrias altamente contaminantes.	Sector privado, Gob. del Edo., Semarnap
6. Mejorar los procesos de combustión e instalar sistemas de control de combustión en establecimientos industriales y de servicios.	Sector privado, Mpios. conurbados, Gob. del Edo., Semarnap
7. Formar un grupo de trabajo con el sector industrial para promover la adopción de buenas prácticas ambientales y de esquemas voluntarios de autorregulación.	Cámaras industriales, Mpios. conurbados, Gob. del Edo., Semarnap
8. Establecer convenios con la industria para controlar y reducir emisiones de precursores de ozono.	Sector privado, Gob. del Edo., Semarnap
9. Promover la instalación de equipos para la recuperación de vapores en terminales de recibo y distribución de combustibles y gasolinas.	Sector privado, Gob. del Edo., Pemex, Semarnap
10. Fortalecer la inspección y vigilancia de establecimientos industriales y de servicios.	Mpios. conurbados, Gob. del Edo., Semarnap
11. Diseñar un sistema de intercambio de emisiones mediante la coordinación de las autoridades federales y estatales.	Gob. del Edo., Semarnap
<i>Vehículos Limpios</i>	
12. Promover el reordenamiento y la renovación del transporte colectivo con unidades de baja emisión de contaminantes.	Sector privado, Gob. del Edo.
13. Promover la reconversión de flotillas de camiones de carga y transporte público de pasajeros a gas natural comprimido, incorporando convertidores catalíticos.	Sector privado, Gob. del Edo, Pemex, SCT, Semarnap
14. Ampliar y modernizar el Programa de Afinación Controlada aplicando la normatividad.	Sector privado, Gob. del Edo., Semarnap
15. Eliminar completamente el suministro de gasolina con plomo.	Gob. del Edo., Pemex, Semarnap
16. Suministrar gasolina Pemex Magna con especificaciones de PVR de 6.5-9.5 lb/pulg ² , 2% en volumen de benceno, 30% en volumen de aromáticos, 12.5% en volumen de olefinas y 1-2% en peso de contenido de oxígeno.	Gob. del Edo., Pemex, Semarnap
<i>Nuevo Orden Urbano y Transporte Limpio</i>	

Acciones	Participantes
17. Revisar y actualizar el Programa de Contingencias Ambientales.	Mpios. conurbados, Gob. del Edo., Semarnap
18. Gestionar la aplicación de incentivos fiscales y otros instrumentos económicos al uso de tecnologías para el control de emisiones.	Gob. del Edo., SHCP, Semarnap
19. Mejorar vialidades, la semaforización, los estacionamientos y evaluar el establecimiento de carriles confinados para el transporte público de superficie.	Mpios. conurbados, Gob. del Edo.
20. Reordenar y modernizar el transporte público de superficie para reducir el uso de vehículos privados y estimular el transporte masivo.	Mpios. conurbados, Gob. del Edo., Sector privado
21. Intensificar los programas de pavimentación de calles y avenidas para reducir las emisiones de partículas.	Mpios. conurbados, Gob. del Edo.
22. Fortalecer el Sistema de Vigilancia Epidemiológica de la ZMG.	Gob. del Edo., SSA, Semarnap
23. Llevar a cabo estudios de monitoreo microambiental y de exposición a contaminantes.	Gob. del Edo., SSA, Semarnap
24. Convenir con las instituciones de investigación la elaboración de estudios para comprender el comportamiento del ozono y las partículas suspendidas en la ZMG.	Gob. del Edo., Instituciones de investigación, Semarnap
25. Impartir cursos sobre la elaboración de inventarios de emisiones y el control de partículas y gases.	Instituciones de educación superior, Gob. del Edo., Semarnap
26. Revisar y validar el inventario de emisiones de la ZMG con el propósito de actualizar las emisiones de los sectores industria, servicios, transporte, suelos y vegetación.	Mpios conurbados, Gob. del Edo., Semarnap
27. Reforzar la red de monitoreo atmosférico.	Gob. del Edo., Semarnap
28. Establecer un programa permanente de certificación de la calidad de los combustibles de la ZMG.	Gob. del Edo., Pemex
29. Diseñar e implantar programas de formación y capacitación en cultura ecológica.	ONG's, Sector privado, Sector educativo, Gob. del Edo., Semarnap
30. Crear una Comisión para la prevención y control de la contaminación atmosférica de la zona conurbada de Guadalajara que se encargue de la evaluación y seguimiento del cumplimiento de las acciones del Programa.	ONG's, Sector privado, Instituciones de educación superior, Mpios. conurbados, Gob. del Edo., Semarnap
Recuperación Ecológica	
31. Establecer un programa de reforestación de la ZMG y su área ecológica de influencia.	ONG's, Mpios. Conurbados, Gob. del Edo., Sedesol, Semarnap
32. Convenir con las instituciones de educación superior de Jalisco la elaboración de estudios de emisiones generadas por los suelos y la vegetación.	Instituciones de educación superior, Gob. del Edo., Semarnap

I. INDUSTRIA LIMPIA

1. *Limitar el asentamiento de nuevas industrias potencialmente contaminantes.*

- *Objetivo*

Regular el crecimiento industrial conforme a los planes de desarrollo urbano de los municipios conurbados que integran la zona metropolitana, los cuales deben considerar el *Programa para el Mejoramiento de la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana de Guadalajara 1997-2001* al momento de autorizar la ubicación de nuevas industrias.

- *Descripción*

El Gobierno del estado de Jalisco, los Ayuntamientos locales y la Semarnap conducirán y vigilarán, en el ámbito de su competencia, las medidas normativas pertinentes en la instalación de nuevas industrias en la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG). El propósito de ello consiste en planear el desarrollo industrial de la zona, de tal forma que cada industria nueva sea evaluada en su impacto ambiental, fijando valores límite a las emisiones que genere y cuidando siempre que no se produzcan riesgos a la salud de la población ni se deteriore el ambiente.

- *Meta*

- Establecer un reglamento estatal de impacto ambiental que regule el establecimiento de nuevas industrias en la ZMG.

2. *Evaluar la factibilidad de suministrar gasóleo industrial con bajo contenido de azufre.*

- *Objetivo*

Reducir las emisiones contaminantes a la atmósfera de la ZMG, mediante la sustitución del combustóleo por gasóleo en la industria.

- *Descripción*

La Semarnap gestionará ante Pemex se evalúe la factibilidad de que se disminuya el abasto de combustóleo con contenido de 4% de azufre a la ZMG y en su lugar se suministre gasóleo, con un contenido máximo de azufre del 2%, para su uso en la industria, o bien se incremente sustancialmente el abasto de gas natural para esos fines.

Si resulta factible la aplicación de esta medida, se estima que se pudieran reducir en más del 40% las emisiones de SO₂ y de partículas generadas por los procesos de combustión en las industrias que utilizan combustóleo como combustible.

- *Meta*
 - Reducción de 300 ton/año de partículas.
 - Reducción de 1,650 ton/año de bióxido de azufre.

3. *Evaluar la factibilidad de suministrar gas LP con bajo contenido de olefinas.*

- *Objetivo*

Reducir las emisiones de contaminantes reactivos a la atmósfera de la ZMG, mediante la disminución del contenido de olefinas en el gas LP.

- *Descripción*

El gas LP que se consume en la ZMG resulta de una mezcla del 92% de gas del GLP-ducto Cactus-Guadalajara y un 8% de gas producido por la refinería de Salamanca; el primero contiene 2% en volumen de olefinas y el segundo 47%; la mezcla posee un contenido de alrededor de 5% en volumen, valor que debiera reducirse dada la reactividad potencial del gas LP.

Considerando los altos niveles de ozono que se registran en la ZMG, la Semarnap gestionará que Pemex realice los estudios necesarios para determinar las características más adecuadas del gas LP para la ZMG y la factibilidad de su suministro.

- *Meta*
 - Reducir las emisiones de hidrocarburos reactivos en comercios, servicios y hogares que manejan y consumen gas LP.

4. *Ampliar el suministro de gas natural para la industria y como carburante.*

- *Objetivo*

Reducir las emisiones contaminantes al aire generadas por la industria en la ZMG, mediante la sustitución de combustóleo por gas natural.

- *Descripción*

La Semarnap gestionará ante Pemex que se suministre mayor cantidad de gas natural para uso industrial en la ZMG, con el objetivo de incrementar el número de es-

tablecimientos industriales que consuman gas natural en sus procesos de combustión.

- *Meta*
 - Substituir por lo menos una tercera parte del consumo de combustibles líquidos industriales por gas natural.

5. *Controlar las emisiones de partículas y bióxido de azufre en industrias altamente contaminantes.*

- *Objetivo*

Reducir las emisiones generadas por las industrias más contaminantes en bióxido de azufre y partículas, mediante la instalación de sistemas y/o dispositivos de control.

- *Descripción*

De acuerdo al análisis efectuado a cerca de 400 industrias establecidas en la ZMG, muchos establecimientos no cuentan con sistemas y/o dispositivos de control de emisiones. Para la implantación de esta medida la Semarnap coordinará un grupo que gestione con instituciones crediticias, mecanismos de financiamiento con créditos preferenciales para la instalación de equipos de control de emisiones. El mayor costo-efectividad de esta medida se lograría empezando con el control de industrias con un volumen de emisión de contaminantes por arriba de las 10 toneladas por año.

Los equipos que se recomiendan instalar son precipitadores electrostáticos, ciclones y lavadores de gases para el control de las emisiones de partículas y para el control de bióxido de azufre se recomienda la instalación de lavadores de gases.

- *Meta*
 - Disminuir la generación en industrias altamente contaminantes en partículas y bióxido de azufre.
 - Reducción de 1,100 toneladas/año de partículas.
 - Reducción de 2,950 toneladas/año de bióxido de azufre.

6. *Mejorar los procesos de combustión e instalar sistemas de control de combustión en establecimientos industriales y de servicios.*

- *Objetivo*

Mejorar la eficiencia de los procesos de combustión por medio del desarrollo e instrumentación de programas de capacitación para la operación y mantenimiento de los equipos de combustión.

- *Descripción*

Debido a que la generación de emisiones de contaminantes primarios está estrechamente ligada con la eficiencia de la combustión, es necesario que la Semarnap en coordinación con el Gobierno del Estado y las agrupaciones de industriales desarrolle e instrumente un programa de capacitación para el personal que opera equipos de combustión. Estos programas, que han sido sugeridos por el propio sector industrial¹, tendrían como propósito el mejorar el mantenimiento y afinación de los equipos reduciendo con ello las emisiones de contaminantes de manera importante. Se ha comprobado mediante estudios realizados en la Zona Metropolitana del Valle de México, que se pueden alcanzar reducciones en la emisión de NOx de hasta un 42% en los procesos de combustión, cuando éstos son adecuados y se cuenta con los instrumentos necesarios para operarlos eficientemente.

- *Meta*

- Optimización de los procesos de combustión para la reducción de emisiones.
- Reducción de 90 toneladas/año de óxidos de nitrógeno en el sector servicios.
- Reducción de 80 toneladas/año de óxidos de nitrógeno en industrias que generan menos de 10 toneladas al año.

¹ Las medidas 6 y 7 se desprenden fundamentalmente de propuestas formuladas por el Consejo de Cámaras Industriales del Estado de Jalisco a la Comisión Estatal de Ecología, como parte de las 13 acciones que debieran incorporarse al Plan de Invierno.

7. *Formar un grupo de trabajo con el sector industrial para promover la adopción de buenas prácticas ambientales y de esquemas voluntarios de autorregulación.*

- *Objetivo*

Formación de un grupo de trabajo para establecer formas de participación industrial sobre acciones de reducción de emisiones y lograr abatimientos mayores a los que obliga la normatividad vigente.

- *Descripción*

La Semarnap, en coordinación con el sector industrial y las autoridades competentes, creará un grupo de trabajo en el cual se revisen las propuestas de participación de este sector sobre las medidas para la reducción de emisiones, incluyendo los esquemas de autorregulación y contemplando la difusión de información hacia otros sectores para una mayor cobertura.

Entre las propuestas más importantes que han sido presentadas a las autoridades por parte del sector industrial destacan: programar los mantenimientos de equipos de proceso que potencialmente puedan emitir contaminantes con el fin de minimizar sus impactos; reprogramar operaciones y actividades en horarios donde existan condiciones atmosféricas adecuadas para la dispersión de contaminantes; informar oportunamente a las autoridades cuando se presenten fallas en los equipos de procesos altamente contaminantes o en los de control de emisiones; así como dar afinación mayor a los vehículos de las empresas, sugiriendo además a empleados y trabajadores que cumplan con los programas de afinación y control de emisiones vehiculares aplicables.

- *Meta*

- Establecimiento de un grupo de trabajo para identificar oportunidades de control de emisiones a la atmósfera en el sector industrial.

8. *Establecer convenios con la industria para controlar y reducir emisiones de precursores de ozono.*

- *Objetivo*

Establecer convenios que contemplen programas de autorregulación industrial para alcanzar reducciones en las emisiones de óxidos de nitrógeno e hidrocarburos, mayores a las establecidas en las Normas Oficiales Mexicanas.

- *Descripción*

Las autoridades del Gobierno del Estado, los ayuntamientos y la Semarnap, en coordinación con la industria desarrollarán programas de autorregulación voluntaria para reducir las emisiones al aire, en los cuales se contemplen límites de emisiones más estrictos que los establecidos en la normatividad vigente.

Con esta medida se estima una reducción aproximada del 80% de las emisiones industriales de óxidos de nitrógeno (llevando a cabo la recirculación de gases, instalando quemadores de bajo NOx, o aplicando reducción catalítica con recirculación de gases) y del 90% para los compuestos orgánicos volátiles (con incineración catalítica y recuperación de vapores); participarían las 45 industrias que emiten la mayor cantidad de precursores de ozono.

Así mismo, toda aquella industria que esté en posibilidades de mejorar su desempeño ambiental estableciendo programas de autorregulación en la reducción de emisiones, podrá participar en forma voluntaria.

- *Meta*

- Reducción de emisiones a través de la celebración de convenios con la industria más contaminante, principalmente.
- Reducción de 2,300 toneladas/año de óxidos de nitrógeno.
- Reducción de 2,400 toneladas/año de hidrocarburos.

9. *Promover la instalación de equipos para la recuperación de vapores en terminales de recibo y distribución de combustibles y gasolinas.*

- *Objetivo*

Reducir las emisiones contaminantes provenientes de los vapores de combustibles y gasolinas en terminales de distribución, llenaderas de autotransportes y estaciones de servicio.

- *Descripción*

En la ZMG existen dos terminales de almacenamiento y distribución de hidrocarburos, una situada en el municipio de El Salto y la otra en el municipio de Zapopan, y alrededor de 140 estaciones de servicio en donde se abastecen los automotores. Las emisiones de hidrocarburos que generan estas instalaciones al efectuar las maniobras de carga, descarga y suministro no son controladas ni reducidas en la actualidad.

Estudios técnicos y experiencias en sitio han comprobado que los sistemas de recuperación de vapores son una medida muy efectiva para la reducción de precursores de ozono; por ello se requiere un programa para que todas las instalaciones que almacenen, manejen y transporten combustibles industriales y vehiculares instalen sistemas de recuperación de vapores. La instalación del sistema de recuperación de vapores en las estaciones de servicio debe ir acompañada de la puesta en marcha de la fase 0 en las terminales de Pemex, para completar el ciclo de control de emisiones evaporativas.

Este programa necesita un impulso para que las reducciones sean efectivas y a la vez se requiere de un programa de supervisión y vigilancia de los procedimientos de instalación y operación de los sistemas, así como de un programa de seguimiento a los equipos instalados a fin de asegurar su efectividad y de imponer sanciones en los casos en que no se cumpla con lo establecido.

La Semarnap revisará la norma oficial correspondiente que actualmente sólo se aplica en la ZMVM, para ampliar su ámbito de aplicación a ciudades con problemas severos de contaminación.

- *Meta*
 - Instalar sistemas de recuperación de vapores en las terminales de distribución y de llenado de autotransportes en 1998 y en las estaciones de servicio para la reducción de emisiones a partir de 1999, así como establecer programas permanentes de observancia para su seguimiento.
 - Reducción de 12,200 toneladas por año de hidrocarburos, estimando que todas las estaciones de servicio instalan los sistemas de recuperación de vapores. Se sabe que el grado de control en cada estación puede ser del 90% con respecto al volumen actual de emisión de hidrocarburos.

10. Fortalecer la inspección y vigilancia de establecimientos industriales y de servicios.

- *Objetivo*

Reforzar la aplicación de la normatividad vigente para reducir las emisiones contaminantes generadas en establecimientos industriales y de servicios.

- *Descripción*

La regulación ambiental en los sectores industrial y de servicios se realizará a través de la aplicación estricta de las normas ambientales vigentes y la vigilan-

cia del cumplimiento de las mismas redundará en la reducción de las emisiones de estos sectores.

- *Meta*
 - Establecer un programa continuo de observancia y cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas en materia de calidad del aire y sus fuentes de contaminación.

11. *Diseñar un sistema de intercambio de emisiones mediante la coordinación de las autoridades federales y estatales.*

- *Objetivo*

Crear un sistema regional de intercambio de emisiones (conocido como “sistema de tipo burbuja”) que estimule el control de emisiones de NOx en el sector industrial, estableciendo límites o topes de emisión por región determinada.

- *Descripción*

Mediante la aplicación de topes regionales para la emisión de óxidos de nitrógeno provenientes de la industria, se pretende fomentar el desarrollo e integración de tecnología de punta que permita la disminución de emisiones de estos contaminantes, con el fin de que no se rebasen los límites que marcan las normas de calidad del aire, de acuerdo al número de usuarios de la cuenca atmosférica y a su potencial de emisiones.

En el caso de que una industria logre disminuciones de sus emisiones a niveles significativamente inferiores a los marcados en las normas señaladas para una determinada región, este volumen adicional de contaminantes que deje de emitir podrá ser transformado en créditos de emisión, que la citada industria podrá comercializar con otras que, por alguna razón, les sea tecnológicamente complicado o extremadamente costoso el cumplir con las normas vigentes.

- *Meta*
 - Constituir las bases para lograr reducciones significativas de emisiones de óxidos de nitrógeno en la industria, en el mediano y largo plazos, mediante el establecimiento de un sistema de burbuja. El alcance de las reducciones de esta medida podrá ser definido durante las primeras etapas de ejecución de la misma, en función del potencial de comercialización de créditos de emisión.

II. VEHÍCULOS LIMPIOS

12. *Promover el reordenamiento y la renovación del transporte colectivo con unidades de baja emisión de contaminantes.*

- *Objetivo*

Estimular la renovación y mantenimiento de la flota vehicular del transporte automotor colectivo (autobuses y microbuses), dando prioridad a la incorporación y circulación de vehículos de baja emisión de contaminantes.

- *Descripción*

La renovación del parque vehicular es una de las medidas que en el corto plazo pueden contribuir a reducir significativamente la emisión de contaminantes en la ZMG. Estimaciones generales sugieren que el 20% del parque vehicular (que se asocia con los vehículos más contaminantes por su inadecuado estado mecánico) contribuye con más del 60% de los contaminantes producidos por este sector.

Dadas las características de la flota vehicular, así como de los combustibles que demanda este tipo de transporte en la ZMG, se requiere desarrollar un marco normativo local para los vehículos en circulación. Este marco normativo a su vez se debe basar en procedimientos que garanticen el control y reducción de los contaminantes de origen vehicular, como son el monóxido de carbono, los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno, así como en programas de verificación vehicular obligatoria y programas de vigilancia y seguimiento, con la finalidad de inducir la renovación del parque vehicular en un plazo razonable mediante mecanismos adecuados para la implantación de esta medida.

Se pretende que la renovación del parque vehicular con alta emisión de contaminantes (que forman parte del transporte colectivo), se realice en períodos preestablecidos, de tal forma que se cuente con los mecanismos necesarios para alcanzar la meta planeada. La Semarnap y el Gobierno del Estado buscarán con las instituciones crediticias, mecanismos que permitan el otorgamiento de créditos para la aplicación de esta medida.

A partir de enero de 1997 entró en vigor la reforma a la Ley del Impuesto Especial sobre Producción y Servicios (IEPS), aplicable al gas natural, la cual se convertirá en un fuerte incentivo para el establecimiento de empresas que utilicen el gas natural como carburante. Se darán las facilidades necesarias para que el nuevo esquema tributario aplicable al IEPS produzca los resultados deseados en cuanto a conversión de vehículos a gas natural y a través de ello, la renovación del parque vehicular.

- *Meta*
 - Reducción de emisiones de óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y monóxido de carbono provenientes de vehículos automotores en circulación, de acuerdo con los avances tecnológicos automotrices adecuados a la ZMG y al establecimiento de un marco normativo local para los vehículos en circulación.
 - El programa para renovar el transporte colectivo pretende:
 - Renovación del 20% del transporte colectivo con alta emisión en el año 1998
 - Renovación del 30% del transporte colectivo con alta emisión en el año 1999
 - Renovación del 50% del transporte colectivo con alta emisión en el año 2001

Al término de este proceso, se tendrán las siguientes reducciones:

- Reducción de 1,200 ton/año de óxidos de nitrógeno
- Reducción de 2,800 ton/año de hidrocarburos
- Reducción de 31,300 ton/año de monóxido de carbono
- Reducción de 1,200 ton/año de partículas.

13. *Promover la reconversión de flotillas de camiones de carga y transporte público de pasajeros a gas natural comprimido, incorporando convertidores catalíticos.*

- *Objetivo*

Inducir el uso masivo de vehículos a gas natural comprimido con convertidor catalítico, para las actividades de reparto de mercancías.

- *Descripción*

Las autoridades del Gobierno del Estado y el sector industrial establecerán convenios bajo los cuales, el transporte y distribución de mercancías se realice en flotas vehiculares reconvertidas a gas natural comprimido. Los vehículos reconvertidos deberán además contar con un convertidor catalítico. Se acompañará esta medida con otras complementarias para el manejo del tránsito vehicular y se fomentará el uso de vehículos ecológicos. Así mismo, se restringirá el uso de vialidades en horarios para uso exclusivo de vehículos de carga.

- *Meta*
 - Reducción de emisiones mediante la reconversión de 500 vehículos de carga a gas natural comprimido, que contribuyan en la reducción de precursores de ozono y partículas.
 - Reducción de 37 ton/año de partículas.
 - Reducción de 88 ton/año de hidrocarburos
 - Reducción de 950 ton/año de monóxido de carbono
 - Reducción de 36 ton/año de óxidos de nitrógeno.

14. Ampliar y modernizar el Programa de Afinación Controlada aplicando la normatividad.

- *Objetivo*

Inducir la participación y concientización de la población en la resolución de los problemas de calidad del aire de la ZMG, a través de programas como el de afinación controlada, para que se introduzca de manera gradual un programa de control de emisiones vehiculares aplicando la normatividad (ver anexo F).

- *Descripción*

Este programa pretende, en una primera instancia, inducir la reducción de emisiones de vehículos automotores mediante la operación de un programa obligatorio de afinación y mantenimiento. Esta concepción constituirá un importante avance para la apertura de perspectivas de política pública local, con el desarrollo de la instrumentación de medidas de regulación, en las que se expidan normas y procedimientos que permitan la medición y control de las emisiones contaminantes de los vehículos.

Para alcanzar las reducciones, se considera que el someter vehículos en pésimas condiciones mecánicas a programas de afinación completa (cambio de bujías, carburación, puesta a tiempo, cambio de filtros, etc.), permite alcanzar reducciones del orden del 50% en vehículos a gasolina con carburador, para partículas, CO y HC principalmente y un 40% en vehículos a diesel para los mismos contaminantes. Sin embargo, por ser vehículos muy contaminantes, a pesar de lograrse esas reducciones, éstas medidas no son suficientes para abatir sensiblemente las emisiones del sector transporte en su conjunto. Es necesario considerar que esta reducción no aplica al 50% del parque vehicular de automóviles particulares a gasolina, que tienen incorporado previamente el convertidor catalítico. Dado que los programas de afinación voluntaria no permiten reducir las emisiones de todos los tipos y tecnologías vehiculares será necesario establecer un programa formal de verificación vehicular obligatoria aplicando la normatividad.

El programa obligatorio de control de emisiones vehiculares debe contemplar la medición de NOx, HC y CO e incluir la prueba dinámica. Se buscará que el otorgamiento de concesiones para llevar a cabo la verificación vehicular no sea otorgado a una sola persona o empresa, sino que exista la participación de varios concesionarios.

Las autoridades competentes del Gobierno del Estado y los H. Ayuntamientos convocarán la conformación de un grupo interdisciplinario para llevar a cabo esta tarea, con la finalidad de que en 1997 queden integrados los elementos técnicos para la instrumentación de esta medida y los plazos en los que se llevarán a cabo las diferentes actividades del programa.

Varios grupos no gubernamentales de la ZMG han sugerido en repetidas ocasiones que el programa de control de emisiones vehiculares deberá complementarse con la aplicación de un programa permanente de detección y detención de vehículos ostensiblemente contaminantes.

- *Meta*
 - Asumiendo que en promedio el 50% del parque vehicular a gasolina y diesel se someterá a la afinación vehicular, las reducciones en emisiones serán las siguientes:
 - 200 ton/año de partículas en vehículos a gasolina y 900 toneladas/año en vehículos a diesel.
 - 118,600 ton/año de monóxido de carbono en vehículos a gasolina y 23,500 toneladas/año en vehículos a diesel.
 - 10,900 ton/año de hidrocarburos en vehículos a gasolina y 2,200 toneladas/año en vehículos a diesel.
 - 11,600 ton/año de óxidos de nitrógeno en vehículos a gasolina y 1,800 toneladas/año en vehículos a diesel.
 - Establecer para el primer semestre de 1998, los lineamientos y la programación para llevar a cabo un programa de verificación vehicular obligatoria, aplicando la normatividad, y la supervisión del mismo.

15. *Eliminar completamente el suministro de gasolina con plomo.*

- *Objetivo*

Reducir las emisiones de contaminantes atmosféricos en la ZMG, mediante la sustitución o mejoramiento de combustibles usados en los vehículos automotores.

- *Descripción*

La variación actual en el contenido de plomo de la gasolina nova que se distribuye en la ZMG es de 0.06-0.28 kg/m³. La NOM-086 establece que la gasolina con plomo para la ZMG tendrá, a partir de enero de 1998, especificaciones de gasolina Nova-Plus-Zonas Metropolitanas, mismas que aplican ya para la gasolina con plomo que se suministra a la ZMVM, con un contenido de plomo de 0.06-0.08 kg/m³.

- *Meta*

- La Semarnap gestionará ante Pemex la factibilidad de suministrar gasolina sin plomo de características similares a la de la ZMVM antes de lo previsto por la normatividad. Con la aplicación de esta medida se estima alcanzar una reducción de 100 toneladas por año de emisiones de plomo.

16. *Suministrar gasolina Pemex Magna con especificaciones de PVR de 6.5-9.5 lb/pulg², 2% en volumen de benceno, 30% en volumen de aromáticos, 12.5% en volumen de olefinas y 1-2% en peso de contenido de oxígeno.*

- *Objetivo*

Reducir las emisiones de contaminantes atmosféricos en la ZMG, mediante la sustitución o mejoramiento de combustibles usados en los vehículos automotores.

- *Descripción*

A partir de enero de 1998, se suministrará gasolina Pemex Magna con las especificaciones establecidas en la NOM-086-ECOL: PVR de 6.5-9.5 lb/pulg², contenido de benceno de 2% (máximo) en volumen, contenido de aromáticos de 30% (máximo) en volumen, contenido de olefinas de 12.5% (máximo) en volumen y contenido de oxígeno de 1-2% en peso. Considerando la problemática de calidad del aire en la ZMG, donde se presentan altos niveles de ozono y partículas suspendidas, la Semarnap gestionará que Pemex evalúe la factibilidad de suministrar gasolina con una calidad similar a la de la ZMVM.

- *Meta*

- La Semarnap gestionará ante Pemex evaluar la factibilidad de suministrar gasolina Pemex Magna con especificaciones mejoradas de PVR, benceno, aromáticos, olefinas y contenido de oxígeno para la ZMG.

III. NUEVO ORDEN URBANO Y TRANSPORTE LIMPIO

17. Revisar y actualizar el Programa de Contingencias Ambientales².

- *Objetivo*

Evitar la exposición de la población, especialmente de los niños, ancianos y personas enfermas, a niveles de contaminación que signifiquen riesgos para su salud.

- *Descripción*

Ante la situación de la calidad del aire que prevalece en la ZMG y debido a la frecuencia con la que se alcanzan niveles que requieren la aplicación de medidas emergentes, es necesario actualizar el programa de contingencias vigente con medidas que permitan disminuir las emisiones de los sectores transporte e industria, de manera rápida y contundente. El Programa de Contingencias para la ZMG se debe basar en 5 principios fundamentales:

Prevención: para que otorgue una oportunidad real de incidir a tiempo en los procesos de formación del ozono.

Activación automática basada en criterios de salud ambiental: es necesario establecer el nivel de activación automática para la ZMG, el cual obedece a diferentes valores del IMECA según la hora del día, en donde no se considere ni pronóstico meteorológico ni condicionantes que propicien discrecionalidad en la toma de decisiones para su activación.

Correspondencia con el inventario de emisiones: porque la eficacia del Programa de Contingencias Ambientales depende críticamente de la lista de participantes, la cual deberá incluir a los agentes que contribuyen mayoritariamente a la contaminación atmosférica.

Consistencia con el Programa para el Mejoramiento de la Calidad del Aire en la ZMG: porque ambos programas serán concebidos como complementarios, dirigidos hacia objetivos comunes y diseñados de tal manera que sus acciones se refuercen permanentemente.

Claridad en su diseño y sencillez de aplicación: las reglas de participación deben ser claras y las señales que de ahí se desprendan deberán ser consistentes y de largo plazo. La sencillez de su aplicación facilita la obtención de mayores niveles de costo/efectividad.

² La medida 17 ha sido propuesta en numerosas ocasiones por grupos no gubernamentales, en particular Pro Hábitat se refería a ella como la "Formulación de un Plan de Emergencia, que sea conocido y pueda ser aplicado tanto por las autoridades como por la ciudadanía".

Con lo anterior se pretende tener reducciones significativas de las emisiones, evitando que se produzcan niveles altos el segundo día de que se presenta la contingencia ambiental.

- *Meta*
 - Contar con un nuevo Programa de Contingencias Ambientales para la ZMG que aplique a partir del invierno 1997-1998.

18. Gestionar la aplicación de incentivos fiscales y otros instrumentos económicos al uso de tecnologías para el control de emisiones.

- *Objetivo*

Fomentar, mediante incentivos fiscales y otros instrumentos económicos, el uso de tecnologías de control de emisiones en la industria, que permitan una disminución significativa y comprobable en las emisiones atmosféricas provenientes de fuentes industriales.

- *Descripción*

La Semarnap gestionará ante la Secretaría de Hacienda y Crédito Público el establecimiento de estímulos arancelarios para la importación de equipo de control y prevención de la contaminación ambiental, así como el diseño de esquemas de depreciación acelerada de dichos equipos. Con este tipo de medidas se facilitará el adoptar técnicas y equipos de control de emisiones, principalmente de precursores de ozono y de partículas.

- *Meta*
 - Diseñar y ofertar paquetes de incentivos fiscales para la renovación y modernización de la planta industrial y la adquisición de bienes de capital ambiental.

19. *Mejorar vialidades, la semaforización, los estacionamientos y evaluar el establecimiento de carriles confinados para el transporte público de superficie*³.

- *Objetivo*

Reducir y disminuir demoras, incrementar la velocidad de recorrido, establecer carriles exclusivos para transporte público urbano y de carga a lo largo de las principales vialidades y corredores urbanos, reducir las emisiones contaminantes de vehículos automotores, además de preservar la seguridad vial y procurar el ordenamiento de los movimientos para facilitar desplazamientos seguros y de operación fluida del tránsito vehicular.

- *Descripción*

La delimitación de carriles exclusivos para el transporte público de pasajeros en vialidades importantes es uno de los primeros lineamientos tendientes a mejorar la circulación. Estos carriles exclusivos requieren estar ligados a una serie de medidas adicionales de ingeniería de tránsito como lo son: el control del tráfico a través de la semaforización y el señalamiento vertical u horizontal apropiado, para realmente favorecer el transporte y los desplazamientos de vehículos de una manera ágil y segura.

Ya que muchos de los problemas ambientales relacionados con la generación de emisiones ocurren debido a los frecuentes cambios de velocidad en la vía pública, especialmente en los altos y embotellamientos, es necesario contar con herramientas de gestión vial y educación cívica que faciliten una fluida circulación y reduzcan tiempos de espera, embotellamientos y la contaminación resultante de estas circunstancias. Esto se logra con el señalamiento adecuado, vialidades en buenas condiciones y la ordenación de movimientos que contribuyan a facilitar el desplazamiento del parque vehicular.

Adicionalmente, durante 1995 se propusieron dentro de las acciones del programa de vialidad de la Comisión Interinstitucional para la Preservación de la Calidad del aire en la ZMG el promover que se integre un censo confiable del parque vehicular y que se lleve a cabo un estudio que actualice los aforos vehiculares en las principales avenidas de la ciudad.

³ En la medida 19 se integran varias de las propuestas que hicieron a la COESE grupos no gubernamentales como Pro Hábitat, como parte de los 17 pasos para abatir la contaminación ambiental. Especialmente destaca el establecer una semaforización eficiente, la reparación nocturna de calles y evitar el cierre de avenidas por obras públicas durante el invierno.

- *Meta*
 - Evaluar el establecimiento de carriles confinados para facilitar el desplazamiento preferencial del transporte público, actualizar los lineamientos de señalización vial y establecer programas de mejoramiento de señalización para el control del tránsito.

20. *Reordenar y modernizar el transporte público de superficie para reducir el uso de vehículos privados y estimular el transporte masivo⁴.*

- *Objetivo*

Reordenar y modernizar el sistema de transporte público de superficie para eficientar y ampliar la atención de la demanda, al tiempo que se sustituyen los vehículos obsoletos por unidades no contaminantes y se promueve el empleo del transporte público en lugar del automóvil particular.

- *Descripción*

La medida está orientada al reordenamiento de las rutas existentes de autobuses para ampliar la oferta de transporte masivo e incluye el inicio de la conformación de la red de transporte eléctrico. Para eficientar cada ruta será necesario considerar a los centros de población y de trabajo y las vialidades existentes, longitudes de ruta, estacionalidad y horarios de la demanda, aforos, frecuencia y tiempos de recorrido, así como paradas y estándares de operación. Simultáneamente se evaluarán las condiciones de los motores y los chasis de los vehículos, a fin de establecer un programa de renovación de la flota vehicular orientado a sustituir las unidades obsoletas, mejorar la calidad del servicio y reducir las emisiones contaminantes. Se llevarán a cabo los estudios necesarios y se reglamentarán las paradas de autobuses. Así mismo se realizarán campañas de capacitación a conductores y se brindará un mantenimiento constante y oportuno a las unidades. Se creará un sistema de orientación al usuario para facilitarle el uso de este modo de transporte.

- *Meta*
 - Realizar campañas de capacitación a conductores de unidades.
 - Establecer un programa de mantenimiento de unidades y sustituir las obsoletas.
 - Crear un sistema de información al usuario.
 - Conformar la red de transporte eléctrico.

⁴ Varias de las acciones específicas propuestas dentro de la medida 20 corresponden a las diez acciones básicas sugeridas por el Consejo Estatal del Transporte, como resultado de las investigaciones del Comité para la Racionalización del Transporte Urbano.

- En casos justificados autorizar nuevas rutas para transporte masivo, institucional, de escolares y de personal.
- Elaborar y poner en práctica un reglamento de paradas de autobuses.

21. *Intensificar los programas de pavimentación de calles y avenidas para reducir las emisiones de partículas.*

- *Objetivo*

Reducir las emisiones de partículas generadas en calles y avenidas sin pavimentar, como una mejora de las condiciones ambientales y urbanas existentes en algunas áreas de la ZMG.

- *Descripción*

De acuerdo al volumen de emisiones reportadas en el inventario de emisiones de la ZMG, se tiene que más del 90% de las partículas que se generan en la misma se deben a procesos erosivos de los suelos o superficies que carecen de cobertura vegetal o que no poseen algún tipo de recubrimiento. Esta medida tiende a disminuir las emisiones de dichas partículas, ya que existe una considerable extensión de calles y avenidas en el área urbana de la ZMG que no cuenta con un tipo adecuado de cubierta o pavimento, lo cual propicia que se generen emisiones de partículas.

- *Meta*

- Aumentar el número de calles y avenidas pavimentadas en la ZMG.
- Reducción de 2,300 ton/año de emisiones de partículas.

22. *Fortalecer el Sistema de Vigilancia Epidemiológica de la ZMG⁵.*

- *Objetivo*

Contar con información actualizada y permanente de las condiciones de salud de la población de la ZMG, a través de la puesta en marcha del Sistema de Vigilancia Epidemiológica.

- *Descripción*

Las autoridades ambientales y sanitarias, y la comunidad en general, necesitan contar con información permanente sobre los efectos del ambiente en la salud.

⁵ El establecimiento de un programa de vigilancia epidemiológica fue originalmente propuesto en 1991 por la Secretaría de Salud de Jalisco y la COESE, como parte de los trabajos del Comité Promotor del Plan de Invierno

Esta información es crucial para la toma de decisiones y para la consistencia en la aplicación del *Programa para el Mejoramiento de la Calidad del Aire en la ZMG* y del Programa de Contingencias, de tal manera que la activación del sistema de vigilancia permita generar la información necesaria para conocer y evaluar los daños y efectos en la salud de la población y con ello enfocar de manera eficiente las medidas de prevención, protección y atención pertinentes.

Como parte del programa de vigilancia epidemiológica, las autoridades de salud en coordinación con otras autoridades competentes deberán llevar a cabo campañas de difusión para informar oportunamente a la población sobre las medidas preventivas y correctivas que deben seguir para evitar efectos a la salud por exposición a la contaminación.

- *Meta*
 - Contar con un Sistema de Vigilancia Epidemiológica permanente y para los episodios críticos de contaminación del aire.

23. *Llevar a cabo estudios de monitoreo microambiental y de exposición a contaminantes.*

- *Objetivo*

Recabar información sobre las concentraciones de contaminantes atmosféricos en diversos microambientes en los que los niveles de contaminación pudieran diferir de las concentraciones ambientales o de fondo, reportadas por las estaciones de las redes de monitoreo.

- *Descripción*

La concentración de los contaminantes atmosféricos y el grado de exposición de la población pueden presentar variaciones espaciales importantes, dependiendo de la presencia de fuentes de contaminación en el sitio donde se encuentren las personas. Es por ello que resulta necesario establecer un programa permanente de monitoreo de contaminantes en microambientes como oficinas, escuelas, casas, en el interior de vehículos en circulación, en banquetas y otros.

Los programas de monitoreo microambiental son una herramienta indispensable para llevar a cabo estudios de riesgo y evaluaciones de la exposición de las poblaciones a los contaminantes atmosféricos. Este tipo de programas son especialmente necesarios para contaminantes que presentan fuertes gradientes de concentración, como el monóxido de carbono, el bióxido de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles. Es importante destacar que los programas de monitoreo microambiental deben considerarse como una herramienta complementaria y no subs-

tituta de la información proporcionada por la red automática de monitoreo. La comparación de mediciones tomadas de manera simultánea por las estaciones fijas de monitoreo y con monitores personales en diversos microambientes permitirá a las autoridades ambientales enriquecer la interpretación de las mediciones de la red automática, proporcionando mayor información a los tomadores de decisiones con respecto a los programas de control de emisiones y de salud ambiental que deben llevarse a cabo.

Los estudios de monitoreo microambiental ofrecen además la oportunidad de contar con una participación activa de investigadores universitarios, miembros de grupos no gubernamentales y ciudadanos comunes, con lo que se propicia una mayor concientización ambiental de los participantes al aprender sobre las causas y los efectos de la contaminación.

- *Meta*
 - Establecer un programa permanente de medición de contaminantes atmosféricos en microambientes, que incluya estudios de evaluación de riesgo por exposición a contaminantes atmosféricos, tanto en grupos de alto riesgo, como en la población en general.

24. *Convenir con las instituciones de investigación la elaboración de estudios para comprender el comportamiento del ozono y las partículas suspendidas en la ZMG.*

- *Objetivo*

Suscribir convenios con instituciones de investigación con el propósito de realizar estudios científicos con información reciente y especializada sobre el comportamiento del ozono y las partículas.

- *Descripción*

Las partículas PM10 y el ozono son los contaminantes que con mayor frecuencia sobrepasan los niveles de las normas y tienen un efecto importante sobre la salud de los habitantes de la ZMG. Sin embargo, los estudios sobre estos contaminantes y sus efectos no son lo suficientemente exhaustivos y requieren de mayor nivel de detalle y profundidad, de una formalidad científica más rigurosa en su planteamiento metodologías y equipos utilizados, así como en el análisis de resultados.

La Semarnap coordinará con el Gobierno del Estado y las instituciones de educación superior, la realización de estudios científicos sobre la formación y comportamiento de los oxidantes fotoquímicos y de las partículas suspendidas emitidas o que se forman en la atmósfera, tomando como base los datos del monitoreo de la calidad del aire de la ZMG. Estos estudios permitirán la identi-

ficación de los factores importantes y de las fuentes contaminantes que participan con mayor intensidad a la degradación de la calidad del aire y con ello, orientar las medidas de reducción en el abatimiento de los índices de contaminación.

- *Meta*
 - Elaborar estudios científicos especiales sobre partículas suspendidas, ozono y sus efectos en la atmósfera y la salud.

25. Impartir cursos sobre la elaboración de inventarios de emisiones y el control de partículas y gases.

- *Objetivo*

Capacitar a personal técnico para la elaboración de inventarios de emisiones y la identificación y aplicación de medidas de control de emisiones de partículas y gases.

- *Descripción*

La Semarnap en coordinación con el Gobierno del Estado y las instituciones de educación superior impartirá cursos de capacitación para técnicos de los diferentes sectores, con el propósito de aprender a utilizar las herramientas para elaborar inventarios de emisiones y capacitarse en las técnicas de prevención y control de las emisiones de partículas y gases.

- *Meta*
 - Realizar dos cursos de capacitación por semestre en la ZMG.

26. Revisar y validar el inventario de emisiones de la ZMG con el propósito de actualizar las emisiones de los sectores industria, servicios, transporte, suelos y vegetación.

- *Objetivo*

Contar con información actualizada, desagregada y confiable del volumen de emisiones de los sectores transporte, industria, servicios, de los suelos y la vegetación.

- *Descripción*

A partir del año 1993 se iniciaron los trabajos sobre recopilación de información para la integración del inventario de emisiones para la industria y el transporte en la Zona Metropolitana de Guadalajara. Este inventario se actualizó y amplió en 1996, incorporando la estimación de las emisiones del sector servicios, comercios y

pendiendo la estimación de las emisiones del sector servicios, comercios y suelos. Debido a las necesidades del flujo de información requerida para el mantenimiento del inventario de emisiones, se contempla la formación de grupos de trabajo delegados por las autoridades federales, gobiernos locales e instituciones de educación superior, para la integración de un inventario de emisiones completo y desagregado, con-

- *Meta*

Complementar y actualizar el inventario de emisiones de la ZMG, presentando una nueva versión en febrero de 1998.

Reforzar la red de monitoreo atmosférico.

-

Reforzar, modernizar y ampliar la cobertura de la ZMG con el propósito de contar con mayor cantidad de datos y con infor-

- *Descripción*

la operación óptima y las necesidades de modernización y crecimiento de la cobertura. Se atenderán las necesidades de equipo de monitoreo meteorológico en tiempo real, que profundizarán en el conocimiento de este aspecto de la contaminación del aire de la región para estar en condiciones de elaborar un pronóstico de calidad del aire, necesidades ambientales de plomo en las partículas y se llevarán a cabo campañas para identificar y cuantificar los niveles de las partículas y de los compuestos orgánicos volátiles y de los compuestos tóxicos en el aire.

Meta

- Se proporcionará a las autoridades locales, el INE proporcionará dos computadoras y una impresora y realizará una auditoría de la red de monitoreo cada 6 meses.
- Se mejorará el sistema de monitoreo.
- Obtener los recursos financieros necesarios y llevar a cabo la modernización.

28. *Establecer un programa permanente de certificación de la calidad de los combustibles de la ZMG.*

- *Objetivo*

Asegurar que la calidad de los combustibles suministrados a la ZMG cumplan con las especificaciones comprometidas con Pemex.

- *Descripción*

La Semarnap gestionará ante Pemex la firma de un convenio con el Gobierno del Estado mediante el cual se garantice el suministro de combustibles limpios que cumplan con la normatividad vigente para la ZMG. El Gobierno del Estado será el encargado de evaluar periódicamente la composición fisicoquímica de los mismos.

- *Meta*

- Contar con un laboratorio especializado y certificado para verificar la calidad de los combustibles.

29. *Diseñar e implantar programas de formación y capacitación en cultura ecológica⁶.*

- *Objetivo*

Fomentar la formación de una cultura ecológica en los sectores sociales y productivos de la ZMG.

- *Descripción*

Los programas de formación de cultura ecológica en la población deberán ser un factor determinante en la actitud del público en general sobre la comprensión de la problemática ambiental que se presenta en la ZMG. En este sentido es importante resaltar que la formación ecológica incidirá de manera directa en la solución de los problemas ambientales, lo cual hará al mismo tiempo menos difícil y más eficiente la aplicación de las medidas contempladas en el *Programa para el Mejoramiento de la Calidad del Aire en la ZMG*.

- *Meta*

- Establecer un programa de formación en cultura ecológica para la población de la ZMG y en particular para los sectores involucrados en la problemática de la calidad del aire.

⁶ La medida 29 ha sido propuesta por diferentes sectores entre los que destacan el industrial y los grupos no gubernamentales de Jalisco. Esta medida también había sido identificada como prioritaria por el Comité Interinstitucional del Programa de Invierno, destacándose la necesidad de contar tanto con medidas de concientización como de educación propiamente dicha.

30. *Crear una Comisión para la prevención y control de la contaminación atmosférica de la zona conurbada de Guadalajara que se encargue de la evaluación y seguimiento del cumplimiento de las acciones del Programa.*

- *Objetivo*

Establecer una Comisión e iniciar un programa para dar seguimiento a las acciones para mejorar la calidad del aire en la ZMG.

- *Descripción*

El establecimiento de una Comisión que dé seguimiento a las acciones del Programa constituirá uno de los puntos importantes en el desarrollo de las mismas, ya que permitirá reorientar, si fuese necesario, las estrategias y medidas en ejecución e identificar otras que se consideren necesarias. Será aún más importante que los logros alcanzados sean evaluados y puestos en perspectiva por todos los sectores participantes en el mismo y en particular por los grupos no gubernamentales.

- *Meta*

- Crear y establecer una Comisión que evalúe los avances registrados en el Programa para el mejoramiento de la calidad del aire.

IV. RECUPERACION ECOLÓGICA

31. *Establecer un programa de reforestación de la ZMG y su área ecológica de influencia.*

- *Objetivo*

Reforestar hasta donde sea conveniente el área urbana, suburbana y urbano-agrícola de la ZMG, con el objetivo de mejorar las condiciones ambientales e incrementar las áreas verdes para la recreación y esparcimiento de la población.

- *Descripción*

Este proyecto contempla la reforestación urbana, suburbana y urbano-agrícola de la ZMG y de las áreas que presentan influencia sobre la misma, tales como el Bosque de la Primavera y el Bosque Centinela. Para este esfuerzo de reforestación se deberán utilizar principalmente especies nativas, considerando cri-

terios ambientales, urbanos, estéticos y funcionales, con las técnicas de plantación y mantenimiento adecuadas a cada área en particular, para garantizar el éxito de las plantaciones.

- *Meta*
 - Incremento de las áreas verdes con las que se mejoren las condiciones ambientales de la ZMG y su área ecológica de influencia.
 - Plantar anualmente 1 millón de árboles durante los años de 1997, 1998 y 1999.
 - Reducción total de 180,000 toneladas de partículas, en 5 años.

32. *Convenir con las instituciones de educación superior de Jalisco la elaboración de estudios de emisiones generadas por los suelos y la vegetación.*

- *Objetivo*

Establecer convenios para elaborar estudios de emisiones originadas por los suelos y la vegetación.

- *Descripción*

En zonas metropolitanas de problemática similar a la ZMG, como lo son la ZMVM y la ZMM, se han realizado estudios de emisiones generadas por los suelos y la vegetación, mismos que han sido elaborados con apoyo de instituciones de enseñanza e investigación locales. De acuerdo con las experiencias logradas en otras regiones del país, la generación de partículas en más del 90% corresponde a los suelos, situación que se puede presentar también en la ZMG. Así mismo, en zonas donde la presencia de vegetación es importante, como lo es la ZMG, las emisiones biogénicas pueden ser de relevancia en la formación de oxidantes fotoquímicos.

Para el caso de la ZMG se contempla convenir con instituciones de educación superior (universidades y tecnológicos), la realización de estudios de generación de partículas e hidrocarburos provenientes de los suelos y la vegetación.

- *Meta*
 - Contar, en diciembre de 1997, con información actualizada sobre las emisiones de partículas e hidrocarburos generados por los suelos y la vegetación.

I. INDUSTRIA LIMPIA: reducción de emisiones en la industria y servicios

Estrategia/Instrumento	Responsables	Avance y desarrollo					Inversion estimada (millones de dólares)		Impacto esperado año 2001 en toneladas de emisiones				
		1997	1998	1999	2000	2001	Pública	Privada	NOx	HC	SO ₂	CO	PST
1. Limitar el asentamiento de nuevas industrias potencialmente contaminantes.	Mpios. conurbados, Coese, Del. Profepa, Del. Semarnap						NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
2. Evaluar la factibilidad de suministrar gasóleo industrial con bajo contenido de azufre.	Pemex						NE	NE	NA	NA	1,650	NA	300
3. Evaluar la factibilidad de suministrar gas LP con bajo contenido de olefinas.	Pemex						NE	NE	NE	NE	NA	NA	NA
4. Ampliar el suministro de gas natural para la industria y como carburante.	Pemex						NE	NE	NE	NE	NA	NE	NA
5. Controlar las emisiones de partículas y bióxido de azufre en industrias altamente contaminantes.	Coese, Del. Profepa, Del. Semarnap						NA	5.1	NA	NA	2,950	NA	1,100
6. Mejorar los procesos de combustión e instalar sistemas de control de combustión en establecimientos industriales y de servicios.	Mpios. conurbados, Coese, Del. Profepa, Del. Semarnap						0.1	1.0	170	NA	NA	NA	NA
7. Formar un grupo de trabajo con el sector industrial para promover la adopción de buenas prácticas ambientales y de esquemas voluntarios de autorregulación.	Coese, Del. Profepa, Del Semarnap.						0.1	0.3	NA	NA	NA	NA	NA



Estudio



Diseño y concertación



Instrumentación

1/2 META I

Estrategia/Instrumento	Responsables	Avance y desarrollo					Inversión Estimada (millones de dólares)		Impacto esperado año 2001 en toneladas de emisiones				
		1997	1998	1999	2000	2001	Pública	Privada	NOx	HC	SO ₂	CO	PST
8. Establecer convenios con la industria para controlar y reducir emisiones de precursores de ozono.	Coese, Del. Profepa, Del Semarnap.						NA	15.3	2,300	2,400	NA	NA	NA
9. Promover la instalación de equipos para la recuperación de vapores en terminales de recibo y distribución de combustibles y gasolinaz.	Sector privado, Coese, Pemex, SHCP, Del. Profepa, Del. Semarnap, INE						NA	3.5	NA	12,200	NA	NA	NA
10. Fortalecer la inspección y vigilancia de establecimientos industriales y de servicios.	Mpios. conurbados, Coese, Del. Profepa						5.0	NA	NA	NA	NA	NA	NA
11. Diseñar un sistema de intercambio de emisiones mediante la coordinación de las autoridades federales y estatales.	Coese, Del. Profepa, Del. Semarnap, INE						0.3	NE	NE	NE	NE	NE	NE

Abreviaturas:

NA = No Aplica
NE = No Estimado

INE = Instituto Nacional de Ecología
Pemex = Petróleos Mexicanos

Del. Semarnap = Delegación Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca

Del. Profepa = Delegación Procuraduría Federal de Protección al Ambiente

Coese = Comisión Estatal de Ecología

SHCP = Secretaría de Hacienda y crédito público

Inversión estimada (millones de dólares)		NOx	HC	SO ₂	CO	PST
Reducción de emisiones (ton/año)		2,470	14,600	4,600	NA	1,400
Pública	Privada	73.0	23.8	81.8	NA	87.0
5.5	25.2	6.6	10.1	56.8	NA	0.5
Reducción respecto al total (%)						

 Estudio

 Diseño y concertación

 Instrumentación

2/2 META I

II. VEHÍCULOS LIMPIOS: disminución de las emisiones por kilómetro

Estrategia/Instrumento	Responsables	Avance y desarrollo					Inversiones estimadas (millones de dólares)		Impacto esperado año 2001 en toneladas de emisiones				
		1997	1998	1999	2000	2001	Pública	Privada	NOx	HC	SO ₂	CO	PST
12. Promover el reordenamiento y la renovación del transporte colectivo con unidades de baja emisión de contaminantes.	Sector privado, Sría. Vialidad y Transporte						NA	90	1,200	2,800	NA	31,300	1,200
13. Promover la reconversión de flotillas de camiones de carga y transporte público de pasajeros a gas natural comprimido, incorporando convertidores catalíticos.	Sector privado, Sría. Vialidad y Transporte, Coese, Pemex						NA	1.0	36	88	NA	950	37
14. Ampliar y modernizar el Programa de Afinación Controlada aplicando la normatividad.	Coese, Del. Semarnap						1.0	22.3	13,400	13,100	NE	142,100	1100
15. Eliminar completamente el suministro de gasolina con plomo.	Pemex						NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
16. Suministrar gasolina Pemex Magna con especificaciones de PVR de 6.5-9.5 lb/pulg ² , 2% en volumen de benceno, 30% en volumen de aromáticos, 12.5% en volumen de olefinas y 1-2% en peso de contenido de oxígeno.	Pemex						NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE

Abreviaturas:

NA = No Aplica

NE = No Estimado

Pemex = Petróleos Mexicanos

Coese = Comisión Estatal de Ecología

Del. Semarnap = Delegación Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca

Inversión estimada (millones de dólares)		NOx	HC	SO ₂	CO	PST
Reducción de emisiones (ton/año)		14,636	15,988	NA	174,350	2,337
Pública	Privada	43.2	19.4	NA	19.5	40.0
1.0	113.3	39.3	11.1	NA	19.4	0.8
Reducción respecto al sector (%)						
Reducción respecto al total (%)						

 Estudio

 Diseño y concertación

 Instrumentación

1/1 META II

III.NUEVO ORDEN URBANO Y TRANSPORTE LIMPIO:regulación del total de kilómetros recorridos por vehículos automotores

Estrategia/Instrumento	Responsables	Avance y desarrollo					Inversiones estimadas (millones de dólares)		Impacto esperado año 2001 en toneladas de emisiones				
		1997	1998	1999	2000	2001	Pública	Privada	NOx	HC	SO ₂	CO	PST
17. Revisar y actualizar el Programa de Contingencias Ambientales.	Coese, Del. Profepa, Del. Semarnap						0.3	NA	NE	NE	NE	NE	NE
18. Gestionar la aplicación de incentivos fiscales y otros instrumentos económicos al uso de tecnologías para el control de emisiones.	Coese, SHCP, Del. Semarnap, INE,						NA	NE	NA	NA	NA	NA	NA
19. Mejorar vialidades, la semaforización, los estacionamientos y evaluar el establecimiento de carriles confinados para el transporte público de superficie.	Mpios. conurbados, Sría.Vialidad y Transporte						0.5	NA	NE	NE	NE	NE	NE
20. Reordenar y modernizar el transporte público de superficie para reducir el uso de vehículos privados y estimular el transporte masivo.	Sría.Vialidad y Transporte						1.0	NA	NE	NE	NE	NE	NE
21. Intensificar los programas de pavimentación de calles y avenidas para reducir las emisiones de partículas.	Mpios. conurbados,						54.0	6.0	NA	NA	NA	NA	2,300
22. Fortalecer el Sistema de Vigilancia Epidemiológica de la ZMG.	Sría. Salud de Jalisco, SSA						1.0	NA	NA	NA	NA	NA	NA
23. Llevar a cabo estudios de monitoreo microambiental y de exposición a contaminantes.	Coese, SSA, INE						1.5	NA	NA	NA	NA	NA	NA

 Estudio

 Diseño y concertación

 Instrumentación

1/2 META III

Estrategia/Instrumento	Responsables	Avance y desarrollo					Inversiones estimadas (millones de dólares)		Impacto esperado año 2001 en toneladas de emisiones				
		1997	1998	1999	2000	2001	Pública	Privada	NOx	HC	SO ₂	CO	PST
24. Convenir con las instituciones de investigación la elaboración de estudios para comprender el comportamiento del ozono y las partículas suspendidas en la ZMG.	Universidades, Coese, Del. Semarnap, INE						2.0	NA	NA	NA	NA	NA	NA
25. Impartir cursos sobre la elaboración de inventarios de emisiones y el control de partículas y gases.	Del. Semarnap, INE						0.5	1.0	NA	NA	NA	NA	NA
26. Revisar y validar el inventario de emisiones de la ZMG con el propósito de actualizar las emisiones de los sectores industria, servicios, transporte, suelos y vegetación.	Mpios. conurbados, Coese, Del. Profepa, Del. Semarnap						2.0	NA	NA	NA	NA	NA	NA
27. Reforzar la red de monitoreo atmosférico.	Coese.						2.0	NA	NA	NA	NA	NA	NA
28. Establecer un programa permanente de certificación de la calidad de los combustibles de la ZMG.	Coese, Pemex						1.0	NA	NA	NA	NA	NA	NA
29. Diseñar e implantar programas de formación y capacitación en cultura ecológica.	Coese, Del. Semarnap,						1.0	NA	NA	NA	NA	NA	NA
30. Crear una Comisión para la prevención y control de la contaminación atmosférica de la zona conurbada de Guadalajara que se encargue de la evaluación y seguimiento del cumplimiento de las acciones del Programa.	Coese						NE	NE	NA	NA	NA	NA	NA

Abreviaturas:

NA = No Aplica
NE = No Estimado

Del. Semarnap= Delegación de la Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca
SSA = Secretaría de Salud

Coese = Comisión Estatal de Ecología

SHCP = Secretaría de Hacienda y Crédito Publico

INE = Instituto Nacional de Ecología
Pemex = Petróleos Mexicanos

Del. Profepa = Delegación de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente

Inversión estimada (millones de dólares)	
Pública	Privada
66.8	7.0

	NOx	HC	SO ₂	CO	PST
Reducción de emisiones (ton/año)	NE	NE	NE	NE	2,300
Reducción respecto al sector (%)	NE	NE	NE	NE	0.8
Reducción respecto al total (%)	NE	NE	NE	NE	0.8

 Estudio

 Diseño y concertación

 Instrumentación

2/2 META III

IV. RECUPERACIÓN ECOLÓGICA: abatimiento de la erosión

Estrategia/Instrumento	Responsables	Avance y desarrollo					Inversión estimada (millones de dólares)		Impacto esperado año 2001 en toneladas de emisiones				
		1997	1998	1999	2000	2001	Públicos	Privados	NO _x	HC	SO ₂	CO	PST
31. Establecer un programa de reforestación de la ZMG y su área ecológica de influencia.	Sría. Desarrollo Rural , Del. Semarnap						3.0	NA	NE	NE	NE	NE	180,000
32. Convenir con las instituciones de educación superior de Jalisco la elaboración de estudios de emisiones generadas por los suelos y la vegetación.	Coese, Del. Semarnap						0.2	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Abreviaturas:

NA = No Aplica
NE = No Estimado

Coese = Comisión Estatal de Ecología

Del. Semarnap = Delegación de la Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca

Inversión estimada (millones de dólares)		NO _x	HC	SO ₂	CO	PST
		NE	NE	NE	NE	180,000
Pública	Privada	NE	NE	NE	NE	60.7
3.2	NA	NE	NE	NE	NE	53.0

Cuadro Resumen

Reducción total de emisiones debido al programa

	Inversión estimada (millones de dólares)	
	Públicos	Privados
Industria	5.5	25.2
Vehículos	1.0	113.3
Nuevo orden	66.8	7.0
Recuperación ecológica	3.2	NA
Total	76.5	145.5

(ton/año)	NO _x	HC	SO ₂	CO	PST
Industria	2,470	14,600	4,600	NA	1,400
Vehículos	14,636	15,988	NA	174,350	2,337
Nuevo orden	NE	NE	NE	NE	2,300
Recuperación ecológica	NA	NA	NA	NA	180,000
Total (ton/año)	17,106	30,588	4,600	174,350	186,937
Total (%)	46.0	21.3	56.9	19.4	61.9

 Estudio

 Diseño y concertación

 Instrumentación

1/1 META IV

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

Akland, G.G., Hartwell, T.D., Johnson, T.R. y Whitmore, R.W. (1985). *Measuring Human Exposure to Carbon Monoxide in Washington D.C. and Denver, Colorado*. Environ. Sci. Technol., 19, 911-918.

Alvarado, R. D. (1989). *Declinación y Muerte del Bosque de Oyamel (Abies religiosa) en el Sur del Valle de México*. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados, Universidad Autónoma de Chapingo. Montecillo, Estado de México.

Allred, E.N., Bleecker, E.R., Dahms, T.E., Gottlieb, S.O., Hackney, J.D., Pagano, M., Selvester, R.H., Walden, S.M. y Warren, J. (1989). *Short-Term Effects of Carbon Monoxide Exposure on the Exercise Performance of Subjects With Coronary Artery Disease*. N. Engl. J. Med., 321, 1426-1432.

Anderson, E., Andelman, R., Strauch, J., Fortuin, N. y Knelson, J. (1973). *Effects of Low Level Carbon Monoxide Exposure on Onset and Duration of Angina Pectoris: A Study on 10 Patients with Ischemic Heart Disease*. Ann. Intern. Med., 79, 46-50.

Avol, E.L., Linn, W.S., Shamoo, D.A., Spier, C.E., Valencia, L.M., Venet, T.G., Tim, S.C. y Hackney, J.D. (1987). *Short-Term Respiratory Effects of Photochemical Oxidants Exposure in Exercising Children*. J. Air Pollut. Control Assoc., 37, 158-162.

Banerjee, A. y Hendry, D. F. (1992). *Testing Integration and Cointegration: An Overview*. Oxford Bulletin of Economics and Statistics, 54, 225-256.

Banerjee, A., Dolado, J., Galbraith, J. y Hendry, D.F. (1993). *Cointegration, Error-Correction, and the Econometric Analysis of Non-Stationary Data*. Oxford University Press. Nueva York, N.Y., EUA.

Bauer, L.I. de, Hernández, T. T. y Maning, W. J. (1985). *Ozone Causes Needle Injury and Tree Decline in Pinus Hartwegii at High Altitudes in the Mountains around Mexico City*. J. Air Pollut. Control Assoc., 35, (8), 388.

Birk, M.L. y Zegras, P.C. (1993). *Moving Toward Integrated Transport Planning: Energy, Environment and Mobility in Four Asian Cities*. Institute for Energy Conservation. Washington, D. C., EUA.

Calvert, J. G., Heywood, J. B., Sawyer, R.F. y Seinfeld, J.H. (1993). *Achieving Acceptable Air Quality: Some Reflections on Controlling Vehicle Emissions*. Science, 261, 37-45.

Cicero Fernández, P. (1995). *Análisis Exploratorio de la Influencia Meteorológica en las Tendencias del Ozono en la Zona Metropolitana del Valle de México*. México, D.F.

Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en el Valle de México (1993). *Partículas Suspendidas: Situación Actual en la Zona Metropolitana del Valle de México*. Secretaría de Desarrollo Social, Departamento del Distrito Federal y Gobierno del Estado de México. México, D.F.

Cuthbertson, K., Hall, S. G. y Taylor, M.P. (1992). *Applied Econometric Techniques*. Harvester Wheatsheaf. Londres, Inglaterra.

DDF (1990). *Programa Integral contra la Contaminación Atmosférica en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*, octubre, 1990. Departamento del Distrito Federal. México, D. F.

DDF e IMP (1994). *Estudio para la Determinación de Factores de Emisiones Evaporativas en Vehículos Automotores Representativos de la ZMCM*. Departamento del Distrito Federal e Instituto Mexicano del Petróleo. México, D.F.

DDF, Estado de México, Semarnap y Secretaría de Salud (1996). *Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000*. Departamento del Distrito Federal, Gobierno del Estado de México, Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca y Secretaría de Salud, México D.F.

Departamento de Geografía de la Universidad de Lancaster, Inglaterra, citado por Marcia Lowe (1994). *Reinventing Transport*. En: Worldwatch Institute. State of the World. W.W. Norton & Company.

Diario Oficial de la Federación (1994). *NOM-020-SSA1-1993*, viernes 23 de diciembre de 1994. México, D.F.

Diario Oficial de la Federación (1994). *NOM-021-SSA1-1993*, viernes 23 de diciembre de 1994. México, D.F.

Diario Oficial de la Federación (1994), *NOM-022-SSA1-1993*. viernes 23 de diciembre de 1994. México, D.F.

Diario Oficial de la Federación (1994). *NOM-023-SSA1-1993*, viernes 23 de diciembre de 1994. México, D.F.

Diario Oficial de la Federación (1994). *NOM-024-SSA1-1993*, viernes 23 de diciembre de 1994. México, D.F.

Bibliografía

Diario Oficial de la Federación (1994). *NOM-025-SSA1-1993*, viernes 23 de diciembre de 1994. México, D.F.

Diario Oficial de la Federación (1994). *NOM-026-SSA1-1993*, viernes 23 de diciembre de 1994. México, D.F.

Diario Oficial de la Federación (1994). *NOM-086-ECOL-1994*, viernes 2 de diciembre de 1994. México, D.F.

Dickey, D. A. y W. A. Fuller (1981). *Likehood Ratio Statistics for Autoregressive Time Series With a Unit Root*. *Econometría*, 49, 1057-1072.

Environmental Criteria and Assessment Office (1992). *Air Quality Criteria for Carbon Monoxide*. U.S. Environmental Protection Agency. Research Triangle Park, N.C., EUA.

Espinosa Rubio, M. y Babcock L. (1987). *Impact of Mobile-Source Diesel Emissions on Air Quality in Mexico City: A Beginning*. Presentado en la 80th. Annual Meeting of the Air Pollution Control Association. Nueva York, N.Y., EUA.

Federal Highway Administration (1992). *1990 Nationwide Personal Transportation Survey: Summary of Travel Trends*. Department of Transportation. Washington, D.C., EUA.

Fernández Bremauntz, A.A. (1993). *Commuters Exposure to Carbon Monoxide in the Metropolitan Area of Mexico City*. Tesis de Doctorado, Universidad de Londres. Londres, Inglaterra.

Fernández Bremauntz, A.A. y Ashmore, M.R. (1995). *Exposure of Commuters to CO in Mexico City. I. Measurement of In-Vehicle Concentrations*. *Atmospheric Environment*, 29, (4), 525-532.

Fernández Bremauntz, A.A., Ashmore, M.R. y Merritt, J.Q. (1993). *A Survey of Street Sellers' Exposure to Carbon Monoxide in Mexico City*. *J. Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 3, (Supplement 1), 23-35.

Folinsbee, L.J., McDonnell, W.F. y Horstman, D.H. (1988). *Pulmonary Function and Symptom Responses after 6-hour Exposure to 0.12 ppm Ozone with Moderate Exercise*. *J. Air Pollut. Control Assoc.*, 38, 28-35.

Hardin, G. (1973). *The Tragedy of the Commons*. Reimpreso en: H. Daly (ed.) *Toward a Steady-State Economy*. Freeman. San Francisco, California, EUA.

Hartwell, T. D., Clayton, C.A., Michie, R.M., Whitmore, R.W., Zelon, H.S., Whitehurst, D.A. y Akland, G.G. (1984). *Study of Carbon Monoxide Exposure of Residents of Washington, D.C.* Presentado en la 77ava. Reunión Anual de la Air Pollution Control Association. San Francisco, California, EUA.

Harvey, A. C. (1993). *Time Series Models*. Harvester Wheatsheaf. Londres, Inglaterra.

Hernández, T. T. y Bauer, L. I. (1984). *Evolución del Daño por Gases Oxidantes en Pinus Hartwegii y Pinus Montezumae var. Lindleyi en el Ajusco, D. F.* *Agrociencia*, 56, 183-194.

Hernández, T. T. y Bauer, L. I. (1986). *Photochemical Oxidant Damage on Pinus Hartwegii at the Desierto de los Leones, D. F.* *Phytopathology*, 76, 377.

Horstman, D.H., McDonnell, W.F., Abdul-Salaam, S., Folinsbee, L.J. e Ives, P.J. (1988). *Current US EPA Research Concerning More Prolonged Human Exposures to Low Ozone Concentrations*. Presentado en la 81a. Reunión Anual de la Air Pollution Control Association. Dallas, Texas, EUA.

IMP (1994). *Mexico City Air Quality Research Initiative. Vol. IV: Characterization and Measurement*. En: Estudio Global de la Calidad del Aire. Instituto Mexicano del Petróleo. México, D.F.

Johnson, T.R. (1984). *Study of Personal Exposure to Carbon Monoxide in Denver, Colorado*. Presentado en la 77a. Reunión Anual de la Air Pollution Control Association. San Francisco, California, EUA.

Komanoff, Ch. (1996). *Pollution Taxes for Roadway Transportation*. *Pace Environmental Law Review*, (en preparación). Pace University, Nueva York, N.Y. EUA.

Linn, W.S., Avol, E.L., Shamoo, D.A., Spier, C.E., Valencia, L.M., Venet, T.G., Fisher, D.A. y Hackney, J.D. (1986). *A Dose-Response Study of Healthy, Heavily Exercising Men Exposed to Ozone at Concentrations near the Ambient Air Quality Standard*. *Toxicol. Ind. Health* 2, 99-112.

Margulis, S. (1992). *Back-of-the-Envelope Estimates of Environmental Damage Costs in Mexico. Report Number WPS824*. World Bank. Washington, D.C., EUA.

National Air Pollution Control Administration (1970). *Air Quality Criteria For Sulfur Oxides, AP-50*. Department of Health, Environment and Welfare. Washington, D.C., EUA.

OECD (1994). *Report on Urban Travel*. Organization for Economic Cooperation and Development. Bruselas, Bélgica.

Bibliografía

Office of Research & Development (1993). *Air Quality Criteria for Ozone and Related Photochemical Oxidants*. U.S. Environmental Protection Agency. Washington, D.C., EUA.

Office of Research and Development (1986). *Second Addendum to Air Quality Criteria for Particulate Matter and Sulfur Oxides (1982)*. U.S. Environmental Protection Agency. Research Triangle Park, N.C., EUA.

Quadri de la Torre, G. y Sánchez Cataño, L. (1992). *La Ciudad de México y la Contaminación Atmosférica*. Limusa Noriega Editores, México, D. F.

Riveros, H., Tejeda, J., Ortiz, L., Julián-Sánchez, A. y Riveros Rosas, H. (1995). *Hydrocarbons and Carbon Monoxide in the Atmosphere of Mexico City*, J. Air and Waste Management Assoc., 45, 973-980.

Romieu, I. (1992). *Epidemiological Studies of Health Effects of Air Pollution due to Motor Vehicles*. En: Mage, D. y Zali, O. (eds.). *Motor Vehicle Air Pollution. Public Health Impact and Control Measures*. World Health Organization. Ginebra, Suiza.

Schmidt, P. y Phillips, P.C.B. (1992). *LM Test for a Unit Root in the Presence of Deterministic Tendencia*. Oxford Bulletin of Economics and Statistics, 54, 257-288.

Spanos A. (1986). *Statistical Foundations of Econometric Modelling*. Cambridge University Press. Cambridge, Inglaterra.

Stoker, H.S. y Seager L.S. (1981). *Química Ambiental*. Ed. Blume. Barcelona, España.

Wallace, L. (1990). *Major Source of Exposure to Benzene and Other Volatile Organic Chemicals*. Risk Analysis, 10, (1), 59-159.

World Health Organization (1989). *Formaldehyde. Environmental Health Criteria No. 89*. World Health Organization. Ginebra, Suiza.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Aerosol. Suspensión coloidal de partículas de líquidos o sólidos en el aire. También se ha dado este nombre a algunos productos que se aplican por aspersion y que se usan como propelentes, ejemplo: hidrocarburos clorados como el "freón". También se define como la mezcla de partículas de diámetro inferior a 3 micrómetros (micras) en suspensión en el aire.

Aerobiológico. Microorganismos que viven suspendidos en el aire.

Aire ambiente. Atmósfera en espacio abierto.

Afinación. Conjunto de acciones para el mantenimiento mecánico - automotriz necesarias para el funcionamiento óptimo del sistema de combustión en vehículos de combustión interna.

Aforo. Medición del número y tipo de vehículos que transitan en un punto dado de una vialidad durante un tiempo dado.

Alérgeno. Sustancia habitualmente extraña al organismo que, al ingresar a éste, es capaz de inducir daños en el sistema inmunológico del mismo o provocar cambios en la síntesis bioquímica de los nutrientes o introducir una nueva sustancia capaz de anular o interferir específicamente en sus características químicas.

Ambiente. Conjunto de elementos físicos, químicos y biológicos (naturales o artificiales, inducidos por el hombre), que propician la existencia, transformación y desarrollo de los organismos.

Anaerobio. Condición ambiental referente a la vida o los procesos vitales que ocurren en ausencia de oxígeno o a una baja presión parcial de éste.

Antropogénico. Relativo al hombre; de origen humano. Se puede aplicar a las concepciones excesivamente centradas en la problemática humana, olvidándose de los efectos, problemas y daños que causan al ambiente.

Aromáticos, compuestos. Familia de hidrocarburos de tipo cíclico, de fórmula general $C_6H_{6-n}X_n$. Se caracterizan por formar una cadena cíclica cerrada en forma hexagonal denominada anillo bencénico y poseer en su estructura tres dobles ligaduras. Estos compuestos, al igual que algunos hidrocarburos parafínicos, se consideran compuestos tóxicos principalmente por su nula solubilidad en el agua, por su larga permanencia en el ambiente y su difícil biodegradación.

Atmósfera. Capa de aire que circunda la tierra y que se extiende alrededor de 100 kilómetros por encima de la superficie terrestre. Esta estructura física está formada por una mezcla de 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno y 1% de varios gases; como el argón, el neón, el dióxido de carbono y vapor de agua entre otros compuestos inorgánicos.

Autorregulación. Establecimiento de medidas voluntarias encaminadas a un mejor desempeño ambiental de la industria, dónde se alcanzan o se aceptan estándares de cumplimiento menores a la normas ambientales obligatorias.

Balance energético. Cantidad de energía distribuida o consumida por los diferentes sectores productivos, de servicios y de transportes.

Benceno. Compuesto más sencillo de los hidrocarburos olefínicos conformado en una cadena cíclica cerrada.

Bióxido de carbono (CO₂): Gas inorgánico compuesto por dos moléculas de oxígeno y una de carbono. Este gas no tiene color, olor ni sabor; y se produce por la respiración de los seres vivos, y cuando se queman combustibles fósiles.

Butano. Hidrocarburo parafínico saturado compuesto de cuatro átomos de carbono y diez de hidrógeno.

Caldera. Equipo industrial sujeto a presión que se utiliza para generar vapor.

Calidad ambiental. Conjunto de condiciones físicas, químicas y biológicas naturales del ambiente que no han sido alteradas.

Calidad de combustibles. Especificaciones técnicas de las características físicas y químicas de los combustibles. Que definen el potencial contaminante del mismo.

Calidad del aire. Condición de las concentraciones de los contaminantes en el aire ambiente que indican alteración en los niveles naturales aceptables.

Carcinogénico. Agente químico, físico o biológico capaz de provocar crecimiento anormal, desordenado y potencialmente ilimitado de las células de un tejido u órgano.

Cefalea. Dolor de cabeza.

Clima. Conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera de un lugar de la tierra, en un período mínimo de diez años y lo constituyen principalmente, la temperatura, el régimen de lluvias, el régimen

estacional y otros factores como son los vientos dominantes, la humedad relativa, la insolación, la presión atmosférica y la nubosidad.

Ciclones. Dispositivo de control de partículas que funciona mediante fuerzas inerciales y gravitacionales.

Combustibles fósiles. Compuestos inorgánicos como el carbón mineral, el petróleo y el gas, así llamados por ser productos derivados de los restos de plantas y animales que vivieron en la tierra en épocas anteriores a la aparición del hombre sobre nuestro planeta.

Combustibles limpios. Compuestos inorgánicos utilizados como combustibles y que contienen un porcentaje de azufre menor al 2% en peso o que originan emisiones despreciables de contaminantes al ambiente. (Por ejemplo: gas natural comprimido, metanol, etanol, gas licuado de petróleo, etc).

Combustión. Proceso de oxidación rápida de materiales inorgánicos acompañados de liberación de energía en forma de calor y luz.

Combustión incompleta. Oxidación insuficiente que ocurre cuando el oxígeno o el tiempo disponible en el proceso resultan inferiores a lo necesario, produciendo monóxido de carbono (CO), gas conocido por su toxicidad para los seres vivos.

Concentración. Cantidad relativa de una sustancia específica mezclada con otra sustancia generalmente más grande. Por ejemplo: 5 partes por millón de monóxido de carbono en el aire. También se puede expresar como el peso del material en proporción menor que se encuentra dentro de un volumen de aire o gas; esto es, en miligramos del contaminante por cada metro cúbico de aire.

Contaminación. Presencia de materia o energía cuya naturaleza, ubicación o cantidad produce efectos ambientales indeseables. En otros términos, es la alteración hecha o inducida por el hombre a la integridad física, biológica, química y radiológica del medio ambiente.

Contaminante. Sustancia o elemento que al incorporarse y actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento del ambiente altera o modifica su composición, afecta la salud o impide su utilización como recurso.

Contaminante del aire.- Sustancia en el aire que, en alta concentración, puede dañar al hombre, animales, vegetales o materiales. Puede incluir casi cualquier compuesto natural o artificial susceptible de ser transportado por el aire. Estos contaminantes se encuentran en forma de partículas sólidas, y líquidas, gases o combinados. Generalmente se clasifican en los compuestos emitidos directamente por la fuente contaminante o contaminantes primarios y los compuestos

producidos en el aire por la interacción de dos o más contaminantes primarios o por la reacción con los compuestos naturales encontrados en la atmósfera.

Contaminantes criterio. Condiciones de concentración para ciertos contaminantes conocidos como peligrosos para la salud humana presentes en el aire y que constituyen los principales parámetros de la calidad del aire. En el ámbito internacional se reconocen siete contaminantes criterio: ozono, monóxido de carbono, partículas suspendidas totales y fracción respirable, bióxido de azufre, bióxido de nitrógeno y plomo.

Contingencia ambiental. Situación de riesgo por la presencia de altas concentraciones de contaminantes criterio en el aire, derivada de actividades humanas o fenómenos naturales, que pueden poner en peligro la salud de la población, así como afectar a los ecosistemas.

Control de emisiones. Conjunto de medidas tendentes a provocar la reducción en las emisiones de contaminantes al aire.

Convertidor catalítico. Artefacto para abatir la contaminación del aire que remueve contaminantes como hidrocarburos, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno de los gases de escape de los automóviles, ya sea convirtiéndolos por oxidación en bióxido de carbono y agua o reduciéndolos a nitrógeno y oxígeno.

Criterios ambientales. Factores descriptivos tomados en cuenta para el establecimiento de estándares ambientales para varios contaminantes. Esos factores sirven para determinar los límites máximos en los niveles de concentración permitidos, y limitar el número de excedencias anuales al respecto.

Criterios de salud ambiental. Resúmenes críticos del conocimiento existente expresado, hasta donde sea posible, en términos cuantitativos sobre efectos identificables inmediatos y a largo plazo en la salud y el bienestar humano, que pueden esperarse por la presencia de sustancias en el aire, agua, suelo, alimentos, productos para el consumo y ambiente laboral; o por factores como el ruido, la radiación ionizante y no ionizante, el calor radiante y la luminosidad.

Cuenca atmosférica. Espacio físico diferenciado en el que se encuentra confinada la capa de la atmósfera más inmediata a su superficie interior y delimitada por un patrón meteorológico de pequeña a mediana escala y uniforme en ella.

Deterioro ambiental. Alteración que sufren uno o varios elementos que conforman los ecosistemas, provocada por la presencia de un elemento ajeno a las características y la dinámica propias de los mismos.

Disnea. Dificultad para respirar.

Disfonía. Dificultad para oír.

Dispersión. Fenómeno que determina la magnitud de la concentración resultante y el área de impacto, en el cual los contaminantes se van a dispersar y diluir según las condiciones meteorológicas y geográficas del lugar donde fueron liberados o generados.

Dosis. Cantidad de sustancia administrada a un organismo que puede producir un efecto.

Ecosistema. Unidad estructural funcional y de organización básica de interacción de los organismos entre sí y con el ambiente, en un espacio determinado.

Efecto sistémico. Resultado de la interacción de un contaminante y un organismo, siendo de naturaleza generalizada, que ocurre en un lugar distante del punto de entrada de una sustancia. Un efecto sistémico requiere absorción y distribución de la sustancia en el cuerpo.

Efecto sinérgico. Resultado combinado de dos sustancias actuando sobre un ser vivo, y que es mucho más grande que el efecto producido por la suma de los efectos individuales cuando se administran separadamente.

Eficiencia térmica. Capacidad o desempeño del equipo de combustión para aprovechar la energía del combustible expresada en calor.

Emisión. Descarga de contaminantes a la atmósfera provenientes de chimeneas y otros conductos de escape de las áreas industriales, comerciales y residenciales, así como de los vehículos automotores, locomotoras o escapes de aeronaves y barcos.

Energía. Capacidad de un sistema para desarrollar trabajo.

Epidemiología. Estudio de la distribución de enfermedades o de otros estados de la salud y eventos en poblaciones humanas relacionados con edad, género, ocupación, etnia y estado económico, con el fin de identificar y combatir problemas de la salud y promover la buena salud.

Equipo de medición. Conjunto de dispositivos o instrumentos necesarios para medir la concentración de un contaminante presente en un flujo de gas.

Erosión. Destrucción y eliminación de ciertas características físicas, químicas o biológicas presentes en un suelo. Los factores que acentúan la erosión del suelo son: el clima, la precipitación (lluvia, nieve, etc.), la velocidad del viento, la topografía, el grado y la longitud del declive, las características físico-químicas

del suelo original, la cubierta vegetal, su naturaleza y el grado de cobertura, los fenómenos naturales como terremotos y factores humanos, por ejemplo la tala indiscriminada, la quema subsecuente, el pastoreo con exceso, la remoción de capas orgánicas fundamentales, etc.

Estabilidad atmosférica. Condición meteorológica directamente influida por la velocidad del viento y de sus movimientos ascendentes y descendentes, que muestra los movimientos convectivos y advectivos del aire.

Estación de monitoreo. Conjunto de elementos técnicos diseñados para medir la concentración de contaminantes en el aire en forma simultánea, con el fin de evaluar la calidad del aire en un área determinada.

Estaciones de servicio. Establecimientos donde se expenden al público gasolineras, lubricantes y combustibles automotrices.

Estructura urbana. Conjunto de obras que constituyen la infraestructura física para el funcionamiento de ciudades, como son la vialidad, agua potable, alcantarillado, energía eléctrica, alumbrado, señalización, teléfonos, entre otros.

Exposición. Procesos por los cuales una sustancia con propiedades tóxicas se introduce o es absorbida por un organismo por cualquier vía.

Factor de emisión. Relación entre la cantidad de contaminación producida y la cantidad de materias primas procesadas o energía consumida. Por ejemplo: un factor de emisión para una siderúrgica con procesos de altos hornos para producir hierro puede ser el número de kilogramos de partículas emitidas por cada tonelada de materia prima procesada.

Fisiografía. Parte de la geología que estudia la formación y evolución del relieve terrestre y los procesos y resultados que determinan su transformación.

Fotoreactividad. Característica de algunos contaminantes del aire que experimentan o sufren cambios en su composición al reaccionar entre sí o con otros constituyentes del aire en presencia de la luz solar.

Fracción respirable. Partículas cuyo tamaño es menor a 10 micrómetros y pueden introducirse sin ningún obstáculo al interior del sistema pulmonar hasta los alveólos.

Fuente fija. En el lenguaje usado en torno a la contaminación del aire, se define como punto fijo de emisión de contaminantes en grandes cantidades, generalmente de origen industrial.

Fuente móvil. Cualquier máquina, aparato o dispositivo emisor de contaminantes a la atmósfera, al agua y al suelo que no tiene un lugar fijo. Se consideran fuentes móviles todos los vehículos como automóviles, barcos, aviones, etc.

Gas natural. Mezcla de gases usada como combustible. Se obtiene de ciertas formaciones geológicas subterráneas. El gas natural es la mezcla de hidrocarburos de bajo peso molecular como el propano, metano, butano y otros.

Gradiente de temperatura. Perfil en la diferencia de magnitudes para los valores hacia arriba o hacia abajo de una temperatura dada con respecto a una temperatura de referencia o a una distancia descrita verticalmente.

Gestión ambiental. Procedimientos de administración mediante la fijación de metas, planificación, asignación de recursos, aplicación de mecanismos jurídicos, etcétera, sobre las actividades humanas que influyen sobre el medio.

Hidrocarburos. Compuestos orgánicos que contienen carbono e hidrógeno en combinaciones muy variadas. Se encuentran especialmente en los combustibles fósiles. Algunos de estos compuestos son contaminantes peligrosos del aire por ser carcinógenos; otros son importantes por su participación en la formación del ozono a nivel del aire urbano.

Incentivos económicos. Instrumentos de apoyo financiero que son aplicados en la política ambiental y cuyo propósito es modificar las conductas predominantes de producción y consumo en beneficio del medio ambiente.

Incineración. Proceso de oxidación vigorosa y de manera controlada por el cual los desechos sólidos, líquidos o gaseosos son quemados y convertidos en compuestos inertes como cenizas, bióxido de carbono y agua.

Incinerador. Aparato diseñado especialmente para la combustión de desperdicios sólidos, líquidos o gaseosos, mediante el manejo apropiado de la temperatura, el tiempo de retención, la turbulencia y el aire de combustión.

Industria. Conjunto de operaciones materiales ejecutadas para la obtención de uno o varios productos a partir de la transformación de los recursos naturales.

Ingeniería de tránsito. Actividades de planificación de vialidades urbanas, semaforización y señalamientos, entre otras, encaminadas a obtener el funcionamiento óptimo de la estructura vial de una ciudad.

Inventario desagregado. Sistema de base de datos y cálculos matemáticos para la identificación y la cuantificación de las emisiones atmosféricas que generan

los integrantes de los diferentes sectores, como son la industria, vehículos, incendios, entre otros.

Inventario de emisiones. Un listado, por fuente, de la cantidad de contaminantes del aire descargados en la atmósfera de una comunidad; se utiliza para establecer estándares de emisión.

Inversión térmica. Condición atmosférica en la cual una capa de aire frío es atrapada debajo de una capa de aire caliente, de tal manera que impide el movimiento natural de convección del aire. Este evento hace que los contaminantes presentes dentro de la capa atrapada, sean difundidos horizontalmente en lugar de verticalmente, y su concentración aumente a un nivel muy alto al encontrar reducida la capacidad de dilución y la entrada continua de emisiones.

Kilocalorías. Unidad de medida que representa la cantidad de calor requerida para elevar la temperatura de un litro de agua en un grado Celsius o centígrado.

Medio físico urbano. Conjunto de elementos físico naturales (territorio y clima) y todo el conjunto de obras y estructuras realizadas por la sociedad que conforma el espacio geográfico de un medio urbano, considerando los aspectos cuantitativos y cualitativos de dichos elementos.

Metano. Hidrocarburo gaseoso, inflamable e incoloro. Este gas se encuentra presente en forma natural en cavernas profundas y minas. También es emitido por los procesos de descomposición anaeróbica de materia orgánica y en los pantanos.

Metales pesados. Todos los metales con una densidad elemental superior a 4.5 kilogramos por litro y que son metabolizados y eliminados deficientemente por los organismos, causando diversos impactos tóxicos.

Meteorología. Estudio de los fenómenos físicos y energéticos que se producen en la atmósfera.

Metrópoli. Ciudad principal de un país, estado o región. La palabra proviene del griego "*mater*" que significa madre y "*polis*" que significa ciudad, esto es la ciudad madre. Por lo general se utiliza también para denominar una gran ciudad.

Monitoreo. Supervisión o comprobación periódica o continua, para determinar el grado de cumplimiento de requerimientos establecidos sobre niveles de contaminación en varios medios bióticos.

Monitoreo microambiental. Monitoreo de los niveles de contaminación en un área limitada del ambiente que refleja las condiciones ambientales particulares de la misma.

Monóxido de carbono (CO). Gas venenoso, incoloro e inodoro, producido por la oxidación incompleta de combustibles de origen fósil.

Morbilidad. Cualquier desviación, subjetiva u objetiva, de un estado de bienestar fisiológico o psicológico. En este sentido, el malestar, la enfermedad y la condición de morbilidad se definen de manera similar y según la Organización Mundial de la Salud, puede medirse en tres términos: personas enfermas, enfermedad y duración.

Mutagénico. Agente capaz de provocar cambios en la estructura genética de un organismo.

NOM-ECOL-086-94. Norma Oficial Mexicana que indica las especificaciones sobre protección ambiental que deben reunir los combustibles fósiles, líquidos y gaseosos que se usan en fuentes fijas y móviles.

Norma de calidad ambiental. Dato numérico adoptado para usarse como marco de referencia, con el cual se comparan las mediciones ambientales con el propósito de interpretarlas.

Olefinas. Hidrocarburos, también denominados alquenos, con una doble ligadura entre dos átomos de carbono y de bajo peso molecular, que se caracterizan por presentar propiedades físicas tales como alta volatilidad y reactividad atmosférica.

Ordenamiento ecológico. Proceso de planeación dirigido a evaluar y programar el uso del suelo y el manejo de los recursos naturales en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción para preservar y restaurar el equilibrio ecológico y proteger el ambiente.

Oxidantes fotoquímicos. Contaminantes formados por la acción de la luz solar sobre los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos reactivos en el aire.

Parámetro. Cantidad medida o ponderada sobre un indicador ambiental.

Parque vehicular. Cantidad de vehículos automotores que circulan en un asentamiento humano.

PM10. Estándar para la medición de la concentración de partículas sólidas o líquidas suspendidas en la atmósfera cuyo diámetro es igual o inferior a 10 micrómetros y que dictan el comportamiento de las partículas dentro de los pulmones: las partículas más pequeñas PM10 penetran a las partes más profundas del pulmón, por estudios clínicos y epidemiológicos se les ha encontrado ser la causa que afecta a grupos de población sensibles tales como niños e individuos con enfermedades respiratorias.

Poder calórico. Capacidad de un energético para producir calor, expresado en calorías por unidad de peso ó volumen. Por ejemplo, en unidades métricas, se puede expresar como Kilocalorías por litro o en unidades de medición inglesa, como BTU/ barril.

Precipitación ácida. Tipo de lluvia dañina que ocurre cuando ciertos contaminantes como el bióxido de azufre o los óxidos de nitrógeno reaccionan con la humedad de la atmósfera para formar sus ácidos respectivos disueltos en el agua precipitada como lluvia. También puede ser nieve ácida, rocío ácido, etc.

Precipitador electrostático. Dispositivo de control de partículas que funciona a través de procesos de carga electrostática y atracción eléctrica.

Presión de vapor. Característica de los compuestos químicos con tendencia a volatilizarse que en fase vapor ejerce una presión sobre el medio que lo rodea.

Protección ambiental. Conjunto de políticas y medidas aplicadas para preservar y mejorar el ambiente, prevenir y controlar su deterioro.

Radiación. Propagación de energía, ya sea en forma de partículas veloces o de ondas, a través de la materia y el espacio.

Radiación infrarroja. Radiación electromagnética con longitudes de onda mayores a las de la luz visible.

Radiación ultravioleta. Radiación electromagnética con longitudes de onda menores a aquellas de la luz visible, pero mayores a los rayos X.

Reactividad. Capacidad de un elemento o sustancia de interactuar químicamente con otras sustancias, liberando energía y otros productos.

Recuperador de vapor. Dispositivo utilizado en las estaciones de servicio, mediante el cual se controlan las emisiones evaporativas generadas durante la carga y descarga de gasolinas y otros combustibles.

Recurso natural. Elemento natural susceptible de ser aprovechado en beneficio del hombre.

Reducción catalítica. Reacción química entre sustancias que se favorece energéticamente por la acción promotora de una sustancia denominada catalizador.

Reforestación. Acto de plantar árboles en áreas donde ya había existido vegetación.

Regulación ambiental. Instrumentos legales que establecen las condiciones bajo las cuales se deben de conducir las personas físicas o morales en el cumplimiento de la legislación ambiental.

Salud ambiental. Parte de la administración en salud pública que se ocupa de las formas de vida, las sustancias, las fuerzas y las condiciones del entorno del hombre que pueden ejercer una influencia sobre su salud y bienestar.

Salud pública. Condición de completo bienestar físico, mental y social de la población.

Sistema inmunológico. Capacidad de los organismos para responder ante agentes infecciosos. Este sistema protege al organismo de enfermedades de origen microbiano.

Sistema de monitoreo. Conjunto de estaciones e instrumentos de medición automatizada de la calidad del aire.

Smog. Vocablo derivado de las palabras inglesas *smoke* y *fog*, que se usa comúnmente como término sustituto de contaminación del aire y es originado por los gases de escape en autos y fábricas.

Suelo. Mezcla compleja de pequeñas partículas de roca, minerales, organismos, aire y agua. Cuerpo dinámico que cambia continuamente en respuesta a condiciones climáticas, vegetación, topografía local, material que le dio origen, edad, uso o abuso humano.

Sustentabilidad. Condición del manejo de los recursos naturales con el propósito de asegurar tomas de decisiones sostenidas y ambientalmente racionales; al ponerlas en práctica, permiten que el proceso de desarrollo económico y social continúe en beneficio de las generaciones presentes y futuras

Toxicidad. Capacidad inherente de un agente químico para producir un efecto nocivo sobre los organismos vivos.

Tóxico. Agente químico que introducido al organismo, dependiendo más de su cantidad que de su calidad, es capaz de producir alteraciones en los sistemas biológicos.

Umbral. Intensidad de un estímulo por debajo del cual no se percibe respuesta de afectación sobre el medio expuesto.

Urbanización. Dotación de servicios básicos a una comunidad carente de ellos, o a un área donde se pretende construir un asentamiento humano.

Uso de suelo. Término que en planeación urbana designa el propósito específico que se asigne a la ocupación o empleo de un terreno.

Vialidad. Conjunto de vías o espacios geográficos destinados a la circulación y el desplazamiento de vehículos y peatones.

Zona o área metropolitana. Extensión territorial en la que se encuentra la unidad político-administrativa de la ciudad central y de localidades contiguas que comparten características urbanas comunes, tales como sitios de trabajo, lugares de residencia, espacios para labores agrícolas e industriales y que mantienen una relación socioeconómica directa, constante, intensa y recíproca con la ciudad central.

Zona Metropolitana de Guadalajara. Área integrada por los municipios de Guadalajara, Tlaquepaque, Tonalá y Zapopan, en el Estado de Jalisco.

ANEXOS

ANEXO A. MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE

Métodos de medición de los contaminantes

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

Tabla A.1
Métodos de medición de contaminantes del aire

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

Descripción de los métodos

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

La técnica considerada como método equivalente es un procedimiento totalmente automatizado, que si bien no es tan exacto como el de referencia, ofrece una precisión y consistencia aceptables. En este caso se utiliza la característica que tiene el

SO₂ de absorber luz ultravioleta y liberarla en forma de luz fluorescente. La intensidad de la fluorescencia es directamente proporcional a la concentración del SO₂. Todo el proceso se lleva a cabo en condiciones controladas, dentro del analizador.

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

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

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

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

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

Partículas suspendidas totales: Para el muestreo del material sólido que flota en el aire ambiente, se utiliza el método de alto volumen, que consiste en hacer pasar un flujo de aire a gran velocidad, a través de un medio filtrante de fibra de vidrio en el que se retienen las partículas con diámetros dinámicos de entre 0.1 y 100 micrones. En este método es absolutamente indispensable mantener el control y tener conocimiento de la tasa de flujo y del volumen total de aire que se muestreó durante las 24 horas que es, por lo regular, el período recomendado para la toma de las muestras. También se requiere conocer el peso del filtro

antes y después del muestreo, por lo que éste se acondiciona durante 24 horas en una cámara, donde se controlan la temperatura y la humedad relativa. Posterior a la determinación de la masa de material, la muestra es susceptible de someterse a análisis físico-químicos para el análisis de plomo y otros metales pesados, así como de sulfatos y nitratos.

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

Control de calidad y aseguramiento de calidad de las mediciones

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

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

Calibración

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

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

Verificaciones de la variación de cero y span

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

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

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

ANEXO B. ÍNDICE METROPOLITANO DE LA CALIDAD DEL AIRE (IMECA)

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

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

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

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

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

Tabla B.1
Categorías descriptivas del PSI

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

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

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

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

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

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

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

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

Tabla B.2
Puntos de quiebre del IMECA

	PST	PM10	SO₂	NO₂	CO	O₃
IMECA	(24hr)	(24hr)	(24hr)	(1hr)	(8hr)	(1hr)
	µg/m ³	µg/m ³	ppm	ppm	ppm	ppm
100	260	150	0.13	0.21	11	0.11
200	546	350	0.35	0.66	22	0.23
300	627	420	0.56	1.1	31	0.35
400	864	510	0.78	1.6	41	0.48
500	1000	600	1.00	2.00	50	0.60

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

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

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

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

Nivel IMECA	Posibles efectos en la salud	Medidas de tipo preventivo
0 a 100	<ul style="list-style-type: none"> • No se presentan efectos negativos en la salud de la población. • Es posible realizar todo tipo de actividad física por todos los grupos humanos. 	<ul style="list-style-type: none"> • En este nivel, no es necesaria ninguna medida de tipo preventivo.
101 a 250	<ul style="list-style-type: none"> • Se presenta irritación conjuntival o dolor de cabeza en cualquier grupo de la población. • Los enfermos del corazón o de los pulmones reactivan los síntomas de sus padecimientos. • Los niños lactantes, los ancianos y los fumadores, presentan trastornos funcionales del aparato respiratorio y cardiovascular como aumento de su frecuencia respiratoria, sensación de falta de aire y palpitaciones. • La población general sana, presenta molestias como ardor de ojos, dolor de cabeza, aumento de su frecuencia respiratoria, sensación de falta de aire y palpitaciones, sobre todo al realizar alguna actividad intensa. 	<ul style="list-style-type: none"> • En este nivel, deben adoptarse conductas generales que disminuyan la exposición a la atmósfera contaminada, especialmente por parte de la población que presenta características de riesgo o mayor susceptibilidad, como los niños, ancianos, embarazadas y los enfermos crónicos del corazón o los pulmones; es recomendable para toda la población la adopción de las siguientes recomendaciones: <ul style="list-style-type: none"> ➢ Evitar la exposición a la atmósfera contaminada. ➢ No realizar ejercicio o actividad física intensa al aire libre. ➢ Permanecer en ambientes cerrados mientras dure el episodio de contaminación elevada.
251 a 350	<ul style="list-style-type: none"> • Los niños lactantes, los ancianos y los fumadores, pueden presentar las molestias descritas para el nivel anterior además de alteraciones de tipo inflamatorio (tos, expectoración y espasmo bronquial) en su sistema respiratorio. • La población general sana, puede ser que presente trastornos funcionales del aparato respiratorio y cardiovascular, como aumento de su frecuencia cardíaca y respiratoria, sensación de falta de aire y palpitaciones, sobre todo si realiza ejercicio o actividad física al aire libre. 	<ul style="list-style-type: none"> • A partir de este nivel de contaminación, es recomendable para todos los grupos de población y especialmente para los grupos con mayor susceptibilidad, adoptar las siguientes medidas: <ul style="list-style-type: none"> ➢ Evitar la exposición a la atmósfera contaminada. ➢ No realizar ejercicio o actividad física intensa al aire libre. ➢ Permanecer en ambientes cerrados mientras dure el episodio de contaminación. ➢ Evitar agresiones adicionales del aparato respiratorio: ➢ Evitar fumar y la exposición al humo de tabaco. ➢ Evitar los cambios bruscos de temperatura. ➢ Disminuir el contacto con personas que presenten infecciones de las vías respiratorias.
351 en adelante	<ul style="list-style-type: none"> • A partir de estos niveles de contaminación, algunos reportes de investigación señalan la posibilidad de que: <ul style="list-style-type: none"> ➢ Los enfermos crónicos de los pulmones o del corazón, reactivan su padecimiento de base. ➢ Los niños lactantes, los ancianos y los fumadores, pueden presentar alteraciones de tipo inflamatorio en su aparato respiratorio (tos, expectoración y espasmo bronquial). ➢ La población general sana está en riesgo de presentar alteraciones de tipo inflamatorio en su aparato respiratorio, aún sin realizar ejercicio o actividad física intensa, si se encuentran al aire libre. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reforzar los mecanismos naturales de defensa del organismo, mediante: <ul style="list-style-type: none"> ➢ Ingesta abundante de líquidos, preferentemente de jugos naturales de frutas. ➢ Consumir abundantes frutas y legumbres. • Atención médica oportuna. • Las personas susceptibles deben acudir al médico si presentan reactivación de sus padecimientos. • Las mascarillas, purificadores de aire o inhalación de oxígeno, no constituyen medidas científicamente comprobadas de protección ante la elevación de los niveles de contaminación atmosférica y su empleo indiscriminado, se puede presentar incremento en el riesgo para los grupos susceptibles. • Mantenerse atento a las recomendaciones de las Instituciones del Sistema Nacional de Salud, a través de los medios de comunicación.

ANEXO C. RESUMEN DE DATOS DE CALIDAD DEL AIRE DE 1996

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

Zona norte

	Mayor o igual a 100		Mayor o igual a 150		Mayor o igual a 200		Mayor o igual a 250		No. total de días
	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	
O ₃	37.2	136	10.7	39	1.6	6	0.5	2	366
PM10	0.5	2	0.0	0	0.0	0	0.0	0	365
CO	1.1	4	0.0	0	0.0	0	0.0	0	365
NO ₂	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	173
SO ₂	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	197

Zona poniente

	Mayor o igual a 100		Mayor o igual a 150		Mayor o igual a 200		Mayor o igual a 250		No. total de días
	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	
O ₃	35.7	124	11.8	41	2.3	8	0.9	3	347
PM10	1.4	5	0.0	0	0.0	0	0.0	0	363
CO	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	361
NO ₂	1.3	3	0.0	0	0.0	0	0.0	0	232
SO ₂	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	338

Zona centro

	Mayor o igual a 100		Mayor o igual a 150		Mayor o igual a 200		Mayor o igual a 250		No. total de días
	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	
O ₃	35.7	130	8.2	30	0.5	2	0.0	0	364
PM10	2.2	8	0.0	0	0.0	0	0.0	0	366
CO	4.4	16	0.5	2	0.0	0	0.0	0	365
NO ₂	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	358
SO ₂	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	346

Zona oriente

	Mayor o igual a 100		Mayor o igual a 150		Mayor o igual a 200		Mayor o igual a 250		No. total de días
	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	
O ₃	32.7	118	10.8	39	1.4	5	0.0	0	361
PM10	9.7	35	0.6	2	0.0	0	0.0	0	360
CO	0.3	1	0.0	0	0.0	0	0.0	0	360
NO ₂	0.7	1	0.0	0	0.0	0	0.0	0	139
SO ₂	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	362

Zona sur

	Mayor o igual a 100		Mayor o igual a 150		Mayor o igual a 200		Mayor o igual a 250		
	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	
O ₃	33.2	119	9.8	35	2.8	10	0.3	1	358
PM10	28.8	105	1.4	5	0.0	0	0.0	0	365
CO	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	365
NO ₂	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	251
SO ₂	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	325

Tabla C.2
IMECA máximo por zona y por contaminante

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

Tabla C.3
IMECA máximo mensual por contaminante

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

ANEXO D. CÁLCULO DE LAS ESTIMACIONES DE EMISIONES POR SECTOR

1. Industria y servicios

El inventario de emisiones de la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) se ha venido integrando con información proporcionada por el sector industrial, mediante el análisis de las encuestas industriales (Cédula de operación, conforme al Artículo 21 del reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en Materia de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica, el cual establece que una vez otorgada la Licencia de Funcionamiento los responsables de las fuentes fijas de jurisdicción federal deberán entregar anualmente dicha cédula). Esta información es analizada y procesada para integrarse al Sistema Nacional de Información de Fuentes Fijas. La metodología empleada en la estimación de emisiones para este sector (371 empresas) se realizó mediante el empleo de factores de emisión del Air Pollution Emissions Factors (AP-42) desarrollados por la Agencia de Protección Ambiental de los E.U.A. Se calcularon las emisiones de los contaminantes criterio (partículas, bióxido de azufre, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos totales), para procesos de combustión de combustibles fósiles y para procesos productivos donde se generan compuestos orgánicos volátiles y/o partículas.

Por otra parte, para el sector servicios, la información requerida se integró por tipo de servicio con la cual se realizó la estimación de las emisiones generadas por este sector. Para los giros de Combustión comercial/institucional, Combustión en hospitales y Combustión residencial también se emplearon los factores de emisión para combustión de combustibles fósiles del AP-42. Para los giros de Lavado y desengrase, Consumo de solventes, Operaciones de lavado en seco, Superficies arquitectónicas, Pintura automotriz, Pintura de tránsito, Transporte y Venta de gasolinas, mercadeo y distribución de gas L.P., Panaderías, y Uso de asfalto, se utilizaron factores de emisión del AP-42 por tipo de servicio, para la estimación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles. Para Esterilización en hospitales se utilizaron factores de emisión desarrollados por el DDF para el cálculo de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles.

a) Factores de emisión para combustión con gas natural

En el desarrollo de la estimación de emisiones para los sectores industrial y de servicios en los procesos de combustión se utilizaron los factores de emisión del Air Pollution Emission Factors AP-42, los cuales se presentan de forma resumida a continuación.

Tabla D.1
Combustión con gas natural

Contaminante	Producción de energía* kg/10 ⁶ m ³	Caldera industrial** kg/10 ⁶ m ³	Caldera comercial*** kg/10 ⁶ m ³
Partículas	16-80	16-80	16-80
Bióxido de azufre	9.6	9.6	9.6
Monóxido de carbono	640	560	320
Óxidos de nitrógeno	8,800	2,240	1,600
Hidrocarburos	4.8	48	43

* Su capacidad es mayor a 3,000 C.C.

** Su capacidad se encuentra en el rango de 300 a 3,000 C.C.

*** Su capacidad se encuentra de 10 a 300 C.C.

Estos factores se clasifican en tres categorías de acuerdo al tipo de actividad del equipo de combustión: la producción de energía, calderas industriales y calderas comerciales.

Como antecedente tenemos que el gas natural está compuesto por un alto porcentaje de metano (generalmente más del 80%) y variadas cantidades de etano, propano, butano, e inertes (típicamente nitrógeno, dióxido de carbono y helio). Las plantas procesadoras de gas son requeridas para recuperar constituyentes, así como para la remoción de ácido sulfúrico antes de que el gas sea usado. El poder calorífico promedio en bruto del gas natural es aproximadamente de 8,900 kcal/metro cúbico en condiciones normales (900 a 1000 BTU/SCF).

Aunque el gas natural está considerado como un combustible relativamente limpio, algunas emisiones resultan de su combustión. Por ejemplo, condiciones inapropiadas incluyendo una mezcla pobre de aire/combustible, etc. puede generar grandes cantidades de humo, CO y emisiones de compuestos orgánicos volátiles.

Los NO_x son el principal contaminante en lo concerniente al quemado de gas natural tal como se puede apreciar en los factores de emisión arriba señalados. Estas emisiones dependen principalmente de las temperaturas máximas logradas dentro de la cámara de combustión, así como de la concentración de oxígeno en la zona del horno y del tiempo de exposición a las altas temperaturas. Los niveles de emisión varían considerablemente y están relacionados directamente con el tamaño del equipo de combustión y las condiciones de operación.

b) Factores de emisión para combustión con combustóleo, diesel y gasóleo

Los datos de la tabla siguiente presentan los factores de emisión correspondientes al combustóleo, diesel y gasóleo. Una característica muy importante en la

aplicación de estos datos es su contenido en % en peso de azufre en cada uno de los combustibles ya que, de acuerdo al contenido del azufre, van a depender las emisiones de bióxido de azufre en el momento de llevarse a cabo la combustión. Estos factores fueron utilizados para la estimación de contaminantes criterio de aquellas industrias que utilizan este tipo de combustibles en la ZMG. Dentro de estas industrias, se agrupan principalmente las que pertenecen al giro de minerales no metálicos (cemento y vidrio) las cuales presentan un alto consumo de combustible en la zona.

Tabla D.2
Combustión con combustóleo, diesel y gasóleo

Contaminante	Combustóleo kg/m ³	Gasóleo kg/m ³	Diesel kg/m ³
Partículas	4.88	4.88	0.24
Bióxido de azufre	19 (S)	19 (S)	17 (S)
Monóxido de carbono	0.6	0.6	0.6
Óxidos de nitrógeno	15.0	15.0	2.4
Hidrocarburos	0.12	0.12	0.006

Nota: S es el porcentaje en peso de contenido de azufre en el combustible.

Así tenemos que de acuerdo al AP-42, las dos principales categorías empleadas en fuentes de combustión son:

- Destilados de petróleo.
- Combustóleo residual.

Los destilados son más volátiles y menos viscosos que los residuales, tienen cantidades despreciables de N₂ y cenizas, usualmente contienen menos del 0.3% en peso de azufre. Los destilados son utilizados como combustibles principalmente en el sector servicios.

Los residuales son más viscosos y menos volátiles, son producto de los remanentes residuales del fraccionamiento de productos más ligeros (gasolinas, kerosina y destilados) que han sido removidos del petróleo crudo, y por lo tanto tienen cantidades significativas de cenizas, nitrógeno y azufre. Se utilizan principalmente en la industria y en grandes establecimientos comerciales.

Los factores que intervienen en la mayor o menor emisión por combustión dependen de:

- Tipo y tamaño de caldera.
- Composición del combustible.
- Prácticas empleadas en la carga y el quemado.
- Nivel de instrumentación y mantenimiento.

La emisión de partículas depende predominantemente de:

- El grado de combustible quemado (los combustibles ligeros emiten cantidades significativamente menores que los combustibles pesados).
- Contenido de cenizas en el combustible.
- La combustión completa (se pueden emitir partículas carbonosas resultantes de una combustión incompleta), y es independiente del contenido de cenizas y azufre, en el caso de destilados.
- En los residuales las emisiones de partículas suspendidas están relacionadas directamente con el contenido de azufre.
- En el caso de combustibles pesados, que son previamente desulfurados, presentan una baja significativa en la viscosidad y se reducen los asfálticos, cenizas y contenido de azufre; lo cual redundará en una mejor atomización y una combustión más completa.
- La forma de carga del combustible también puede afectar la emisión de partículas sobre todo con combustible pesado. A condiciones de carga baja, la emisión de partículas puede disminuir de 30 a 40% y hasta un 60% para unidades industriales pequeñas y unidades comerciales. Sin embargo, se ha notado que una sensible reducción en la carga de combustibles de grado ligero, puede ser difícil de mantener en condiciones adecuadas de combustión y provocar con ello el incremento de emisiones significativas de partículas.

Las emisiones de SOx son generadas durante la combustión por oxidación del azufre contenido en el combustible. Las emisiones de SOx provenientes de un sistema de combustión convencional son predominantemente SO₂. Las emisiones de SOx no controladas son dependientes del azufre contenido en el combustible y no están en función del tamaño de la caldera, del diseño del quemador, o el grado del combustible quemado. En promedio más del 95% del azufre en el combustible es convertido en SO₂, entre el 1 y el 5% restante es posteriormente oxidado a SO₃; y alrededor del 1 al 3% es emitido como partículas sulfatadas. El SO₃ suele reaccionar con vapor de agua en la atmósfera y con los gases de combustión para formar ácido sulfúrico.

Los NOx formados en procesos de combustión se deben a:

- La fijación térmica del nitrógeno atmosférico en el aire de combustión (NOx térmico).
- La conversión química del nitrógeno contenido en combustible (NOx de combustible).

El término NOx agrupa al NO y al NO₂. Datos de pruebas en sistemas de combustión externa de combustibles fósiles han mostrado que más del 95% de las NOx emitidos lo constituye el NO.

Mediciones experimentales de formación de "NOx térmico" han mostrado que las concentraciones de NOx son exponencialmente dependientes de la temperatura, y proporcionales a la concentración de N₂ en la flama, la raíz cuadrada de la concentración de oxígeno en la flama, y el tiempo de residencia de los gases en reacción. De este modo, la formación de NOx Térmico es afectada por cuatro factores:

- Temperatura máxima.
- Concentración de nitrógeno en el combustible.
- Concentración de oxígeno.
- Tiempo de exposición a la temperatura máxima.

La tendencia de, la emisión debida al cambio en estos factores es generalmente consistente para todo tipo de calderas. Un incremento en la temperatura de flama, en el oxígeno disponible o del tiempo de residencia a altas temperaturas, aumentan la formación de NOx.

El contenido de nitrógeno en el combustible es el más importante de los mecanismos de formación de NOx; en calderas de combustóleo residual, puede ascender hasta el 50% del total de NOx formado por la quema de combustóleo. El porcentaje de conversión de nitrógeno del combustible en NOx varía significativamente; sin embargo, generalmente del 20 al 90% del nitrógeno contenido en el combustible es convertido en NOx, excepto en grandes equipos donde usualmente se consiguen temperaturas muy altas en la flama. En equipos que queman combustóleo con bajo contenido de nitrógeno, el NOx térmico sobrepasa generalmente 50% del total de NOx generado.

Pequeñas cantidades de compuestos orgánicos son emitidas por la combustión. Al igual que en las emisiones de CO, la proporción de emisión de compuestos orgánicos depende, hasta cierto punto, de la eficiencia de combustión de la caldera. Por lo tanto, cualquier modificación en la combustión que reduzca la eficiencia de combustión incrementaría las condiciones de formación de compuestos orgánicos en los gases de combustión.

Los compuestos orgánicos totales incluyen compuestos orgánicos volátiles (COV), compuestos orgánicos semivolátiles y compuestos orgánicos condensables. Las emisiones de COV son, caracterizadas por la clase de hidrocarburos no quemados y pueden incluir esencialmente a todos los compuestos en fase de vapor emitidos por una fuente de combustión.

Existen emisiones de hidrocarburos alifáticos, compuestos oxigenados, y compuestos aromáticos de bajo peso molecular los cuales existen en fase de vapor a la temperatura del combustible alimentado. Estas emisiones incluyen todos los alcanos, alquenos, aldehídos, ácidos carboxílicos y bencenos sustituidos (por ejemplo, tolueno, xileno, etil benceno).

Las emisiones orgánicas remanentes son principalmente compuestos emitidos de fuentes de combustión en forma condensada. Estos compuestos son clasificados en un grupo conocido como material orgánico policíclico (MOP), un subconjunto de compuestos llamados hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAP) y también como HAP nitrogenados y halógenados. La información disponible sobre MOP emitidos, generalmente se relaciona con los grupos HAP.

El formaldehído es formado y emitido durante la combustión de carbón y combustóleo. El formaldehído está presente en fase vapor en el flujo gaseoso descargado a la atmósfera.

El formaldehído está sujeto a la oxidación y descomposición a altas temperaturas durante la combustión. De este modo, equipos grandes con alta eficiencia de combustión, tienen proporciones bajas de emisión de formaldehído (resulta íntimamente relacionado con la proporción de aire-combustible, temperaturas uniformemente altas en la cámara de combustión, y tiempos de retención de gas relativamente largos). Al compararse con los equipos de combustión menos eficientes.

c) Factores de emisión para combustión con gas LP

En la siguiente tabla se muestran los factores de emisión para la combustión de gas LP considerando dos categorías de equipo de combustión, que pueden ser industrial y comercial. Este factor de emisión está dado en función del contenido de butano y propano en el mismo.

**Tabla D.3
Combustión con gas LP**

Contaminante	Unidad industrial (kg/m ³)		Unidad comercial (kg/m ³)	
	Butano	Propano	Butano	Propano
Partículas (PST)*	0.01 - 0.06	0.01 - 0.05	0.01 - 0.06	0.01 - 0.05
Bióxido de azufre	0.01 S	0.01 S	0.01 S	0.01 S
Monóxido de carbono	1.58	1.49	1.13	1.05
Óxidos de nitrógeno	0.4	0.37	0.23	0.22
Hidrocarburos	0.03	0.03	0.03	0.03

Nota: S es el porcentaje en peso de contenido de azufre en el Gas L.P.

* Se emplea el término PST para indicar que son emisiones de partículas de tamaño tal que en la atmósfera se comportan como "partículas suspendidas totales".

Los factores de emisión antes señalados fueron utilizados para la estimación de contaminantes criterio de aquellas industrias que utilizan el gas LP como combustible, así como también en comercios y servicios.

El gas LP consiste de propano, propileno, butano, butileno. El producto usado para calentamiento doméstico contiene principalmente propano. Este gas es obtenido en

gran porcentaje del corte de gas del fraccionamiento del crudo en refinación, es almacenado como líquido bajo presiones moderadas. Hay tres grados de gas LP el comercial grado propano, combustible para motor grado propano y el comercial grado butano. El poder calorífico típico para el comercial grado propano es de 6,090 kcal/l, para el comercial grado butano el valor es de 6,790 kcal/l.

El gas LP es considerado como un combustible limpio ya que no produce emisiones visibles. Sin embargo, este combustible produce contaminantes gaseosos como el monóxido de carbono, compuestos orgánicos y óxidos de nitrógeno. El factor más importante que afecta estas emisiones es el diseño del quemador, y la ventilación del flujo gaseoso. Las emisiones de NOx están en función de diferentes variables, incluida la temperatura, exceso de aire, mezcla aire-combustible y tiempo de residencia en la zona de combustión. Las emisiones de bióxido de azufre son directamente proporcionales al contenido de azufre en el combustible, tal como se muestra en la tabla anterior.

Las tres tablas anteriores se expresan como kg de contaminante emitido por cada metro cúbico de consumo de combustible (en el caso de gas natural es por millón de m³). Un ejemplo de las estimaciones de emisiones nos ilustra el procedimiento utilizado:

Una compañía del giro mineral no metálico consume aproximadamente 3'025,000 m³ al mes de gas natural. El consumo de este tipo de combustible presenta las siguientes emisiones:

$$\begin{aligned} \text{PST} &= \text{Consumo de combustible} \times \text{factor de emisión de PST} \\ \text{PST} &= 3.025 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ gas natural/mes} \times 80 \text{ kg PST}/10^6 \text{ m}^3 \text{ gas natural} \times 1 \text{ ton}/10^3 \text{ kg} \\ \text{PST} &= 0.242 \text{ ton/mes} \\ \text{SO}_2 &= \text{Consumo de combustible} \times \text{factor de emisión de SO}_2 \\ \text{SO}_2 &= 3.025 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ gas natural/mes} \times 9.6 \text{ kg SO}_2/10^6 \text{ m}^3 \text{ gas natural} \times 1 \text{ ton}/10^3 \text{ kg} \\ \text{SO}_2 &= 0.029 \text{ ton/mes} \\ \text{CO} &= \text{Consumo de combustible} \times \text{factor de emisión de CO} \\ \text{CO} &= 3.025 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ gas natural/mes} \times 560 \text{ kg CO}/10^6 \text{ m}^3 \text{ gas natural} \times 1 \text{ ton}/10^3 \text{ kg} \\ \text{CO} &= 1.694 \text{ ton/mes} \\ \text{NOx} &= \text{Consumo de combustible} \times \text{factor de emisión de NOx} \\ \text{NOx} &= 3.025 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ gas natural/mes} \times 2,240 \text{ kg NOx}/10^6 \text{ m}^3 \text{ gas natural} \times 1 \text{ ton}/10^3 \text{ kg} \\ \text{NOx} &= 6.776 \text{ ton/mes} \\ \text{HC} &= \text{Consumo de combustible} \times \text{factor de emisión de HC} \\ \text{HC} &= 3.025 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ gas natural/mes} \times 48 \text{ kg HC}/10^6 \text{ m}^3 \text{ gas natural} \times 1 \text{ ton}/10^3 \text{ kg} \\ \text{HC} &= 0.145 \text{ ton/mes.} \end{aligned}$$

Para el sector industria dentro del giro de minerales metálicos, además se utilizaron los factores de emisión del Air Pollution Emission Factors AP-42 para fundición de hierro gris, los cuales se presentan a continuación.

d) Factores de emisión para fundición de hierro gris

En la siguiente tabla se presentan los factores de emisiones referenciados a las unidades de kg de contaminante por cada tonelada de hierro gris producido.

Tabla D.4
Kg/ton de hierro gris producido

Tipo de horno	PST	SO ₂	CO	NOx	COV
Cubilote:					
sin control	8.5	0.6 S	73		
capa húmeda	4				
lavador	2.5				
lavador de alta eficiencia	0.4	0.3 S			
precipitador electrostático	0.3				
filtro de bolsa	0.1				
Arco eléctrico	5	no significativo	0.5 - 19	0.02 - 0.3	0.03 -0.15
Inducción eléctrica	0.75	no significativo	no significativo		
Reverbero	1				

Nota: S es el porcentaje en peso de contenido de azufre en el combustible.

El valor de SO₂ supone que el 30% de azufre se convierte en SO₂.

En el horno de cubilote aproximadamente el 85% de la carga total es metal; por cada unidad de peso de coque en la carga se producen 7 unidades de peso de hierro gris.

Un ejemplo de aplicación de estos factores se presenta a continuación:

Una empresa siderúrgica procesa cerca de 30 toneladas de coque al mes en un horno de cubilote, el cual no cuenta con equipo de control. Considerando que por cada unidad de coque se producen siete unidades de hierro gris, es decir 210 toneladas, se generan las siguientes emisiones:

PST = Ton de hierro gris producido x factor de emisión de PST

PST = 210 ton de hierro/mes x 8.5 kg PST/ton de hierro gris x 1 ton/10³ kg

PST = 1.785 ton/mes

SO₂ = Ton de hierro gris producido x factor de emisión de SO₂

SO₂ = 210 ton de hierro gris/mes x 0.6(S) kg SO₂/ton de hierro gris x 1 ton/10³ kg

donde (S) es el porcentaje del contenido de azufre en el coque, el cual para este ejemplo se considera como 3.6

SO₂ = 210 ton de hierro gris/mes x 0.6(3.6) kg SO₂/ton de hierro gris x 1 ton/10³ kg

SO₂ = 0.454 ton/mes

CO = Ton de hierro gris producido x factor de emisión de CO

CO = 210 ton de hierro gris/mes x 73 kg CO/ton de hierro gris x 1 ton/10³ kg

CO = 15.33 ton/mes.

e) Factores de emisión para aplicación de recubrimientos

Para procesos donde se aplican recubrimientos y en la fabricación de pintura y barniz se utilizaron los factores de emisión del Air Pollution Emission Factors AP-42 los cuales se resumen en la siguiente tabla:

Tabla D.5
Aplicación de recubrimientos

Tipo de recubrimiento	COV kg/ton de recubrimiento
Pintura	560
Barniz y sellador	500
Laca	770
Esmalte	420
Primer (cromato de zinc)	660

Se puede observar que en los procesos de aplicación de recubrimientos se generan básicamente compuestos orgánicos volátiles debido al contenido de materia volátil incorporada en la formulación del recubrimiento, que se emite casi en su totalidad. Un ejemplo de este tipo de proceso se presenta a continuación:

Una empresa que se dedica a la fabricación de muebles para cocina utiliza para el acabado y decorado de los muebles lacas y barnices, con un consumo mensual de 370 y 1,380 litros, respectivamente. Como información complementaria se tienen datos de densidad de estos materiales para estimar los consumos en unidades de peso: densidad de la laca 0.95 kg/l y densidad del barniz 0.79 kg/l. La aplicación de estos recubrimientos genera la emisión de compuestos orgánicos volátiles estimada como sigue:

$$\begin{aligned} \text{COV total} &= \text{Emisión de COV de la laca} + \text{emisión de COV del barniz} \\ \text{COV laca} &= \text{Consumo de laca} \times \text{densidad de la laca} \times \text{factor de emisión} \\ \text{COV laca} &= 370 \text{ l} \times 0.95 \text{ kg/l} \times 1 \text{ ton}/10^3 \text{ kg} \times 777 \text{ kg de COV/ton laca} \times 1 \text{ ton}/10^3 \text{ kg} \\ \text{COV laca} &= 0.273 \text{ ton/mes} \\ \text{COV barniz} &= \text{Consumo de barniz} \times \text{densidad del barniz} \times \text{factor de emisión} \\ \text{COV laca} &= 1,380 \text{ l} \times 0.79 \text{ kg/l} \times 1 \text{ ton}/10^3 \text{ kg} \times 500 \text{ kg de COV/ton laca} \times 1 \text{ ton}/10^3 \text{ kg} \\ \text{COV laca} &= 0.549 \text{ ton/mes} \\ \text{COV total} &= 0.273 + 0.549 = 0.822 \text{ ton/mes.} \end{aligned}$$

f) Factores de emisión para fabricación de pintura y barniz

La siguiente tabla se refiere a los kilogramos de partículas como PST por cada tonelada de pigmento utilizado en la fabricación de pinturas y a los kilogramos de COV por cada tonelada de recubrimiento producido. Cabe aclarar en este punto que la generación de PST está ligada con la cantidad de pigmentos que se mane-

jan para la producción de pinturas; la generación de COV está ligada en este caso no directamente con la cantidad de material volátil que contiene el recubrimiento en su formulación, sino con los procesos de mezclado donde se preparan los recubrimientos. El factor de emisión para COV cubre el aspecto de la fabricación de pintura y barniz y no por su aplicación como recubrimiento.

Tabla D.6
Fabricación de pinturas y barniz

Tipo de producto	PST kg/ton de pigmento	COV kg/ton de producto
Pintura	10	15
Barniz		
base aceite		20
óleoresina		75
alquidámica		80
acrílica		10

A continuación se presenta el siguiente ejemplo:

Una compañía que se dedica a la fabricación de pinturas tiene una producción de 190 toneladas de pintura al mes y consume 60 toneladas de pigmentos; sus emisiones son:

PST = Consumo de pigmento x factor de emisión de PST

PST = 60 ton de pigmento/mes x 10 kg PST/ton de pigmento x 1 ton/10³ kg

PST = 0.60 ton/mes

COV = Ton de pintura producida x factor de emisión de COV

COV = 190 ton de pintura/mes x 15 kg COV/ton de pintura x 1 ton/10³ kg

COV = 2.85 ton/mes.

g) Factores de emisión para emisiones evaporativas de gasolinas

Para el sector servicios en el giro de transporte y venta de gasolinas se utilizaron los factores de emisión del Air Pollution Emission Factors AP-42. En esta actividad se generan emisiones en las operaciones de carga de carro-tanques en centros de distribución, transporte durante la entrega a estaciones de servicio (gasolineras) y regreso con tanque vacío, y en las estaciones de servicio en el llenado de cisternas, venteo y vaciado de cisternas, recarga de vehículos y derrames. Estos factores se resumen en la tabla siguiente:

Tabla D.7

Transporte y venta de gasolinas	
Operación	Factor de emisión (lb/10³ galones)
<i>Operaciones de recarga (llenado sumergido):</i>	
• Normal	5.0
• Balance de vapor	8.0
<i>Transporte:</i>	
• Carga con producto	0.01
• Regreso con vapor	0.11
<i>Estaciones de servicio:</i>	
• Carga a vehículos	11.0
• Derrames	0.7
• Llenado de tanques	11.5
• Vaciado y venteo de tanques	1.0

Las unidades a las que se refiere la tabla anterior son libras de COV por cada mil galones de gasolina que se distribuyen.

h) Factores de emisión para emisiones de COV en la esterilización en hospitales

Para el sector servicios en el giro de hospitales, en el rubro de esterilización se utilizaron los factores desarrollados por el DDF, considerándose 3 criterios conforme al número de camas por hospital.

Tabla D.8
Esterilización en hospitales

Número de camas por hospital	Factor de emisión (kg COV/cama-año)
1 a 200 camas	0.77
200 a 500 camas	0.59
>500 camas	0.82

i) Factores de emisión para emisiones generadas en panaderías

Para el sector servicios en el giro de panaderías, se utilizaron los factores de emisión del Air Pollution Emission Factors AP-42, en donde se establece 0.008 toneladas de COV por tonelada de pan producido.

j) Factores emisión per cápita

Un factor de emisión per cápita es un valor de proporción de algún contaminante referido al número de habitantes en un periodo de tiempo. Para la estimación de

emisiones se considera un periodo anual, como se puede observar en la tabla de Factores de Emisión del Air Pollution Emission Factors AP-42 para algunos giros del sector servicios:

Tabla D.9
Factores de emisión per cápita

Giro	Factor de emisión (kg COV/hab-año)
Artes gráficas	0.40
Lavado y desengrase	1.85
Consumo de solventes	4.20
Operación de lavado en seco	0.82
Superficies arquitectónicas	1.45
Pintura automotriz	0.41
Pintura de tránsito	0.23

2. Transporte

Para la integración del inventario de emisiones generadas por el sector transporte de la ZMG fue necesario obtener como información básica, la clasificación por tipo de vehículo, los kilómetros recorridos al año, el tipo de combustible utilizado y el promedio de mantenimientos que reciben al año.

Después de establecer la clasificación vehicular y estimar los recorridos en kilómetros promedio anuales, para hidrocarburos, monóxido de carbono, y óxidos de nitrógeno, se aplicaron los factores de emisión estimados con el modelo MOBILE5. Para estimar las emisiones de Pb se tomó el factor de emisión publicado en el Programa de Control de la Contaminación de la Zona Metropolitana de Guadalajara, 1990. Para el caso del SO₂ el factor de emisión se tomó del libro "Contaminación del Aire, Causas, Efectos y Soluciones", W. Strauss et. al, 1990, y para las emisiones de partículas se aplicó el factor de emisión publicado en el estudio de Estimación del Inventario de Fuentes Móviles para Monterrey, N.L., preparado por la Subsecretaría de Ecología de Monterrey, N.L., 1995.

Estos factores se resumen a continuación y están dados en gramos de contaminante por kilómetro recorrido.

Tabla D.10
Parque vehicular de la ZMG

Clasificación vehicular	Número de vehículos
1. Auto particular	443,554
2. Pick-up	148,260
3. Taxi	11,206
4. Pick-up (diesel)	1,000
5. Camión pasajero	5,989
6. Camión carga	28,433
7. Motocicleta	23,995
Total	662,437

Fuente: Comisión Estatal de Ecología 1995.

Tabla D.11
Factores de emisión por contaminante (g/km)

Clasificación	HC	CO	NOx	PST	SO ₂	Pb
1 Auto particular	7.01	76.3	2.88	0.1	0.17	0.01125
2 Pick-up	7.01	76.3	2.88	0.2	0.17	0.01125
3 Taxi	7.01	76.3	2.88	0.1	0.17	0.01125
4 Pick-up (diesel)	2.76	6.77	1.90	1.2	0.47	
5 Camión pasajero	1.53	3.81	2.18	3.0	0.47	
6 Camión carga	5.17	19.8	25.6	3.0	0.47	
7 Motocicleta	15.9	73.9	0.18	0.1	0.17	0.01125

Fuente: INE, Modelo Mobile5 adecuado para la ZMG, Jal., 1996.

Posteriormente se aplicó la siguiente fórmula:

No. de vehículos x kilómetros anuales/1,000,000 x factor de emisión (g/km) = toneladas de contaminante /año.

De esta manera se obtuvieron las emisiones parciales para cada tipo de contaminante y se procedió a realizar la suma global para obtener las emisiones totales del sector transporte en la Zona Metropolitana de Guadalajara.

ANEXO E: MEMORIA DE CÁLCULO DE ESTIMACIONES DE REDUCCIONES DE EMISIONES Y DE COSTOS E INVERSIONES

A continuación se presenta la memoria de cálculo de la estimación de las reducciones de las emisiones contaminantes y de los costos e inversiones, para aquellas medidas en donde esto fue posible. El número de la medida corresponde al que tiene en el capítulo nueve.

I. Industria limpia

2. Evaluar la factibilidad de suministrar gasóleo industrial con bajo contenido de azufre.

- *Emisiones*

La sustitución de combustibles más limpios para consumo por la industria de la ZMG, disminuirá las emisiones de partículas y bióxido de azufre principalmente, debido a que el contenido de azufre no excederá el 2% en peso; en el sector industrial estas reducciones se obtienen específicamente de 34 industrias que actualmente consumen combustóleo, las cuales en el inventario de emisiones generan 724 ton/año de partículas y 4,980 ton/año de bióxido de azufre. Estas emisiones se estimaron utilizando factores de emisiones para combustóleo, los cuales se presentan a continuación:

> Factor de emisión de partículas = 4.88 kg de partículas/m³ de combustóleo

> Factor de emisión de SO₂ = 19(S) kg de SO₂/m³ de combustóleo

donde S es el contenido de azufre en por ciento en peso y es de 3%. El factor de emisión para el bióxido de azufre es:

> Factor de emisión de SO₂ = 19(3) = 57 kg de SO₂/m³ de combustóleo.

Por otra parte los factores de emisión para gasóleo son:

> Factor de emisión de partículas = 1.12 (S) + 0.37 kg de partículas/m³ de gasóleo

> Factor de emisión de SO₂ = 19(S) kg de SO₂/m³ de gasóleo

donde S es el contenido de azufre en por ciento en peso. Se consideró el valor máximo que se indica en la NOM-ECOL-086-94 que es de 2%; los factores de emisión para partículas y bióxido de azufre son:

- > Factor de emisión de partículas = $1.12 (2) + 0.37 = 2.61$ kg de partículas/m³ de gasóleo
- > Factor de emisión de SO₂ = $19(2) = 38$ kg de SO₂/m³ de gasóleo.

Considerando la sustitución del combustóleo por gasóleo, se calculan las siguientes reducciones:

- > Reducción de partículas = $724 \times (1 - 2.61/4.88) = 337$ ton/año
- > Reducción de SO₂ = $4,980 \times (1 - 38/57) = 1,660$ ton/año.

5. *Controlar las emisiones de partículas y bióxido de azufre en industrias altamente contaminantes.*

- *Emisiones*

La medida consiste en instalar precipitadores electrostáticos, ciclones y lavadores de gases en las empresas que generan más de 10 ton/año de partículas o de bióxido de azufre. De acuerdo al inventario de emisiones, 28 empresas emiten más de 10 ton/año de partículas y en total sus emisiones suman 1,417 ton/año de partículas; y 37 empresas que generan más de 10 ton/año de SO₂, que emiten 5,385 ton/año de SO₂.

Considerando reducciones globales del 80% para las partículas y del 55% para el bióxido de azufre, con los dispositivos de control mencionados, se tiene:

- > Reducción de partículas = $1,417 \text{ ton/año} \times 0.80 = 1,133$ ton/año
- > Reducción de SO₂ = $5,384 \times 0.55 = 2,964$ ton/año.

- *Costos*

Se consideró un costo de inversión en equipos de control para la reducción de bióxido de azufre de 1,400 dólares por tonelada y 1,000 dólares por tonelada de partículas.

6. *Mejorar los procesos de combustión e instalar sistemas de control de combustión en establecimientos industriales y de servicios.*

- *Emisiones*

En el sector industrial esta reducción sólo se aplica en las empresas cuyas emisiones son menores a 10 ton/año de óxidos de nitrógeno, dichas empresas generan 205 ton/año, cantidad estimada de la diferencia de las emisiones totales de óxidos de nitrógeno generadas por este sector (3,148 ton/año) y de las emisiones generadas por las empresas que emiten más de 10 ton/año (2,944 ton/año). Por otra parte en el sector servicios se generan 218 ton/año de óxidos de nitrógeno. De estudios y evaluaciones realizadas se sabe que de forma ope-

racional en el control de combustión se logran reducciones máximas de 42% de las emisiones de óxidos de nitrógeno. Con este criterio se estiman las reducciones siguientes:

- > Reducción de NOx en el sector servicios = 218 ton/año x 0.42= 92 ton/año
- > Reducción de NOx en el sector industria = 204 ton/año x 0.42 = 86 ton/año.

- *Costos*

Sólo se consideró que el sector industrial en coordinación con las autoridades gubernamentales lleven a cabo cursos para los operadores de sistemas de combustión de las industrias.

8. *Establecer convenios con la industria para controlar y reducir emisiones de precursores de ozono.*

- *Emisiones*

Del análisis realizado al inventario de emisiones sobre las empresas que generan más de 10 ton/año en óxidos de nitrógeno o hidrocarburos dentro del sector industria, se identifican 26 empresas que emiten 2,944 ton/año de óxidos de nitrógeno y 19 empresas que generan 2,743 ton/año de hidrocarburos. Con esta medida se estima una reducción del 80% para óxidos de nitrógeno mediante la recirculación de gases o instalando quemadores de bajo NOx o reducción catalítica con recirculación de gases; y una reducción del 90% para hidrocarburos instalando incineradores catalíticos o sistemas de recuperación de vapores. Las reducciones son las siguientes:

- > Reducción de NOx = 2,944 ton/año x 0.80 = 2,355 ton/año
- > Reducción de HC = 2,743 ton/año x 0.90 = 2,469 ton/año.

- *Costos*

Para el tipo de equipo que se pretende instalar se consideró un costo de 2,500 dólares por tonelada reducida de óxidos de nitrógeno y 4,000 dólares por tonelada reducida de hidrocarburos.

9. *Promover la instalación de equipos para la recuperación de vapores en terminales de recibo y distribución de combustibles y gasolinas.*

- *Emisiones*

Dentro del sector servicios, el giro de transporte y venta de gasolinas genera 13,601 ton/año de hidrocarburos. Con la aplicación de esta medida se pretende reducir en un 90% dichas emisiones, resultando:

> Reducción de HC = 13,601 ton/año x 0.90 = 12,241 ton/año.

- *Costos*

Tomando como base el costo aplicado a las gasolineras establecidas en la Ciudad de México, se aplicó para la ZMG un costo de inversión unitaria en equipos de recuperación de vapores de 25,000 dólares por estación de servicio.

II. Vehículos limpios

12. *Promover el reordenamiento y la renovación del transporte colectivo con unidades de baja emisión de contaminantes.*

- *Emisiones*

En el inventario de emisiones del sector transporte los camiones suburbanos generan 2,460 ton/año de partículas, 62,500 ton/año de monóxido de carbono, 2,362 ton/año de óxidos de nitrógeno y 5,748 ton/año de hidrocarburos. Considerando una renovación al año 2001, del 50% del parque vehicular del transporte colectivo con unidades de baja emisión, se estiman:

> Reducción de partículas = 2,460 ton x 0.50 = 1,230 ton

> Reducción de CO = 62,500 ton x 0.50 = 31,250 ton

> Reducción de NOx = 2,362 ton x 0.50 = 1,181 ton

> Reducción de HC = 5,748 ton x 0.50 = 2,874 ton.

Se considera una sustitución del 50% de los camiones suburbanos en Guadalajara, consistente en 2,995 camiones de pasajeros, ya que este subsector cuenta actualmente con 5,989 unidades.

- *Costos*

Se consideró un costo de 30,000 dólares por vehículo.

13. *Promover la reconversión de flotillas de camiones de carga y transporte público de pasajeros a gas natural comprimido, incorporando convertidores catalíticos.*

- *Emisiones*

En el inventario de emisiones del sector transporte los camiones de carga generan 2,160 ton/año de partículas, 54,936 ton/año de monóxido de carbono, 2,074 ton/año de óxidos de nitrógeno y 5,047 ton/año de hidrocarburos; estas emisio-

nes son generadas por 28,433 vehículos de carga y si se reconvierten 500 se tendrán las siguientes reducciones.

- > Partículas = $(2160 / 28433) 500 = 38$ ton/año
- > CO = $(54936 / 28433) 500 = 966$ ton/año
- > NO_x = $(2074 / 28433) 500 = 36$ ton/año
- > HC = $(5047 / 28433) 500 = 89$ ton/año.

- **Costos**

El costo estimado es de 2,000 dólares por vehículo.

14. Ampliar y modernizar el Programa de Afinación Controlada aplicando la normatividad.

- **Emisiones**

Se conoce por estudios realizados en la ZMVM que el someter a los vehículos en las peores condiciones mecánicas a programas de afinación completos (cambio de bujías, carburación, puesta a tiempo, cambio de cables de bujías, cambio de filtros, etc.), se obtienen reducciones en las emisiones de aproximadamente 50% en partículas, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos para vehículos a gasolina y un 40% en los mismos contaminantes para vehículos a diesel. Por otra parte si se considera que el 50% del parque vehicular de autos particulares cuenta con convertidor catalítico y se asume un cumplimiento de verificación del 50% del parque vehicular, se tiene las siguientes reducciones:

Tabla E.1
Reducciones para PST

Tipo vehículos	Emisión de Partículas (ton/año)	Emisión de Partículas que aplica	% de reducción	Reducción (ton/año)
A gasolina:				
Autos particulares	768	192	50	96
Pick-up gasolina	386	193	50	97
Taxis	45	23	50	11
<i>Subtotal</i>	<i>1,199</i>	<i>408</i>	<i>50</i>	<i>204</i>
A diesel:				
Camiones suburbanos	2,460	1,230	40	492
Camiones de carga	2,160	1,080	40	432
<i>Subtotal</i>	<i>4,620</i>	<i>2,310</i>	<i>40</i>	<i>924</i>
Total				1,128

Tabla E.2
Reducciones para CO

Tipo vehículos	Emisión de CO (ton/año)	Emisión de CO que aplica	% de reducción	Reducción (ton/año)
A gasolina:				
Autos particulares	585,755	146,439	50	73,219
Pick-up gasolina	147,183	73,593	50	36,796
Taxis	34,335	17,168	50	8,584
<i>Subtotal</i>	<i>767,273</i>	<i>237,198</i>	<i>50</i>	<i>118,599</i>
A diesel:				
Camiones suburbanos	62,566	31,283	40	12,513
Camiones de carga	54,936	27,468	40	10,987
<i>Subtotal</i>	<i>117,502</i>	<i>58,560</i>	<i>40</i>	<i>23,500</i>
Total				142,099

Tabla E.3
Reducciones para HC

Tipo vehículos	Emisión de HC (ton/año)	Emisión de HC que aplica	% de reducción	Reducción (ton/año)
A gasolina:				
Autos particulares	53,816	13,454	50	6,727
Pick-up gasolina	13,522	6,761	50	3,381
Taxis	3,155	1,578	50	789
<i>Subtotal</i>	<i>70,493</i>	<i>21,793</i>	<i>50</i>	<i>10,896</i>
A diesel:				
Camiones suburbanos	5,748	2,874	40	1,150
Camiones de carga	5,047	2,524	40	1,009
<i>Subtotal</i>	<i>10,795</i>	<i>5,398</i>	<i>40</i>	<i>2,159</i>
Total				13,055

Tabla E.4
Reducciones para NOx

Tipo vehículos	Emisión de NOx (ton/año)	Emisión de NOx que aplica	% de reducción	Reducción (ton/año)
A gasolina:				
Autos particulares	22,109	17,687	50	8,844
Pick-up gasolina	5,584	4,467	50	2,234
Taxis	1,296	1,037	50	519
<i>Subtotal</i>	<i>28,989</i>	<i>23,191</i>		<i>11,597</i>
A diesel:				
Camiones suburbanos	2,362	1,890	50	945
Camiones de carga	2,074	1,659	50	830
<i>Subtotal</i>	<i>4,436</i>	<i>3,549</i>		<i>1,775</i>
Total				13,372

- **Costos**

Se consideró un costo promedio de 70 dólares por vehículo considerándose sólo 319,221 vehículos y un millón de dólares del gobierno para la puesta en marcha del programa.

III. Nuevo orden urbano y transporte limpio

21. Intensificar los programas de pavimentación de calles y avenidas para reducir las emisiones de partículas.

- **Emisiones**

Las emisiones generadas por erosión de suelo son 294,304 toneladas por año lo que equivale a una emisión de 5.25 toneladas por hectárea. Considerando que Guadalajara tiene 2,190 hectáreas de asentamientos irregulares y sólo se pavimenta el 20%, que es igual a 438 hectáreas, las emisiones se reducirían en 2,300 toneladas de partículas.

- **Costos**

Para estimar el costo se consideró un millón de pesos por hectárea de pavimentación, lo que equivale a un costo total aproximado de 55 millones de dólares.

IV. Recuperación ecológica

31. Establecer un programa de reforestación de la ZMG y su área ecológica de influencia.

- **Emisiones**

Se consideró reforestar 90,000 hectáreas del área conurbada a la ZMG en cinco años, utilizando 50 árboles por hectárea formando cortinas rompeviento para reducir la erosión. Se asume que se reducen aproximadamente 2 toneladas de partículas por hectárea, obteniéndose una reducción total de 180,000 toneladas de partículas.

- **Costos**

Se estimó un costo de 3 millones de dólares para la producción y plantación de árboles.

ANEXO F. PROGRAMA DE CONTROL Y REDUCCIÓN DE EMISIONES VEHICULARES

1. La verificación vehicular a nivel internacional

Debido al gran impacto que tiene en la reducción de emisiones contaminantes y a su alta relación costo-efectividad, la verificación vehicular se ha establecido permanentemente en la mayoría de las grandes ciudades de los Estados Unidos, Canadá, Japón y de Europa. Los procedimientos de verificación más avanzados se han desarrollado en los Estados Unidos y en particular en California y Denver, siendo ésta la tendencia seguida en la forma como se verifican vehículos en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).

En términos generales, hay tres tipos de sistemas de verificación o inspección vehicular, el centralizado, el descentralizado y el híbrido. En el sistema centralizado, la verificación se realiza en centros especializados pertenecientes al sector privado o al gobierno (e.g. Denver, Phoenix, Tokio, Jakarta, Madrid y Colonia). En el sistema descentralizado, la verificación se realiza a través de centros particulares, en su mayoría talleres mecánicos (e.g. Los Ángeles y Nueva York). El sistema híbrido combina algunos elementos de los dos tipos anteriores y se describirá en la siguiente sección al revisar el programa de verificación de la ZMVM.

A pesar de que en un principio era común encontrar programas de verificación descentralizados por medio de centros taller en varias ciudades del mundo, la experiencia resultante de este tipo de programas muestra que son menos eficientes que los programas centralizados, pues con frecuencia sufren de un alto grado de irregularidades y fraudes. Por este motivo, la tendencia actual seguida por la EPA y por las autoridades locales en los Estados Unidos es hacia sistemas centralizados en donde están separadas la reparación y la verificación, logrando de este modo un mayor impacto en la mejoría real del estado mecánico de la flota vehicular. Adicionalmente, es importante evitar monopolios en la prestación de este servicio, así como mantener un programa permanente y transparente de auditorías que permitan un adecuado aseguramiento de calidad (incluyendo la calibración de equipos de medición de gases) y prevención de prácticas ilegales.

En los Estados Unidos, la EPA, a través del Acta del Aire Limpio (*Clean Air Act*), ha establecido que todas las ciudades que no cumplan con las normas de calidad del aire de ozono y monóxido de carbono deberán instrumentar un programa centralizado de verificación vehicular. También, se establece que el procedimiento de prueba deberá ser el denominado I/M-240, consistente en una prueba dinámica (en dinamómetro de chasis de carga variable) donde se midan

HC, NOx y CO en gramos por kilómetro. La EPA estima que con la aplicación de este programa se puede reducir alrededor de un tercio de las emisiones vehiculares totales y a un costo mucho menor por tonelada de contaminantes que si se utilizara un sistema descentralizado por medio de talleres mecánicos.

2. La verificación vehicular en México

Los programas de inspección vehicular en México deben ponerse en operación por parte de las autoridades ambientales estatales y municipales, para verificar el cumplimiento de los límites máximos de emisión de contaminantes establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-041-ECOL-1993. A partir de enero de 1997 esta norma fue sustituida por la Norma Oficial Mexicana NOM-041-ECOL-1997, en la cual se establecen límites especiales de emisión para aplicarse en la ZMVM, que son significativamente más estrictos que los límites que aplican en el resto de las ciudades del país.

Los valores que deben cumplirse de manera obligatoria a través de la verificación vehicular son los que aparecen en las Tablas F.1 y F.2. Al comparar estas tablas sobresalen dos elementos importantes. En primer lugar, en la ZMVM los automóviles están divididos en sólo tres grupos de acuerdo con el año modelo en vez de cuatro como ocurre para el resto del país. En segundo lugar, los límites de emisiones para la ZMVM son entre 30 y 40% más estrictos que los que aplican en otras ciudades. Estos dos elementos inducen por un lado a una más rápida renovación del parque vehicular y por otro a que todos los vehículos que circulan en la Ciudad de México reciban un mejor mantenimiento mecánico. En este sentido, es importante notar que las autoridades federales tienen la facultad de establecer límites estrictos de emisiones vehiculares y/o industriales en aquellas ciudades del país clasificadas como zonas críticas por presentar serios problemas de contaminación del aire.

Tabla F.1
Límites máximos de emisión de contaminantes para vehículos
en circulación en la ZMVM a partir de 1997

Año-modelo del vehículo	Hidrocarburos (HC) ppm	Monóxido de carbono (CO) % Vol.	Oxígeno Máximo (O ₂) % Vol.	Dilución	
				Mínimo	Máximo
				(CO+CO ₂) % Vol.	
1985 y anteriores	350	3.5	6.0	7.0	18.0
1986-1990	300	3.0	6.0	7.0	18.0
1991 y posteriores	200	2.0	6.0	7.0	18.0

Tabla F.2
Límites máximos de emisión de contaminantes para vehículos en circulación en el resto del país

Año-modelo del vehículo	Hidrocarburos (HC) ppm	Monóxido de carbono (CO) % Vol.	Oxígeno	Dilución	
			Máximo (O ₂) % Vol.	Mínimo (CO+CO ₂) % Vol.	Máximo
1979 y anteriores	700	6.0	6.0	7.0	18.0
1980-1986	500	4.0	6.0	7.0	18.0
1987-1993	400	3.0	6.0	7.0	18.0
1994 y posteriores	300	2.0	15.0	7.0	18.0

Actualmente, las delegaciones del D.F. y los municipios conurbados del Estado de México han homologado la aplicación de un programa de verificación vehicular híbrido. Este programa establece que tanto los vehículos de uso intensivo (de carga y de pasajeros) como los de uso particular deben verificar obligatoriamente en centros de gran capacidad llamados "verificentros"¹.

3. Historia de la verificación vehicular en Guadalajara

En el año de 1991 se puso en marcha en la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) el programa de control de la contaminación de fuentes móviles que comprendió el subprograma "Afina tu auto" y el Programa de Verificación Vehicular. El servicio de verificación fue concesionado a una sola empresa privada, mediante licitación pública.

Tabla F.3
Resultados de la primera etapa del Programa de Verificación Vehicular de 1991-1992

Tipo de vehículo	Total de vehículos	Vehículos verificados	Porcentaje del total	Vehículos aprobados	Porcentaje del total
Taxis	10,000	9,422	94.2	7,620	80.9
Minibuses	1,700	1,628	95.8	1,515	93.1
Vehículos oficiales	4,000	3,313	82.8	1,650	49.8
Vehículos de carga	1,500	2,220		1,483	66.8
Vehículos varios	900	167	18.5	145	86.8
Camiones urbanos	2,400	2,435	100	2,057	84.5
Total	20,500	19,186	93.6	14,471	75.4

Fuente: COESE, Plan Estatal de Protección al Ambiente, Gobierno del Estado de Jalisco, 1993.

¹ Los verificentros están dotados de un dinamómetro de carga variable, de un sistema de cámaras de video y de modernos analizadores de gases y sistemas computarizados que permiten un alto grado de automatización de la verificación.

En febrero de 1991 arrancó el programa de verificación vehicular obligatoria, aplicándose en primer lugar a autobuses urbanos, vehículos de carga y vehículos flotilleros. En septiembre del mismo año se inició la verificación de vehículos de entidades gubernamentales. Por su parte, los automóviles particulares se verificaron entre julio de 1991 y junio de 1992. Los resultados de esta última experiencia con el programa de verificación vehicular se muestran en la Tabla F.3.

El hecho de que un número importante de vehículos no logró aprobar el programa de verificación, indica claramente un pobre mantenimiento de la flota y la existencia de muchos vehículos en condiciones mecánicas inadecuadas. Debido a diversos factores el programa de verificación vehicular fue suspendido en el año de 1992.

4. Lineamientos para el nuevo programa para el control de emisiones vehiculares en la ZMG

Justificación

Se estima que en la ZMG circulan alrededor de 660,000 vehículos automotores que consumen diariamente 16,904 m³ de gasolina y emiten más de 2,700 toneladas de contaminantes a la atmósfera por día. En este sentido, tal como se vio en el Capítulo 7, el sector transporte es responsable de más del 74% de las emisiones contaminantes a la atmósfera, y dentro de este sector son los automóviles particulares los que tienen la mayor aportación de contaminantes (37% de los hidrocarburos y 59% de los óxidos de nitrógeno).

En la ZMG, debido a la altitud en la que se encuentra la ciudad (1,567 metros), el aire tiene 16% menos oxígeno que al nivel del mar, lo que dificulta la combustión eficiente de la gasolina, emitiéndose un gran volumen de contaminantes por el escape. Además, como consecuencia del clima cálido presente la mayor parte del año, también ocurren importantes emisiones evaporativas por el motor y al momento de cargar combustible en las estaciones de servicio.

El mantenimiento periódico de un automóvil es esencial para su buen funcionamiento y para conservar la emisión de contaminantes en un límite técnicamente alcanzable. La Asociación Mexicana de la Industria Automotriz ha recomendado que un automóvil con carburador, de calibración mecánica, debe afinarse cada 6 meses o 6 mil kilómetros, lo que ocurra primero. Como contraste, los automóviles de modelos recientes son mucho más limpios pues incorporan tecnologías avanzadas, como sistemas electrónicos y computarizados, que regulan la mezcla aire/combustible, así como convertidores catalíticos de tres vías. Este tipo de tecnologías permiten el adecuado funcionamiento del motor por más de 50 mil kilómetros sin necesidad de afinación o reparación mayor. Desafortunadamente, se estima que en la ZMG este tipo de vehículos constituyen menos del 25% de la flota vehicu-

lar. En el extremo tecnológico opuesto se encuentran más del 50% de los autos de la ciudad, que aún utilizan un carburador convencional y que no están provistos de sistemas de control de contaminantes en el escape.

Si consideramos que un automóvil particular promedio en la ZMG circula entre 30 y 40 km por día, cada año recorre entre 10 y 15 mil kilómetros. Por este motivo, y debido al mal estado mecánico de la mayoría de los autos, la verificación vehicular debiera realizarse dos veces por año (al menos en vehículos con carburador) para promover así que la afinación y servicio de mantenimiento de las unidades ocurra también por lo menos dos veces al año.

Un automóvil con carburador en mal estado mecánico puede emitir más del doble de contaminantes que uno en buen estado con similar tecnología, y entre setenta a cien veces más contaminantes que un vehículo con las tecnologías más modernas de combustión y control de emisiones (inyección electrónica de combustible y convertidor catalítico de tres vías, entre otros). De hecho, se estima que cerca del 70% de la contaminación de origen vehicular proviene de los vehículos con más de 10 años de antigüedad, aunque este grupo sólo represente una tercera parte de la flota vehicular.

Etapas para el control y reducción de emisiones vehiculares

En la ZMG, al igual que en las otras grandes ciudades del país, se debe llevar a cabo un programa de verificación vehicular tal y como lo establece la normatividad obligatoria vigente. Dado que la instrumentación de un programa de verificación completo que incorpore la mejor tecnología de medición de gases, de procesamiento de datos y de prevención de actividades fraudulentas requiere de algunos meses, se sugiere el siguiente esquema gradual, cuyos primeros pasos pueden arrancar en el corto plazo.

1. *Afinación controlada.* De enero a diciembre de 1997 se planea aplicar el programa de afinación controlada. A pesar de que en esta etapa los niveles de emisión de contaminantes de los vehículos no se utilizarán como criterios para determinar si se permite o no la circulación de los mismos, es importante que el propietario del vehículo conozca los resultados de las mediciones y que pueda compararlos con los niveles establecidos por la norma, los cuales deberán ser cumplidos ya de manera obligatoria a partir de junio de 1998. También es importante que en esta etapa se dé a conocer con el mayor detalle posible a la población en qué consistirán las etapas futuras del programa, para que tengan conocimiento de sus obligaciones con suficiente anticipación, evitando así situaciones sorpresivas que propicien malestar o confusión.
2. *Autorización de centros de evaluación de emisiones vehiculares.* De enero a junio de 1998 se puede llevar a cabo la evaluación y dictaminación de la instala-

ción de estos centros, los cuales deberán estar equipados para la medición de CO, HC, NOx, CO₂ y dilución de O₂.

3. *Equipamiento.* De julio a diciembre de 1998 los centros de evaluación de emisiones vehiculares deberán de adquirir el equipo necesario para la operación de las instalaciones.
4. *Inicio de operaciones de los centros de evaluación de emisiones vehiculares.* En enero de 1999 puede iniciarse la verificación semestral de vehículos particulares, oficiales y de uso intensivo de los modelos 1993 y anteriores. Los vehículos de los año-modelo 1994 y posteriores se pueden verificar en el segundo semestre y sólo una vez al año. La verificación deberá realizarse utilizando la prueba dinámica tal como lo describe la NOM-047, aplicando los límites de emisiones que en la NOM-041 aparecen señalados para el "resto del país".
5. *Aplicación de límites estrictos.* En enero de 2001 se deberán empezar a aplicar los límites de emisiones actualmente establecidos para la ZMVM en la NOM-041, por ser la ZMG una zona crítica con problemas de contaminación.