

**Programa de Administración de la Calidad del  
Aire del Área Metropolitana de Monterrey  
1997-2000**



# CONTENIDO

## PRESENTACIÓN

1. INTRODUCCIÓN
2. GENERALIDADES SOBRE CALIDAD DEL AIRE
  - 2.1. Contaminantes Atmosféricos: Caracterización y Fuentes
    - 2.1.1 Compuestos de Carbono
    - 2.1.2 Compuestos de Nitrógeno
    - 2.1.3 Compuestos de Azufre
    - 2.1.4 Oxidantes Fotoquímicos
    - 2.1.5 Otros Contaminantes tóxicos
    - 2.1.6 Partículas
    - 2.1.7 Ruido
  - 2.2. Efectos de la contaminación
    - 2.2.1 Efectos en la Salud Humana
    - 2.2.2 Efectos Económicos
3. MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY
  - 3.1. Red de Monitoreo Atmosférico
  - 3.2. Índice Metropolitano de Calidad del Aire
  - 3.3. Ruido
4. DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY
  - 4.1. Condiciones Geográficas y Meteorológicas
  - 4.2. Diagnóstico de la Calidad del Aire 1993-1996
    - 4.2.1 Análisis por Contaminante
    - 4.2.2 Análisis por Zona
  - 4.3. Diagnóstico de la Contaminación por Ruido
5. ANTECEDENTES EN EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN EL ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY
  - 5.1. Programa de Monitoreo Local de Fuentes Fijas
  - 5.2. Programa de Verificación Vehicular
    - 5.2.1 Antecedentes Generales
    - 5.2.2 La Verificación Vehicular en Nivel Mundial
    - 5.2.3 Descripción del Programa
6. INVENTARIO DE EMISIONES
  - 6.1. Consumo y Calidad de Combustibles
  - 6.2. Antecedentes en el Desarrollo de inventarios de Emisiones
    - 6.2.1 Caracterización de Partículas
    - 6.2.2 Fuentes Fijas
    - 6.2.3 Fuentes Móviles
  - 6.3. Inventario de Emisiones 1995
7. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA
  - 7.1. Objetivo
  - 7.2. Metas
  - 7.3. Estrategias
    - 7.3.1 Ciencia y Tecnología, Educación, Capacitación y Comunicación
    - 7.3.2 Cooperación Internacional
    - 7.3.3 Coordinación Intersectorial
    - 7.3.4 Gestión Ambiental
    - 7.3.5 Prevención y Control de la Contaminación
  - 7.4. Plan de Acción
    - 7.4.1 Ciencia y Tecnología, Educación, Capacitación y Comunicación
    - 7.4.2 Cooperación Internacional
    - 7.4.3 Coordinación Intersectorial
    - 7.4.4 Gestión Ambiental
    - 7.4.5 Prevención y Control de la Contaminación

## BIBLIOGRAFÍA

## GLOSARIO

## ANEXOS

## ***LISTA DE FIGURAS***

Figura 1	Ubicación de la red de monitoreo de la calidad del aire en el AMM	36
Figura 2	Promedios mensuales de velocidad del viento por zona, 1996	44
Figura 3	Horas sobre la norma por contaminante (1993-1996)	48
Figura 4	Horas sobre la norma por zona (1993-1996)	49
Figura 5	Consumo promedio de gasolinas en el AMM	66
Figura 6	Distribución de frecuencias IMECA 1996 y 2000	85

## **LISTA DE TABLAS**

Tabla 1	Equipo de monitoreo de la calidad del aire en estaciones fijas	36
Tabla 2	Equipo de monitoreo de la calidad del aire en unidad móvil	38
Tabla 3	Normas Oficiales Mexicanas de calidad del aire	39
Tabla 4	Concentraciones de referencia	40
Tabla 5	Ecuaciones de transformación de unidades de concentración de contaminante a puntos IMECA	40
Tabla 6	Interpretación de los valores IMECA	40
Tabla 7	Niveles promedio de ruido en el Municipio de Monterrey	50
Tabla 8	Niveles de ruido promedio en el interior de viviendas por estrato socioeconómico	51
Tabla 9	Niveles promedio de ruido emitido por giro industrial	52
Tabla 10	Parque vehicular del AMM	59
Tabla 11	Número de vehículos de transporte público	59
Tabla 12	Porcentaje de cumplimiento del Programa de Verificación Vehicular por los vehículos particulares	60
Tabla 13	Porcentaje de cumplimiento del Programa de Verificación Vehicular por el transporte urbano	61
Tabla 14	Porcentaje de consumo de combustibles por sector en el AMM, 1995	66
Tabla 15	Comparación de especificaciones y valores típicos de la gasolina Pemex Magna	67
Tabla 16	Especificaciones de la gasolina Premium	68
Tabla 17	Comparación de especificaciones y valores típicos de la gasolina Nova	68
Tabla 18	Comparación de especificaciones y valores típicos del Pemex Diesel	69
Tabla 19	Inventario de emisiones para el AMM 1995 (Ton/Año)	76
Tabla 20	Inventario de emisiones para el área metropolitana de Monterrey 1995 (porcentaje por contaminante)	76
Tabla 21	Inventario de emisiones desagregado para el AMM, 1995 (Ton/Año)	77
Tabla 22	Inventario de emisiones en porcentaje en peso por contaminante para el AMM, 1995 (%)	78
Tabla 23	Clasificación de las medidas por tipo de estrategia	108
Tabla 24	Clasificación de las medidas con base en el inventario de emisiones	111
Tabla A-1	Horas sobre la norma por contaminante y zona, 1993	135
Tabla A-2	Horas sobre la norma por contaminante y zona, 1994	135
Tabla A-3	Horas sobre la norma por contaminante y zona, 1995	135
Tabla A-4	Horas sobre la norma por contaminante y zona, 1996	135
Tabla A-5	Días sobre la norma por contaminante y zona 1993	136
Tabla A-6	Días sobre la norma por contaminante y zona 1994	136
Tabla A-7	Días sobre la norma por contaminante y zona 1995	136
Tabla A-8	Días sobre la norma por contaminante y zona 1996	136
Tabla A-9	Valores máximos IMECA por contaminante y zona, 1993	137
Tabla A-10	Valores máximos IMECA por contaminante y zona, 1994	137
Tabla A-11	Valores máximos IMECA por contaminante y zona, 1995	137
Tabla A-12	Valores máximos IMECA por contaminante y zona, 1996	137

## **PRESENTACIÓN**

Son diversas las causas que, a través del tiempo, han conducido al estado actual de contaminación de la cuenca atmosférica del Área Metropolitana de Monterrey (AMM). Desde la década de los años cuarenta el despegue industrial en el estado de Nuevo León trajo consigo la concentración de la planta industrial en Monterrey. El periodo de mayor crecimiento de este sector se dió en los años sesenta debido, entre otros factores, al despliegue de estrategias internas de fomento industrial tales como precios bajos de energéticos y bienes y servicios básicos como agua, transporte y manejo de basura. La política de tarifas eléctricas contribuyó a diseños de alto consumo mientras que los bajos precios de las gasolinas facilitaron el crecimiento acelerado del parque vehicular sin imponer restricciones en cuanto a su rendimiento por viajero.

El dinamismo económico así originado coincidió con un proceso intenso de urbanización que ha desembocado en la extensión del área metropolitana con diez municipios (Apodaca, Cadereyta, García, General Escobedo, Guadalupe, Juárez, Monterrey, San Nicolás de los Garza, San Pedro Garza García y Santa Catarina) que albergan una población de cerca de tres millones de habitantes, que corresponde al 83% del total del estado de Nuevo León. En este proceso de desarrollo se ha observado un crecimiento acelerado de las zonas periféricas que trajo consigo la expansión de los marcos espaciales de las actividades urbanas junto con un incremento agudo de la demanda de transporte masivo e individual y en el consumo de combustibles, lo que ha llevado a un deterioro gradual en la calidad del aire. Restaurarla es uno de los desafíos más importantes que enfrenta nuestra sociedad actualmente.

En este orden de ideas se ha elaborado el *Programa de Administración de la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Monterrey 1997-2000* siguiendo fielmente las directrices de política ambiental señaladas en el *Plan Estatal de Medio Ambiente 1995-2020* que, siendo el primer plan ambiental a nivel de Estado que tomó como referencia el marco conceptual del *Programa de Medio Ambiente 1995-2000* y el *Plan Nacional de Desarrollo 1995-2000*, fue presentado ante autoridades de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca el 25 de Septiembre de 1996.

El Programa presenta acciones específicas eminentemente preventivas que, en el mediano plazo, traerán consigo una mejora sustancial de la calidad del aire que respiran los habitantes del AMM salvaguardando su salud y contribuyendo al desarrollo urbano sustentable de la metrópolis. Con la aplicación de las medidas del Programa se logrará paulatinamente la reducción de cerca del 10 % de las emisiones de hidrocarburos, más del 30% de las de partículas y de las de óxidos de nitrógeno, con lo que se estima que el porcentaje de días en que se rebasa alguna norma de calidad del aire bajará de un 18% actual a alrededor del 10%.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Para la elaboración del Programa se contó con la aportación de ideas del sector educativo, industrial, gubernamental y no gubernamental con lo que se ha logrado un documento balanceado que cubre las expectativas de la comunidad metropolitana.

El documento está organizado en tres partes, los primero cuatro capítulos proveen un marco conceptual y una base de la situación actual de la calidad del aire en el AMM. La segunda parte, integrada por el capítulo quinto revisa los esfuerzos realizados hasta la fecha para el control de la contaminación atmosférica. La tercera y última parte corresponde a los aspectos propositivos del Programa: un inventario de emisiones preliminar y un conjunto de acciones concretas cuyo objetivo es la reducción significativa de dichas emisiones. A continuación se presenta brevemente el contenido de cada capítulo.

El primer capítulo corresponde a una descripción de los contaminantes más frecuentemente encontrados en las cuencas atmosféricas de centros urbanos y enumera los principales efectos sobre la salud humana y sobre la economía que causa la contaminación del aire. Se incluyó el ruido por ser un agente físico de contaminación que ha tomado un lugar preponderante en las preocupaciones expresadas por nuestra comunidad sobre todo en la última década. A continuación se dedica un capítulo a la medición de la calidad del aire en el área metropolitana, donde se explica la localización y funcionamiento de la red de monitoreo y el significado del índice metropolitano de la calidad del aire, y se presenta un diagnóstico completo y actualizado de la información desde el inicio de la operación de la red de monitoreo. Inmediatamente después se describen los esfuerzos institucionales más importantes que se han realizado para controlar la contaminación atmosférica en el Área Metropolitana de Monterrey. Enseguida se dedica un capítulo completo a presentar y analizar el primer inventario de emisiones desarrollado para la ciudad, y en el cual se basan en gran medida las acciones propuestas dentro del programa. A esto sigue una descripción detallada del Programa. Se estableció una meta general y metas a corto, mediano y largo plazo las que se alcanzarán por medio del cumplimiento de treinta y un acciones. Luego de describir detalladamente las acciones, éstas se presentan agrupadas según su incidencia en las emisiones provenientes del sector industrial, el sector servicios, el sector transporte y las fuentes naturales, incluyéndose para cada una de las acciones una evaluación de costos y un estimado en la reducción de emisiones.

En la elaboración del Programa se incorporó la política de autorregulación como instrumento de cumplimiento. Según el *Programa de Medio Ambiente 1995-2000*, la

responsabilidad y los beneficios de los problemas ambientales no recaen exclusivamente en el ámbito gubernamental. En este sentido, señala el documento, es importante fomentar el desarrollo de esquemas voluntarios que procuren el mejoramiento ambiental a través de la minimización de residuos e insumos y de cambios en procesos hacia tecnologías más limpias. La promoción de actividades de autorregulación, prosigue, constituye un instrumento de política ambiental de gran importancia, en la medida en que tienen implícito un compromiso que rebasa las obligaciones formales de quienes se incorporan a estos esquemas.

Asimismo se introdujeron instrumentos económicos como medida de incentiva-  
ción. Al respecto, el *Plan Nacional de Desarrollo 1995-2000*, define que el factor de promoción en la regulación ambiental estará dado por un sistema de incentivos que, a través de normas e instrumentos económicos, alienten a productores y consumidores a tomar decisiones que apoyen la protección del ambiente y el desarrollo sustentable. El uso de instrumentos económicos, señala, evitará que quienes provoquen daños ambientales, trasladen su costo a los demás productores y a los consumidores y permitirá, además, que quienes protejan el ambiente y los recursos naturales reciban estímulos permanentes.

Para la instrumentación del Programa se contempla la conformación de un grupo multisectorial de trabajo –la Comisión Metropolitana para el Mejoramiento de la Calidad del Aire– que evaluará periódicamente el avance en la ejecución de las acciones del mismo con lo que se asegurará su oportuno seguimiento.

## **2. GENERALIDADES SOBRE CALIDAD DEL AIRE**

### **2.1 Contaminantes atmosféricos: caracterización y fuentes**

En este capítulo se hace referencia a los principales contaminantes de las atmósferas urbano-industriales, sus fuentes y efectos sobre los organismos vivos, sus bienes y el clima.

#### **2.1.1 Compuestos de carbono**

Los compuestos gaseosos del carbono encontrados en la atmósfera comprenden un amplio espectro dentro de la química orgánica. El carbono puede formar enlaces con elementos tales como hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre, y al mismo tiempo puede combinarse con sí mismo para formar cadenas ramificadas o no ramificadas, ciclos o sistemas cadena-ciclo. Muchos compuestos gaseosos de carbono como el metano, el bióxido de carbono, el monóxido de carbono, los terpenos y otros compuestos volátiles se emiten en la naturaleza como resultado de procesos biológicos, actividad volcánica, incendios forestales, filtración de gas natural, etc. En áreas habitadas por el hombre las emisiones del comercio, la industria y el transporte se concentran altamente en las áreas urbanas y generan elevadas concentraciones locales de compuestos orgánicos y productos de combustión de combustibles fósiles.

#### **Óxidos de carbono**

El carbono es un elemento no metálico que puede encontrarse bien en estado puro o bien asociado a otros elementos para formar diversos compuestos orgánicos e inorgánicos tales como carbón, petróleo y piedra caliza. El carbono, que es ampliamente utilizado como combustible, libera monóxido y bióxido de carbono durante el proceso de combustión; este último participa al cambio climático global, contribuyendo al efecto de invernadero.

##### *Monóxido de carbono*

El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro, inodoro, insípido y ligeramente menos denso que el aire, producto de la combustión incompleta del carbono. Se le considera como un asfixiante peligroso porque se combina fuertemente con la hemoglobina de la sangre y reduce la capacidad sanguínea de transportar oxígeno a los tejidos. Entre las principales fuentes antropogénicas de monóxido de carbono caben distinguir: la combustión de combustibles en fuentes estacionarias y por los transportes, la disposición de residuos sólidos, las emisiones fugitivas en procesos industriales y las actividades de quema agrícola.

## Hidrocarburos

Por sí mismos, los hidrocarburos en el aire tienen relativamente una baja reactividad. Sin embargo, en presencia de luz y óxidos de nitrógeno reaccionan para formar oxidantes fotoquímicos, predominantemente ozono. Los dos grupos de hidrocarburos de mayor importancia en relación a la contaminación atmosférica son los hidrocarburos aromáticos y los hidrocarburos oxigenados.

### *Hidrocarburos aromáticos*

En este grupo cabe destacar el benceno y los hidrocarburos policíclicos aromáticos.

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 tóxico y el desarrollo del cáncer. Mas 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 realizados en Los Angeles 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 combustible en el Área Metropolitana de Monterrey (AMM), 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 elevados de este hidrocarburo.

Los *hidrocarburos policíclicos aromáticos* (HPAs) aparecen como producto de la combustión de compuestos orgánicos. Tanto las fuentes fijas como las fuentes móviles emiten HPAs. Entre las fuentes fijas cabe mencionar a la calefacción residencial, la generación de energía eléctrica, los procesos industriales y la incineración. Mas específicamente, las estufas a carbón y a madera y las chimeneas a madera producen HPAs por la combustión incompleta del combustible a baja temperatura. En cuanto al sector industrial, la producción de coque y el craqueo catalítico del petróleo son procesos en los que se emiten HPAs. El negro de humo, pigmento utilizado ampliamente en la fabricación de llantas, es otra fuente industrial de HPAs. Las actividades de quema agrícola, incendios forestales, combustión al cielo abierto de llantas y basura son importantes emisores de los HPAs. Las fuentes móviles donde se emiten incluyen a los automóviles a gasolina y diesel, a los vehículos con motores a dos tiempos como motocicletas y podadoras, el desgaste de llantas, los aviones y los barcos.

Entre los HPAs existen algunos que son carcinógenos y otros que son mutágenos. Los factores de toxicidad de los HPAs incluyen la capacidad de adsorción del compuesto, el número de átomos de carbono de la molécula (la potencia carcinógena es baja para aquellas moléculas que contienen menos de cuatro anillos de benceno), la presencia de grupos epoxi (los epóxidos producen cáncer) y de grupos metilo.

El fluoranteno, pireno, benzoantraceno, benzofluoranteno y benzopireno son algunos ejemplos de hidrocarburos policíclicos aromáticos.

#### *Hidrocarburos oxigenados*

Comprenden alcoholes, aldehídos, cetonas, éteres, ésteres y ácidos orgánicos. Las industrias química, del plástico y de pintura son fuentes emisoras de hidrocarburos oxigenados en forma de vapor. El formaldehído es uno de los compuestos más comúnmente identificados en emisiones de este tipo. Las principales fuentes de emisión de formaldehído corresponden a procesos de combustión (generación de energía eléctrica, calefacción residencial, incineradores), uso industrial y manufactura de formaldehído, procesamiento del petróleo e incendios forestales. Los automóviles que utilizan gasolina o diesel como combustibles son también emisores de este contaminante. 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.

### **2.1.2 Compuestos de nitrógeno**

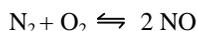
El nitrógeno ( $\text{N}_2$ ) es una molécula diatómica muy estable cuya composición en la atmósfera es de un 78%. Ayuda a neutralizar el poder oxidativo del oxígeno atmosférico y forma un gran número de compuestos, muchos de los cuales son esenciales para la materia viva. Estos se originan en procesos naturales como la fijación bacteriana, el crecimiento y decaimiento biológico, las tormentas eléctricas y los incendios forestales. En zonas de alta concentración urbana existe un amplio número de actividades agrícolas, domésticas e industriales como fuente de compuestos de nitrógeno. En estado oxidado forma siete óxidos y un gran número de nitro-, nitroso-, nitrito- y nitrato- derivados. En estado reducido el nitrógeno forma compuestos como amoníaco, aminas, amidas, aminoácidos y nitrilos.

## Óxidos de nitrógeno

En la atmósfera solamente se encuentran cantidades apreciables de óxido nítrico y bióxido de nitrógeno, que a menudo se analizan juntos y se les da el nombre de "óxidos de nitrógeno" (NOx).

### Óxido nítrico

Es un gas incoloro, inodoro e insípido. Se produce naturalmente como resultado de la actividad biológica y de procesos de combustión. En el aire es oxidado rápidamente por el ozono atmosférico y por procesos fotoquímicos y más lentamente por el oxígeno para formar bióxido de nitrógeno. Como contaminante, el óxido de nitrógeno se produce en gran medida por procesos de combustión tanto en fuentes fijas como en fuentes móviles. En el rango de altas temperaturas de la zona de combustión, el nitrógeno reacciona con el oxígeno para formar óxido nítrico:



Esta reacción es endotérmica y se desplaza a la derecha a altas temperaturas. A temperaturas bajas el equilibrio se desplaza a la izquierda casi completamente pero la velocidad de recombinación es extremadamente baja. En consecuencia, la cantidad de óxido nítrico emitido es función de la estructura de la llama y de la temperatura, así como de la velocidad a la que se enfría la mezcla de combustión. Si la velocidad de enfriamiento es rápida el equilibrio no se mantiene y la concentración de óxido nítrico, aunque termodinámicamente inestable, permanece elevada. Con ayuda de un catalizador apropiado la reacción puede revertirse. En los gases de escape de un automóvil, donde existen altas concentraciones y temperaturas, una parte del óxido nítrico –aproximadamente del 0.5 al 10%– se oxida a bióxido de nitrógeno.

Otro factor importante en la producción de óxidos de nitrógeno durante el proceso de combustión es la relación aire/combustible utilizada. Para mezclas ricas (relación aire/combustible baja), las temperaturas de llama son bajas, la combustión es incompleta, las emisiones de hidrocarburos y de monóxido de carbono son altas y las emisiones de óxidos de nitrógeno son bajas. A relaciones aire/combustible más altas, la temperatura de llama aumenta y los óxidos de nitrógeno aumentan hasta que la relación aire/combustible es mayor que el punto estequiométrico para después disminuir rápidamente a medida que el exceso de aire enfría la llama.

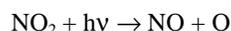
En una atmósfera contaminada, el óxido nítrico se oxida a bióxido de nitrógeno principalmente por medio de reacciones fotoquímicas secundarias. En un día típico la concentración de óxido nítrico alcanza su máximo durante las horas pico de tráfico en las primeras horas de la mañana. Al salir el sol se inician una serie de reacciones fotoquímicas que convierten el óxido nítrico en bióxido de nitrógeno. En unas cuantas horas el bióxido de nitrógeno alcanza un máximo simultáneamente reaccionando fo-

toquímicamente para formar ozono y otros oxidantes. Eventualmente tanto el bióxido de nitrógeno como el ozono desaparecen para formar, entre otros, compuestos orgánicos nitrados, peróxidos y aerosoles. El ciclo se repite al día siguiente. Si la masa de aire no se disipa o es devuelta por causa del viento, los gases residuales se unen a los contaminantes del nuevo día.

#### *Bióxido de nitrógeno*

Es un gas de color pardo rojizo con olor acre e irritante. Las emisiones naturales se deben principalmente a procesos biológicos en los que los nitratos se convierten a nitritos, a lo que sigue la conversión a ácido nitroso ( $\text{HNO}_2$ ), descomposición a óxido nítrico y, finalmente, oxidación a bióxido de nitrógeno. Es también un producto o subproducto de industrias manufactureras de fertilizantes y de explosivos.

El bióxido de nitrógeno no es solamente un contaminante corrosivo e irritante por sí mismo, sino que además funciona como un sumidero de energía absorbiendo la luz del sol para formar óxido nítrico y oxígeno atómico:



El oxígeno atómico es muy reactivo. Se combina con oxígeno molecular para dar ozono e inicia una serie de reacciones fotoquímicas secundarias en cadena. Además el bióxido de nitrógeno reacciona en el aire con gotas o vapor de agua produciendo ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) que, incluso en pequeña concentración, puede corroer superficies metálicas, dañar la vegetación o decolorar tejidos en las inmediaciones de la fuente emisora.

### **2.1.3 Compuestos de azufre**

El azufre es un elemento no metálico que se encuentra en la naturaleza en estado libre o bien asociado con otros elementos y casi invariablemente se halla como impureza en el carbón y en combustibles derivados del petróleo. Cuando se queman combustibles que contienen azufre, éste reacciona con el oxígeno del aire y forma bióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y trióxido de azufre ( $\text{SO}_3$ ) como subproductos. El trióxido resulta aproximadamente de 1 a 5% de la concentración de los gases. En el aire el trióxido de azufre se combina rápidamente con agua para formar ácido sulfúrico con lo que fácilmente se forma un aerosol o neblina. Es así que el trióxido de azufre se asocia con la existencia de neblinas y una visibilidad deficiente. Otras fuentes emisoras son las plantas químicas, las operaciones de procesamiento de metales y la quema de basura.

#### *Bióxido de azufre*

Es un gas incoloro de olor acre e irritante. En el aire se oxida lentamente a trióxido de azufre y más rápidamente en presencia de oxígeno forma aerosoles acuosos. Iones de metales pesados en solución actúan como catalizadores de esta reacción, que

acaba cuando los aerosoles se tornan ácidos. En aire húmedo y en presencia de óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y partículas, el bióxido de azufre reacciona con mucha más celeridad.

Hoy en día el bióxido de azufre es uno de los contaminantes atmosféricos más importantes. Los esfuerzos hechos para controlar sus emisiones se han dirigido a la remoción del azufre de los combustibles o la eliminación del bióxido de azufre en la fuente de combustión. Los niveles excesivos de bióxido de azufre en el aire están asociados con un aumento considerable en enfermedades respiratorias crónicas y agudas. Las refinerías, fábricas de pulpa y papel, fundidoras, plantas químicas, acereras y generadoras de energía son las fuentes primarias de emisión de este gas.

#### **2.1.4 Oxidantes fotoquímicos**

##### **Ozono**

El ozono ( $O_3$ ) es un gas azulado, aproximadamente 1.6 veces más pesado que el aire y altamente reactivo. Se forma a partir de reacciones fotoquímicas en las que participan el oxígeno molecular y dos de los denominados precursores del ozono: los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos. Su concentración en la atmósfera depende de la altitud, siendo mayor en la estratósfera. A 20 km es de 0.20 ppm y en áreas rurales alejadas de fuentes de contaminación es de aproximadamente 0.02 ppm. El ozono, que es uno de los principales componentes del *smog*, puede causar problemas respiratorios serios como dificultad en la respiración y asma, y también puede reducir la resistencia a las infecciones. Químicamente, el ozono es muy reactivo y se combina prácticamente con cualquier material con el que se pone en contacto, incluso puede romper células y tejidos biológicos.

En los últimos diez años se han 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 cada tres años). 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 de 0.12 a 0.16 ppm, mientras llevan a cabo diferentes niveles de ejercicio.

Otros estudios sobre exposición prolongada (de 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.

El ozono que se encuentra en la parte superior de la atmósfera es necesario para proteger a la población humana de los rayos ultravioleta del sol. Sin embargo este ozono está siendo destruido por los clorofluorocarbonos (CFC) que son inertes, no tóxicos y se vaporizan a bajas temperaturas, con lo cual son excelentes como refrige-

rantes y como propulsores de gases en envases *spray*. Son buenos aislantes y por ello forman parte de materiales plásticos.

### **2.1.5 Otros contaminantes tóxicos**

#### **Asbesto**

El asbesto es básicamente una sustancia mineral fibrosa que, debido a sus pequeñas fibras, puede ser inhalado profundamente en los pulmones. La exposición a altos niveles de fibras de asbesto durante un periodo de años ocasiona una seria condición pulmonar crónica conocida como asbestosis, que es causada por la acumulación de cantidades elevadas de fibras que obstruyen físicamente los pasajes de aire de los pulmones y dañan así su funcionamiento.

#### **Mercurio**

El mercurio en cualquiera de sus formas químicas es muy tóxico. La exposición a altos niveles de este contaminante resulta en daños muy serios a muchos órganos, especialmente al cerebro y los riñones, y puede ocasionar la muerte. La exposición a bajos niveles de mercurio puede también tener efectos serios, sobre todo en el cerebro. Además el mercurio es un elemento móvil del medio ambiente y una vez liberado puede ciclar entre el aire, el suelo y el agua durante largos periodos de tiempo. Las principales fuentes emisoras de mercurio son el procesamiento de menas que contienen este metal y la producción de celdas de mercurio. Tanto el carbón como el petróleo contienen pequeñas cantidades de mercurio; cuando se queman liberan al aire la mayor parte de este metal. El mercurio se incluye también en el proceso de manufactura de algunos tipos de papel.

#### **Plomo**

El plomo se encuentra de forma natural en suelos, rocas y agua. Se emite a la atmósfera por fundidoras que recuperan el plomo primario de la mena y el plomo secundario de recortes de metal. Las emisiones de plomo también resultan de la combustión de ciertos combustibles como el carbón, así como del desgaste de la pintura de edificios. En las áreas urbanas con denso tráfico vehicular, una de las fuentes más importantes de plomo atmosférico son las emisiones de los gases de escape de los vehículos, dado que en las gasolinas se usan compuestos como el tetraetilo de plomo y el tetrametilo de plomo que actúan como anti-detonantes en el proceso de combustión.

### **2.1.6 Partículas**

Como partículas se entiende cualquier sustancia, excepto agua pura, que, bajo condiciones normales, existe como sólido o líquido en la atmósfera y tiene tamaño microscópico o submicroscópico mayor que las dimensiones típicas moleculares. Entre los constituyentes

de la atmósfera, este contaminante es único en complejidad pues es el resultado no solamente de la emisión directa de partículas sino también de ciertos gases que se condensan en forma de partículas directamente o sufren transformación química a una especie que se condensa en forma de partícula. Una descripción completa de las partículas atmosféricas requiere la especificación no solamente de su concentración sino también de su tamaño, composición química, fase y morfología.

Las partículas en forma de polvo, humo y aerosoles pueden tener un efecto en la salud a corto y largo plazos. Estos efectos van desde irritación de ojos y garganta a la reducción de la resistencia a infecciones y pueden dar origen a enfermedades respiratorias crónicas. Por ejemplo, las partículas de polvo transportadas por el viento pueden contener sustancias tóxicas como PCBs y pesticidas. Estas partículas también pueden dañar a la vegetación y a los edificios y reducir la visibilidad. Las fuentes más importantes de partículas incluyen fábricas de acero, plantas de generación de energía, cementeras, fundidoras, desmotadoras de algodón, obras de construcción y demolición, hornos y chimeneas que utilizan madera como combustible, áreas sujetas a erosión y motores diesel.

### **2.1.7 Ruido**

El ruido es un agente físico contaminante que puede definirse como todo sonido que cause molestias, interfiera con el sueño, trabajo o descanso, o que lesione o dañe física o psicológicamente al individuo, la flora, la fauna y a los bienes comunes o particulares. Al tratar el tópico del ruido se suele hacer una distinción entre el ruido laboral y el ruido ambiental. El primero está asociado al interior de los centros de trabajo, tal como su nombre lo indica. El ruido ambiental es consecuencia de la combinación de las diversas fuentes emisoras existentes en una comunidad como el producido por la transportación terrestre y aérea, maquinaria y equipo diverso de las plantas industriales, los equipos empleados en la construcción y los enseres domésticos. De entre los efectos que produce el ruido en el organismo humano el que resulta más evidente es, sin duda, el daño al mecanismo de la audición. Sin embargo, se han encontrado también efectos de índole fisiológico, psicológico y social.

## **2.2 Efectos de la contaminación atmosférica**

Existe una evidencia sustancial que demuestra que la contaminación atmosférica afecta a la salud humana y la de los animales, daña la vegetación y el suelo, produce el deterioro de materiales, afecta al clima, reduce la visibilidad y la radiación solar, y, en general, interfiere con el disfrute de la vida y las posesiones. Aunque algunos de estos efectos son específicos y mensurables como los daños a la vegetación y a los bienes materiales y la visibilidad reducida, otros son difíciles de medir, como los efectos sobre la salud de seres humanos y animales y las alteraciones a la comodidad de la vida.

## 2.2.1 Efectos en la salud humana

Las enfermedades del sistema respiratorio se correlacionan generalmente con la contaminación atmosférica. La estructura y el funcionamiento del sistema respiratorio puede ser seriamente alterada por los contaminantes atmosféricos. El bióxido de azufre, el bióxido de nitrógeno, el ozono, el monóxido de carbono, los gases orgánicos y las partículas son probablemente las sustancias que causan los problemas respiratorios más graves.

### Monóxido de carbono

Los efectos de la exposición a monóxido de carbono se reflejan en la capacidad sanguínea de transporte de oxígeno. En su funcionamiento normal las moléculas de hemoglobina de las células sanguíneas transportan oxígeno, que es intercambiado con bióxido de carbono a nivel de arterias y venas. El monóxido de carbono es relativamente insoluble y alcanza fácilmente los alveolos y junto con el oxígeno se difunde a través de las paredes del alveolo, compitiendo con el oxígeno por uno de los emplazamientos de hierro de la molécula de hemoglobina. La afinidad del monóxido de carbono por el hierro es aproximadamente 210 veces mayor que la del oxígeno por lo que la competencia es extremadamente efectiva. Cuando la hemoglobina capta una molécula de monóxido de carbono se convierte en carboxihemoglobina (COHb), que disminuye la capacidad sanguínea global para transportar oxígeno a las células.

Una exposición de ocho horas a una concentración de monóxido de carbono de 100 ppm ocasiona dolor de cabeza y reduce la agudeza mental. Si esta concentración es de 300 ppm el dolor de cabeza se agrava fuertemente y se acompaña por vómitos e incluso el colapso. Finalmente, a concentraciones de 600 ppm se entra en estado de coma y eventualmente se produce la muerte. Los niveles típicos de monóxido de carbono en las áreas urbanas van de 5 a 50 ppm, presentando el riesgo más serio a la exposición a este gas los automovilistas en vialidades muy congestionadas donde se alcanzan niveles de hasta 100 ppm.

Se han reportado efectos neuronales y de comportamiento en adultos jóvenes y saludables con niveles de carboxihemoglobina de tan sólo 5%, observándose deficiencias en los movimientos de coordinación entre las manos y los ojos, en el nivel de alerta (detección de sucesos imprevistos) y en la sensibilidad del sistema visual. Cualquier condición que reduzca la provisión de oxígeno al cerebro en un individuo, le hace un candidato razonable para padecer los efectos de un nivel elevado de carboxihemoglobina. Respecto a esto, es conocido que los individuos de edad avanzada tienen una provisión deficiente de oxígeno al cerebro. Estudios llevados a cabo en pacientes con alteraciones arteriales coronarias severas han demostrado que bajas concentraciones de monóxido de carbono pueden afectar adversamente el metabolismo del miocardio.

### **Óxidos de nitrógeno**

No existe evidencia disponible sobre la peligrosidad a la salud del óxido nítrico a los niveles encontrados en la atmósfera urbana. Sin embargo, existen estudios que indican que el bióxido de nitrógeno incrementa la susceptibilidad a infecciones bacterianas pulmonares. El bióxido de nitrógeno es conocido por ser un agente irritante de los alveolos pulmonares que lleva al padecimiento de síntomas similares a los de un enfisema después de una exposición larga a concentraciones de 1 ppm.

### **Óxidos de azufre**

La exposición a niveles de bióxido de azufre del orden de 1 ppm lleva a la constricción de las vías respiratorias. En individuos asmáticos causa una bronco constricción significativa a concentraciones relativamente bajas (0.25 y 0.50 ppm). Aunque se han llevado a cabo estudios del tipo concentración-respuesta y se dispone de alguna información de los efectos a exposiciones constantes acompañadas de diferentes niveles de ejercicio físico, es deseable conocer la contribución relativa de la concentración de bióxido de azufre, nivel de ejercicio y tiempo de exposición.

Es importante hacer notar que más de un contaminante puede inducir el mismo efecto. Por ejemplo, el bióxido de azufre y el formaldehído producen irritación y resistencia a la conducción de aire en la parte superior del tracto respiratorio, y tanto el monóxido de carbono como el bióxido de nitrógeno interfieren en el transporte de oxígeno por la hemoglobina.

Varios contaminantes suelen estar presentes al mismo tiempo y, como resultado, los efectos observados pueden ser realmente atribuibles a la acción combinada de más de un contaminante. Así, niveles elevados de bióxido de azufre se asocian con frecuencia con concentraciones altas de partículas. El hecho de que se observe un incremento de tres a cuatro veces mayor en la respuesta irritante a la exposición a bióxido de azufre en presencia de partículas es probablemente atribuible a la habilidad de las partículas de aerosol de transportar bióxido de azufre a la profundidad de los pulmones.

### **Oxidantes fotoquímicos**

Con el término oxidantes fotoquímicos se hace referencia al ozono y a otros oxidantes secundarios formados a partir de reacciones fotoquímicas. El efecto del ozono en la función pulmonar no está totalmente entendido. En general el ozono a niveles de aproximadamente 1 ppm produce un estrechamiento de las vías respiratorias en las zonas pulmonares profundas, lo cual resulta en un aumento a la resistencia del paso del aire. Los efectos de la exposición prolongada a niveles típicos de ozono de áreas urbanas – aproximadamente 0.1 a 0.2 ppm– no se han establecido claramente todavía. Otro efecto de los oxidantes fotoquímicos es la irritación ocular. Aquellos compuestos que han sido identificados como irritantes son el formaldehído, la acroleína y miembros de la familia de los nitratos de peroxiacetilo.

## Otros contaminantes tóxicos

### *Asbesto*

Las fibras de asbesto se depositan en los pulmones y traen consigo reacciones fibróticas y rigidez del pulmón ocasionando dificultades en la respiración. El asbesto puede causar cáncer a individuos expuestos por largo tiempo. En un estudio realizado por Selikoff y Hammond<sup>1</sup> a trabajadores que utilizaban aislantes de asbesto se comprobó que la frecuencia de enfermedades respiratorias, incluyendo cáncer de pulmón, es tal que causa el doble de muertes para aquellos individuos que trabajaron con asbesto durante más de veinte años que lo que cabría esperar. El riesgo de contraer cáncer para el caso de trabajadores expuestos a asbesto está aparentemente relacionado con la dosis. La presencia de cáncer de pulmón es mucho más común entre los fumadores expuestos a asbesto que en fumadores no expuestos. Además no se detecta un exceso de incidencia de cáncer de pulmón entre los no fumadores que se ven sometidos a exposición de asbesto.

### *Mercurio*

Uno de los efectos más comunes después de la exposición crónica al mercurio metálico son las alteraciones del comportamiento y también se pueden presentar molestias locales como estomatitis y gingivitis (inflamación de la boca y encías). También se ha prestado mucha atención a casos de micro mercurialismo que es un síndrome con síntomas no específicos como cansancio anormal, irritabilidad, deterioro de la memoria y pérdida de autoestima. Asociados a este síndrome se detectaron también cambios funcionales de los sistemas cardiovascular, urogenital y endocrino. Según Trachtenberg<sup>2</sup> esta sintomatología se origina por el daño producido a los centros corticales del sistema nervioso central. Otros estudios muestran la detección de funcionamientos anómalos de la glándula tiroides después de algunos meses de exposición a concentraciones muy bajas de mercurio (0.01-0.02 mg Hg/m<sup>3</sup>). También se han reportado cambios en los reflejos condicionados a incluso concentraciones inferiores.

### *Plomo*

Según diversos estudios el 35% del plomo inhalado por el hombre se deposita en los pulmones mientras que aproximadamente el 10% del plomo ingerido en los alimentos y las bebidas es absorbido por el organismo. No es posible estimar, a partir de datos metabólicos, el aporte del plomo atmosférico a la ingesta total diaria. Sin embargo, si se utilizan los valores persistentes de plomo en sangre como medida de absorción plúmbica, cabe suponer, que una exposición continua de 1 µg de plomo por m<sup>3</sup> de aire produce niveles de plomo de 1.0-2.0 µg/100 ml de sangre.

---

<sup>1</sup> Selikoff, I. J., Hammond, E. C., *J. Amer. Med. Ass.* **188**, pp. 22-26 (1964).

<sup>2</sup> Trachtenberg, I.M., *The Chronic Action of Mercury on the Organism. Current Aspects of the Problem of Micromercurialism and Its Prophylaxis*, Zdorov'ja, Kiev (1969).

El plomo se acumula en el organismo en un compartimento amplio de renovación lenta y en otro más pequeño donde la renovación es más rápida. Anatómicamente el compartimento más grande se localiza principalmente en los huesos y en él la cantidad de plomo aumenta durante toda la vida. El compartimento menor corresponde a los tejidos blandos e incluye la sangre. Los niveles de plomo en los tejidos blandos y en la sangre se elevan hasta comienzos de la edad adulta y a partir de entonces se modifican muy poco. En el sistema hematopoyético se observan efectos a concentraciones de plomo en sangre inferiores a las de los demás sistemas, entre ellos la disminución de la concentración de hemoglobina, lo cual es indicación clara de efectos adversos. La concentración sin efecto detectado corresponde en este caso a una concentración de plomo en sangre equivalente a 50µg/100 ml en adultos y 40 µg/100 ml en niños.

Los efectos del plomo inorgánico sobre el sistema nervioso central han sido objeto de intenso estudio en años recientes, especialmente las ligeras modificaciones del comportamiento. Se ha determinado una concentración sin efecto detectado inferior a la observada en encefalopatía clásica debida al plomo. Los valores estimados señalan un valor de plomo en sangre de 60-70 µg/100 ml en adultos y 50-60 µg/100 ml en niños. Los efectos renales del plomo son de reducción de la capacidad de filtración que puede culminar en insuficiencia renal. No se ha podido señalar todavía una concentración sin efecto detectado.

### **Partículas**

Este contaminante entra al cuerpo humano por vía respiratoria. El sistema respiratorio tiene diferentes niveles de defensa contra la invasión de material extraño. Las partículas grandes son eliminadas de la corriente de aire a nivel de las fosas nasales. Sin embargo, en la gama de tamaños inferiores a aproximadamente 10 µm la velocidad de sedimentación es insignificante comparada con el movimiento producido por el viento y la turbulencia del aire. Estas partículas tienden a permanecer en suspensión durante períodos de horas o días hasta que son eliminadas por el impacto con superficies o la difusión sobre las mismas, o son barridas por la lluvia. Son estas partículas en suspensión las más importantes en relación con la salud humana no sólo porque permanecen en la atmósfera durante más tiempo que las partículas más grandes, sino también porque son suficientemente pequeñas para ser inhaladas y penetrar profundamente en las vías respiratorias.

Datos epidemiológicos demuestran que la exposición a partículas se asocia con una incidencia mayor de enfermedades respiratorias, bronquitis crónica, bronco constricción, decremento en las funciones pulmonares y aumento de las tasas de mortalidad. Entre los efectos adversos asociados con exposiciones cortas a partículas en suspensión se encuentra el aumento de ataques de asma.

### **Ruido**

El ruido puede perturbar el trabajo, el descanso, el sueño y la comunicación con los seres humanos, puede dañar la audición y provocar otras reacciones psicológicas, fisiológicas y

patológicas. Aunque no se cuenta con muchas pruebas que lo confirmen, se cree que la interferencia en la comunicación oral durante las actividades laborales puede provocar accidentes causados por la incapacidad de oír llamadas de advertencia u otras indicaciones. Tanto en oficinas como en escuelas y hogares, la interferencia en la conversación constituye una fuente importante de molestias.

El ruido puede provocar pérdida de audición temporal o permanente. El desplazamiento temporal del umbral inducido por el ruido representa una pérdida transitoria de agudeza auditiva, sufrida después de una exposición relativamente breve al ruido excesivo. Al cesar éste, se recupera con bastante rapidez la audición que se tenía antes de la exposición. El desplazamiento permanente del umbral inducido por el ruido constituye una pérdida irreversible por una exposición prolongada.

El ruido puede provocar dificultades para conciliar el sueño y también despertar a los que están dormidos. Se han efectuado minuciosos estudios de laboratorio acerca de este problema mediante la vigilancia de las respuestas electroencefalográficas y de la modificación de las reacciones neurovegetativas durante el sueño. Algunos estudios han indicado que la perturbación del sueño se manifiesta cada vez más a medida que los niveles de ruido ambiental sobrepasan los 35 dB(A). Se encontró que existe un 5% de probabilidades de que los sujetos despierten con un nivel acústico de 40 dB(A) y esas probabilidades aumentan al 30% con 70 dB(A).

El ruido es un causante de estrés. Así, se ha detectado una incidencia elevada de trastornos circulatorios, incluida la hipertensión, y trastornos diversos del sistema nervioso simpático, como dilatación pupilar, bradicardia, aumento de la conductancia cutánea y alteraciones de la movilidad gastrointestinal. El efecto del ruido sobre el rendimiento en el trabajo puede actuar como elemento de distracción y puede afectar también al estado psicofisiológico del individuo. Un acontecimiento nuevo, como el comienzo de un ruido extraño, causará distracción e interferirá en muchos tipos de tareas. Los ruidos impulsivos pueden producir efectos disociadores como resultado de sobresaltos. El ruido puede asimismo modificar el estado de alerta del individuo y aumentar o disminuir la eficiencia. Si bien no hay pruebas evidentes de relación directa entre el ruido y la fatiga, cabe considerar el ruido como una tensión ambiental que, sumada a otros factores ambientales e individuales, puede inducir fatiga crónica.

Hasta el momento los estudios sobre el impacto de la contaminación atmosférica en la salud de los habitantes del Área Metropolitana de Monterrey se han limitado a estudios puntuales que no han logrado establecer relaciones causa-efecto de manera clara. Por tanto es necesario promover y apoyar trabajos de investigación epidemiológica que permitan conocer tales relaciones.

## **2.2.2 Efectos económicos**

### **Efectos en animales**

Los animales respiran aire contaminado o comen pienso o yerba que han sido afectados por el depósito de residuos de contaminantes atmosféricos. Se ha reportado que el arsénico, que se libera al aire en forma de trióxido de arsénico durante el proceso de fundición de cobre, puede causar la muerte de ovejas, ganado vacuno y caballos. Un efecto similar es el que se obtiene del envenenamiento por molibdeno, que se genera en los procesos de producción de acero, plomo o zinc, provenientes de la fundición de estos dos metales.

El problema más serio para el ganado es la ingesta de flúor debido a que ciertas plantas que se utilizan como pienso o forraje poseen la habilidad de almacenarlo y concentrarlo, con lo que los animales ingieren grandes sobredosis de flúor. Los principales efectos son la aparición de manchas en los dientes, pérdida de peso, menor producción de leche, crecimiento de espolones en los huesos y, con el paso del tiempo, deformidad ósea tan acentuada que exige el sacrificio de los animales. Los contaminantes atmosféricos ocasionan una menor puesta de huevos en gallinas, una producción inferior de leche a las vacas y de lana a las ovejas.

### **Efectos en la vegetación**

La vegetación se afecta muy rápidamente a causa de la contaminación atmosférica. Al respecto se observa la destrucción de cosechas, y la aparición de manchas y decaimiento de matorrales y plantas ornamentales, que puede desencadenar en su destrucción completa. El bióxido de azufre entra a la hoja por el estoma y causa daños al limbo, apareciendo unas marcas de color marfil, marrón o marrón rojizo. Aunque una exposición breve a una baja concentración solamente daña la planta temporalmente, una exposición prolongada causa la muerte de las células vegetales. El ácido fluorhídrico es tóxico para algunas plantas a concentraciones extremadamente bajas. Las partículas de flúor pueden dañar a la planta cuando se absorben a través de la superficie de la hoja con lo que sus bordes aparecen quemados y resacos.

Los oxidantes fotoquímicos son un peligro serio para las plantas porque producen tanto daños visibles como no visibles. Los estomas de las hojas, a través de los cuales la planta absorbe el bióxido de carbono, se obturan y se cierran completamente. En concentraciones altas se produce la muerte de la planta, mientras que una exposición crónica a concentraciones bajas retrasará su crecimiento. Los oxidantes fotoquímicos más dañinos son el ozono y el nitrato de peroxiacetilo. El etileno, producto de las emisiones provenientes de automóviles, también toma parte en los procesos de destrucción de la vegetación.

### **Efectos en bienes materiales**

Los efectos sobre los bienes materiales son tanto físicos como resultado de reacciones químicas. Como resultado de la erosión de la superficie de los materiales por partículas se produce un desgaste de las superficies, provoca oradaciones en ellas e incluso puede llegar a destruirlas. Las partículas de polvo transportadas por las corrientes de aire se depositan en los edificios lo que obliga a tomar acciones de mantenimiento.

El ataque químico en los materiales puede deberse a la presencia de contaminantes gaseosos o partículas. Los factores que influyen en el deterioro de materiales incluyen la concentración del contaminante, las reacciones combinadas de diferentes contaminantes, la presencia de humedad, el efecto de la temperatura, la intensidad de luz solar y el grado de movimiento del aire, incluyendo la velocidad y dirección del viento.

El acero, hierro, zinc, latón, cobre, níquel, plomo, estaño y aluminio se corroen más rápidamente en áreas urbano-industriales. La piedra se daña por la combinación de bióxido de carbono o bióxido de azufre y agua, que forman ácido carbónico y ácido sulfúrico. Estos ácidos reaccionan con el carbonato de calcio para formar un bicarbonato soluble que se disuelve en agua, en el aire o en agua de lluvia. El ácido sulfhídrico reacciona con pinturas con base de plomo para formar un sulfuro rojo negruzco. Las superficies pintadas expuestas adquieren manchas y varían su color del gris marrón al negro. Normalmente es necesario volver a pintar para corregir esta condición.

Los contaminantes atmosféricos también afectan a los materiales textiles. Las ropas y tapicería han de ser limpiadas más frecuentemente, con lo que el desgaste es excesivo. Los tintes de material textil se aclaran y se decoloran por el aire contaminado con óxidos de nitrógeno, ozono y bióxido de azufre. Los oxidantes fotoquímicos pueden causar grietas en llantas de automóviles y el bióxido de azufre causa también grietas en papel y materiales de piel.

### **Efectos en las Condiciones Atmosféricas**

Los contaminantes del aire afectan las condiciones atmosféricas provocando reducción de la visibilidad, formación de niebla y precipitación, disminución de la radiación solar y alteración de la temperatura y de la distribución de vientos. Además actualmente hay un gran interés en explorar los posibles efectos de los contaminantes del aire, principalmente bióxido de carbono y partículas, sobre el clima global del planeta.

Quizá el efecto más evidente de la contaminación sobre las propiedades de la atmósfera es la reducción de la visibilidad, que es el resultado de la absorción y dispersión de la luz que provocan las moléculas de gas y las partículas. La absorción de luz de ciertas longitudes de onda por moléculas gaseosas y partículas es algunas veces responsable de las coloraciones de la atmósfera. Sin embargo, la dispersión de luz es el principal fenómeno responsable del deterioro de la visibilidad.

Además de este efecto, la contaminación del aire afecta los climas urbanos con un aumento de la formación de niebla y un decremento de la radiación solar. Se ha observado que la frecuencia en la formación de niebla es mayor en las ciudades que en el campo a pesar del hecho de que la temperatura del aire tiende a ser más alta y la humedad relativa a ser más baja en las ciudades que en el campo. La explicación de este hecho yace en el mecanismo de formación de la niebla. Con altas concentraciones de bióxido de azufre, las gotas de ácido sulfúrico formadas por la oxidación del bióxido sirven como núcleos de condensación para la formación de gotas de niebla pequeñas. Además de este fenómeno, se ha asociado un aumento en las precipitaciones en aquellas áreas con alta concentración de partículas.

### **3. MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY**

#### **3.1 Red de monitoreo atmosférico**

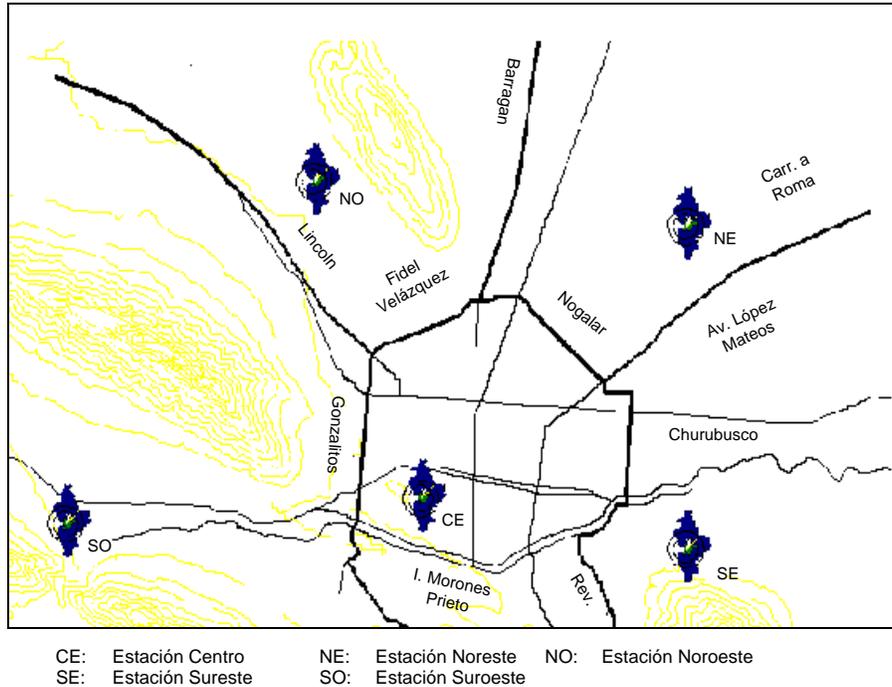
Para el diseño de estrategias de control de la contaminación atmosférica en el Área Metropolitana de Monterrey (AMM), la Subsecretaría de Ecología inició en 1992 el proyecto SIMA (Sistema Integral de Monitoreo Ambiental) que incluyó un proceso de planeación para la instalación de una red de monitoreo de la calidad del aire. El SIMA inició su operación a partir del 20 de noviembre de 1992 con la finalidad de contar con información continua y fidedigna de los niveles de contaminación ambiental en el AMM. Desde esa fecha, la población es puntualmente informada cada día del año sobre la calidad del aire.

La red de monitoreo de la calidad del aire cuenta actualmente con cinco estaciones fijas de monitoreo continuo, una estación de monitoreo móvil y un sistema Sodar Doppler para la medición de las condiciones meteorológicas. Llevar a cabo la verificación de los datos reportados sobre emisiones de fuentes fijas es uno de los proyectos más ambiciosos del SIMA en su fase siguiente de crecimiento y expansión.

La localización exacta de las estaciones de monitoreo dependió de un número de factores tales como: el tamaño del área a monitorear, la meteorología local, la concentración humana, la topografía de la zona, la dispersión de contaminantes y las consideraciones representativas de escalas para el objetivo específico de la red. La ubicación de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire (Figura 1) fue determinada tomando en cuenta estudios meteorológicos, de usos de suelo del área metropolitana y la densidad de población, que fue el factor principal de decisión debido al interés de conocer el impacto de la contaminación atmosférica en la salud.

Las estaciones de monitoreo de la calidad del aire son cabinas cerradas que contienen instrumentos para la medición de cinco diferentes contaminantes, sensores meteorológicos y sistemas para la adquisición y manejo de datos. Funcionan de manera continua y automática y su operación se supervisa desde un centro de cómputo. Cada una de las estaciones cuenta con equipos para el análisis de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, bióxido de azufre, ozono y partículas menores a 10 micras. En todas las estaciones de monitoreo se lleva a cabo la medición de la velocidad y dirección del viento y la temperatura, salvo en la estación sureste que cuenta con tres sensores meteorológicos adicionales de presión atmosférica, precipitación pluvial y radiación solar. En la Tabla 1 se enumera el equipo de medición de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire.

**Figura 1. Ubicación de la red de monitoreo de la calidad del aire en el AMM**



**Tabla 1 Equipo de monitoreo de la calidad del aire en estaciones fijas**

Parámetro medido	Nombre del equipo
Monóxido de Carbono	TECO GFC IR Modelo 48
Óxidos de Nitrógeno	TECO Quimioluminiscencia Modelo 42
Bióxido de Azufre	TECO Fluorescencia UV Modelo 43A
Ozono	Dasibi Espectrofotometría UV Modelo 1003-RS
Partículas Menores a 10 Micras	Wedding & Assoc. Beta Gauge Sampler
Velocidad de Viento	Met One Modelo 010
Dirección de Viento	Met One Modelo 020
Temperatura	Met One Modelo 060A
Presión Atmosférica*	Met One Modelo 090C-1
Precipitación Pluvial*	Met One Modelo 099-2
Radiación Solar*	Eppley Modelo 095

\* Solamente en la estación sureste

### **Estación centro**

Está localizada en las instalaciones de Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey en el área del Obispado. Esta estación fue ubicada para monitorear la contaminación de fuentes vehiculares e industriales y permite evaluar los efectos de la mezcla de contaminantes provenientes de fuentes fijas y de fuentes móviles en una zona residencial del centro del Área Metropolitana de Monterrey. Las mediciones de esta estación representan la contaminación urbana máxima de óxidos de nitrógeno y ozono principalmente.

### **Estación noreste**

Se encuentra ubicada en la colonia Unidad Laboral en San Nicolás de los Garza. Esta estación está localizada a favor del viento de un corredor industrial en un área altamente poblada. Aunque la estación no está afectada directamente por una industria en particular, en ciertos episodios meteorológicos se ha detectado la influencia de la planta termoeléctrica de la Comisión Federal de Electricidad. La estación noreste es utilizada para determinar los impactos de las fuentes fijas en la parte norte del Área Metropolitana de Monterrey.

### **Estación noroeste**

Esta estación está situada en los talleres de Metrorrey, en la colonia San Bernabé en Monterrey y se halla a favor del viento de salida de la mayoría de las fuentes industriales y del tráfico del AMM, en una zona de alta concentración de población. Es una de las mejores ubicaciones para medir concentraciones máximas de algunos contaminantes, como las partículas menores a 10 micras, los óxidos de nitrógeno y el ozono.

### **Estación sureste**

Está localizada en el parque La Pastora en Guadalupe a favor del viento de un limitado corredor industrial en una zona altamente poblada. La escala espacial es de vecindaria/urbana, como el resto de las estaciones de monitoreo, lo que da una representatividad de un área de aproximadamente 10 kilómetros alrededor. Esta estación no está influenciada por grandes fuentes industriales y es un buen sitio representativo de los niveles de contaminación urbanos del sureste del área metropolitana. Esta estación es importante porque permite detectar el incremento en los niveles de calidad del aire de entrada al AMM de este a oeste.

### **Estación suroeste**

Se encuentra ubicada en el centro de Santa Catarina a favor del viento de la mayoría de las fuentes industriales en Monterrey, San Pedro Garza García y Santa Catarina. Como la estación noroeste, esta estación es donde regularmente se presentan las más altas concentraciones de algunos contaminantes, como las partículas menores a 10 micras y ozono. Se ha comprobado que las mediciones de esta estación son representativas de las encontradas dentro del valle donde se encuentra localizada la estación.

### Unidad móvil de monitoreo de la calidad del aire

La unidad móvil de monitoreo de la calidad del aire está instalada sobre un camión, lo que le permite desplazarse hacia cualquier punto que se requiera monitorear. Esta unidad cuenta con equipo similar al de las estaciones de monitoreo fijas y dos analizadores adicionales para hidrocarburos totales y amoníaco. Con la operación de esta unidad se realizan programas de análisis específicos a las mediciones obtenidas de la red de monitoreo y programas de verificación del impacto de fuentes contaminantes. En la Tabla 2 se enumera el equipo de medición de la unidad móvil de monitoreo de la calidad del aire.

**Tabla 2. Equipo de monitoreo de la calidad del aire en unidad móvil**

Monóxido de carbono	TECO GFC IR Modelo 48
Hidrocarburos totales	Rotork Modelo 526
Óxidos de nitrógeno	TECO Quimioluminiscencia Modelo 42
Amoníaco	TECO Quimioluminiscencia Modelo 17
Bióxido de azufre	TECO Fluorescencia UV Modelo 43B
Ozono	Dasibi Espectrometría UV Modelo 1108-RS
Partículas menores a 10 micras	Wedding & Assoc. Beta Gauge Sampler
Velocidad de Viento	SAINCO Modelo EURO II
Dirección de Viento	SAINCO Modelo EURO II
Temperatura y humedad relativa	Thies Modelo 1.1005.51.015
Presión atmosférica	SAINCO Modelo PASCAL
Precipitación pluvial	Thies Modelo 5.4031.30.005
Radiación solar	Kipp & Zonnen Modelo CM 6B

### Sistema Sodar Doppler

Para conocer la dinámica atmosférica se cuenta con un equipo Sodar Doppler que se encuentra actualmente instalado en la estación sureste de la red de monitoreo de la calidad del aire. Este equipo mide parámetros tales como velocidad horizontal y vertical del viento, dirección del viento, altura de la capa de mezclado, altura de inversiones térmicas, perfil adiabático y estabilidad at-

mosféricas que permiten describir el comportamiento de la atmósfera hasta una altura de 1500 metros.

### 3.2 Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA)

Con el fin de informar a la población de los niveles de contaminación atmosférica se elabora un reporte diario del índice de la calidad del aire en el Área Metropolitana de Monterrey que se difunde a través de los medios de comunicación. En el reporte diario de la calidad del aire se incluyen las lecturas máximas registradas de cada contaminante en las cinco zonas de monitoreo, los datos meteorológicos, la presencia de inversiones térmicas, la descripción de las condiciones de contaminación existentes y cómo fueron afectadas por los parámetros meteorológicos.

La unidad en la que se reporta la calidad del aire se denomina Índice Metropolitano de Calidad del Aire (IMECA). Este índice se define en relación a las normas de calidad del aire, que se fijaron tomando como referencia niveles de concentración y tiempos de exposición de los contaminantes donde el ciudadano promedio puede desenvolverse sin que afecte de forma significativa su salud. Los niveles normados para cada contaminante son diferentes, ya que la vulnerabilidad del ser humano es diferente ante cada tipo de contaminante. En la Tabla 3 se presentan las normas de calidad del aire para los contaminantes medidos por la red automática.

**Tabla 3. Normas Oficiales Mexicanas de calidad del aire**

Contaminante	Norma	Concentración	Tiempo de exposición
Monóxido de Carbono	NOM-020-SSAI-1993	11 ppm	8 horas
Bióxido de Nitrógeno	NOM-023-SSAI-1993	0.21 ppm	1 hora
Bióxido de Azufre	NOM-021-SSAI-1993	0.13 ppm	24 horas
Ozono	NOM-022-SSAI-1993	0.11 ppm	1 hora
PM-10	NOM-025-SSAI-1993	150 µg/m <sup>3</sup>	24 horas

Fuente: Diario Oficial de la Federación (1994).

Para convertir las unidades de concentración de contaminante a unidades del índice de calidad del aire se toma como 100 puntos IMECA la concentración de contaminante señalada en la norma y como 500 puntos IMECA aquella concentración a la cual las personas sensibles presentan daños a la salud de manera inmediata. En la Tabla 4 se muestran los valores de concentración equivalentes a 100 y 500 puntos IMECA para los diferentes contaminantes monitoreados, en la Tabla 5 aparecen las ecuaciones de transformación para cada contaminante y en la Tabla 6 aparecen los

critérios de interpretación de los diferentes niveles del índice metropolitano de la calidad del aire.

**Tabla 4.- Concentraciones de referencia**

Contaminante	100 Puntos IMECA	500 Puntos IMECA
Monóxido de Carbono	11 ppm	50 ppm
Bióxido de Nitrógeno	0.21 ppm	2 ppm
Bióxido de Azufre	0.13 ppm	1 ppm
Ozono	0.11 ppm	0.6 ppm
PM-10	150 µg/m <sup>3</sup>	600 µg/m <sup>3</sup>

**Tabla 5. Ecuaciones de transformación de unidades de concentración de contaminante a puntos IMECA**

Contaminante	0-100 puntos IMECA	100-500 puntos IMECA
Monóxido de Carbono	$9.0909 * C_{CO}$	$10.25641*(C_{CO} -11) + 100$
Bióxido de Nitrógeno	$476.1904 * C_{NO2}$	$223.4636*(C_{NO2} -0.21) + 100$
Bióxido de Azufre	$769.2307 * C_{SO2}$	$459.7701*(C_{SO2} -0.13) + 100$
Ozono	$909.0909 * C_{O3}$	$816.3265*(C_{O3} -0.11) + 100$
PM-10	$0.6667 * C_{PM-10}$	$0.8888*(C_{PM-10} -150) + 100$

**NOTA.**  $C_{CO}$  : concentración de monóxido de carbono expresada en ppm  
 $C_{NO2}$  : concentración de bióxido de nitrógeno expresada en ppm  
 $C_{SO2}$  : concentración de bióxido de azufre expresada en ppm  
 $C_{O3}$  : concentración de ozono expresada en ppm  
 $C_{PM-10}$  : concentración de partículas menores a 10 micras expresada en µg/m<sup>3</sup>

**Tabla 6. Interpretación de los valores IMECA**

Valor del IMECA	Significado
0- 50	Situación muy favorable para todo tipo de actividades
51 - 100	Situación favorable para todo tipo de actividades
101 - 200	Aumento de molestias menores en personas sensibles
201 - 300	Aumento de molestias e intolerancias relativas al ejercicio en personas con padecimientos respiratorios y cardiovasculares. Aparición de ligeras molestias en la población en general
310 - 500	Aparición de diversos síntomas e intolerancia al ejercicio en la población en general

### 3.3 Ruido

En la actualidad no se cuenta con un programa de monitoreo y evaluación de ruido; sin embargo, se llevan a cabo mediciones esporádicas tanto de fuentes fijas como de fuentes móviles. Los resultados de éstas aparecen en la sección de diagnóstico.

## **4. DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY**

Con el fin de evaluar la calidad del aire en una cuenca atmosférica es necesario realizar análisis en donde se refleje el número de violaciones a las normas de calidad del aire. Por otro lado, el conocer la distribución de los contaminantes por zonas y por períodos es importante para comprender su comportamiento.

Asimismo, la dinámica meteorológica es determinante en la dispersión, transformación y remoción de los contaminantes en la atmósfera. La propagación, entremezcla o dilución de los contaminantes atmosféricos causados por movimientos de agitación y difusión turbulenta, su transformación fotoquímica debida a la radiación solar, su eliminación por lluvia, lavado, aglomeración y caída, así como mecanismos físicos y químicos superficiales son los procesos atmosféricos más significativos en el fenómeno de la contaminación del aire.

A continuación se presenta un resumen de las condiciones meteorológicas en el Área Metropolitana de Monterrey, así como el comportamiento histórico y las tendencias de los principales indicadores de la calidad del aire de acuerdo a la información registrada por la red automática de monitoreo.

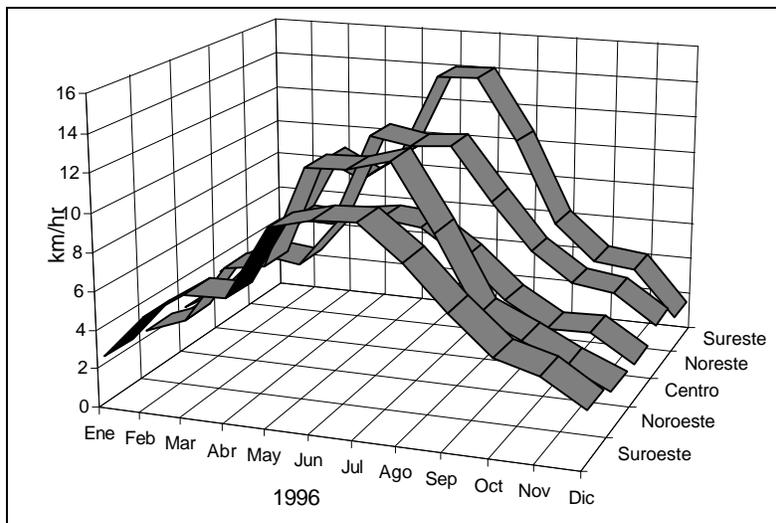
### **4.1 Condiciones geográficas y meteorológicas**

El Área Metropolitana de Monterrey se encuentra a una altura aproximada de 500 metros sobre el nivel del mar y está rodeada por la Sierra Madre Oriental, el Cerro de la Silla, el Cerro de las Mitras y el Cerro del Topo Chico. Estas elevaciones montañosas constituyen una barrera física natural para la circulación del viento e impiden el desalojo del aire contaminado hacia el exterior de la zona. Por su situación geográfica, el área metropolitana se halla sujeta a la influencia de sistemas anticiclónicos procedentes del Golfo de México que provocan una gran estabilidad atmosférica, inhibiendo el mezclado vertical del aire.

#### **Velocidad y dirección de viento**

La dirección predominante que presenta el viento es de 90° azimutales, es decir, de este a oeste. Sin embargo, durante los meses de invierno, cuando se presentan masas de aire frío, los vientos provienen del norte y noroeste, lo que ocasiona que las fuentes de partículas localizadas al poniente del Área Metropolitana de Monterrey impacten en las concentraciones de partículas menores a 10 micras. Además de un cambio en la dirección de los vientos, se ha detectado una disminución de velocidad en la época invernal. La Figura 2 muestra los promedios mensuales de velocidad del viento por zona monitoreada durante 1996.

**Figura 2. Promedios mensuales de velocidad del viento por zona, 1996**



La velocidad de los vientos disminuye considerablemente durante los meses de invierno, lo que ocasiona que se genere una mayor acumulación de contaminantes. En la zona centro los fenómenos de dispersión son lentos. Esto se explica por el hecho de que, debido a su situación geográfica, la zona centro es la que registra menores velocidades de viento. Los episodios con índices máximos de contaminación se presentan siempre bajo condiciones de baja velocidad del viento y la presencia de alta estabilidad atmosférica.

### **Radiación solar**

El Área Metropolitana de Monterrey se sitúa a una latitud de 25°N y por ello recibe una abundante radiación solar que hace que su atmósfera sea altamente reactiva. La radiación solar es la fuente de energía que permite que se realicen una serie de reacciones químicas en la atmósfera. En presencia de la luz solar los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno reaccionan para formar ozono y otros oxidantes. Este parámetro influye sobre la temperatura ambiental. Durante el año de 1996 se alcanzaron promedios mensuales que variaron entre 15°C en el mes de enero y 28°C en el mes de junio. Asimismo la temperatura influye sobre la altura de la capa de mezclado, de tal forma que al incrementarse la temperatura también lo hace la energía cinética de las moléculas de aire. Esto provoca que la altura de mezclado de gases tenga un crecimiento mayor.

### **Inversiones térmicas**

Normalmente la temperatura del viento disminuye con la altura. Cuando este proceso se invierte se dice que existe una inversión térmica. Una de las formas más co-

En los meses en que ocurren inversiones térmicas es durante días soleados y claros que originan el calentamiento de la superficie terrestre. Al llegar la noche la superficie irradia calor y se enfría rápidamente y las capas inferiores de aire adquieren una temperatura menor a las de las capas superiores, dando como resultado la inversión térmica. También se pueden generar inversiones térmicas como consecuencia del efecto invernadero. En este caso el calor recibido del sol queda atrapado en la parte baja de la atmósfera provocando un desequilibrio térmico entre las capas de aire.

### **Altura de la capa de mezclado**

La altura de la capa de mezclado es la región de la atmósfera en la cual se dispersan los contaminantes. El valor de esta altura varía constantemente dependiendo de las condiciones de calentamiento del aire y de la velocidad del viento y está en función de la estabilidad atmosférica.

Durante la mañana la disminución de la temperatura en las capas superficiales da lugar a la formación de inversiones térmicas. Esto provoca una disminución en el valor de la altura de mezclado. Al llegar el mediodía la temperatura incrementa su valor ocasionando que se rompan las inversiones térmicas que se habían formado. Al desaparecer las inversiones, la altura de mezclado se incrementa hasta llegar a un valor máximo después del mediodía. En la tarde la temperatura disminuye lentamente hasta el amanecer, llevando consigo un nuevo decremento en la altura de mezclado. Durante los meses de invierno la altura de mezclado exhibe un comportamiento más lineal y alcanza valores menores que durante el verano, principalmente en sus valores máximos.

## **4.2 Diagnóstico de la calidad del aire 1993-1996**

Con la finalidad de estudiar la evolución del comportamiento de los diferentes contaminantes atmosféricos se llevó a cabo un análisis comparativo de los datos recabados por la red de monitoreo de calidad del aire en el periodo comprendido entre enero de 1993 y diciembre de 1996. De manera general se puede afirmar que en 1994 se registraron el mayor número de violaciones a la normas de calidad del aire, mientras que en los años 1995 y 1996 se observó un notable descenso.

### **4.2.1 Análisis por contaminante**

El análisis del comportamiento de cada uno de los contaminantes atmosféricos monitoreados se lleva a cabo con la finalidad de identificar los factores que los afectan y poder predecir episodios donde se presenten altas concentraciones. El fenómeno de dispersión es un factor importante para la comprensión de los perfiles de concentración de los contaminantes en la atmósfera. El comporta-

miento de los contaminantes puede ser estudiado desde un punto de vista geográfico, de evolución horaria y evolución por épocas o meses del año. A continuación se presentan los resultados de un análisis de evolución horaria.

### **Monóxido de carbono**

Las mediciones realizadas muestran aumentos en la concentración de monóxido de carbono durante los meses de invierno. Las máximas mediciones se registran durante la mañana, de 6:00 a 9:00 horas aproximadamente, iniciándose después un descenso en el valor de la concentración hasta las 18:00 horas, cuando nuevamente se empiezan a incrementar las lecturas.

Las fuentes móviles son las principales generadoras de las emisiones de este gas, de aquí que se observe que las horas con máximas lecturas coinciden con las horas de mayor tráfico vehicular. El aumento de las concentraciones durante los meses de invierno se deben principalmente a la pobre dispersión de los contaminantes causada por las condiciones meteorológicas durante estos meses. El monóxido de carbono presenta un perfil de concentraciones muy bien definido, lo que hace previsible las condiciones de mayor concentración.

### **Óxidos de nitrógeno**

Las mediciones máximas de óxidos de nitrógeno se presentan durante la mañana y disminuyen hacia el mediodía, para volver a incrementarse al llegar la noche. Este es un comportamiento inverso al de la temperatura y sigue el patrón del tráfico vehicular. Los meses fríos son los que registran las mayores concentraciones de este contaminante debido a que las condiciones meteorológicas favorecen la acumulación de los gases en el Área Metropolitana de Monterrey, principalmente en la zona centro. Este contaminante sigue un patrón similar al del monóxido de carbono, debido principalmente a que los vehículos automotores son un componente importante de su emisión.

### **Bióxido de azufre**

El horario en el que comúnmente se presentan mayores concentraciones de bióxido de azufre es de 7:00 a 16:00 horas, que coincide con el periodo en el cual se registran una mayor actividad industrial y tráfico vehicular. Las emisiones de este contaminante provienen principalmente de la oxidación del azufre contenido en los combustibles, principalmente en el diesel y el combustóleo, que es utilizado en los procesos de combustión de un gran número de empresas. Es en los meses cálidos cuando se han detectado las mayores concentraciones de bióxido de azufre. Este contaminante no ha reportado violaciones a la norma de calidad del aire y se manifiesta predominantemente en la zona noroeste. La causa de la disminución de sus niveles en los meses fríos se debe a

su hidrosolubilidad, que hace que sea absorbido por la humedad, y también a su capacidad de reaccionar con las partículas suspendidas.

### **Ozono**

El ozono es un contaminante secundario que se forma a partir de reacciones fotoquímicas en las que intervienen óxidos de nitrógeno e hidrocarburos. El comportamiento diario de este contaminante muestra una elevación después del mediodía, que es cuando se presenta la mayor radiación solar. Este contaminante sigue un patrón definido. La formación de ozono se ve afectada por un gran número de parámetros meteorológicos, especialmente por la temperatura y la estabilidad atmosférica.

### **Partículas menores a 10 micras**

Las partículas menores a 10 micras presentan mayores concentraciones durante el periodo comprendido de las 8:00 a las 16:00 horas, que es cuando se tiene una mayor actividad humana e industrial. Los valores de las mediciones de partículas se elevan durante los meses de invierno porque las condiciones climatológicas son poco favorables para la dispersión de contaminantes. Se ha observado que se incrementan las lecturas de partículas menores a 10 micras cuando la dirección del viento cambia de la dirección habitual que es del este, a una predominante del norte-noroeste. La causa del aumento en las concentraciones al cambiar la dirección del viento se debe principalmente al impacto de fuentes de partículas ubicadas al poniente del Área Metropolitana de Monterrey.

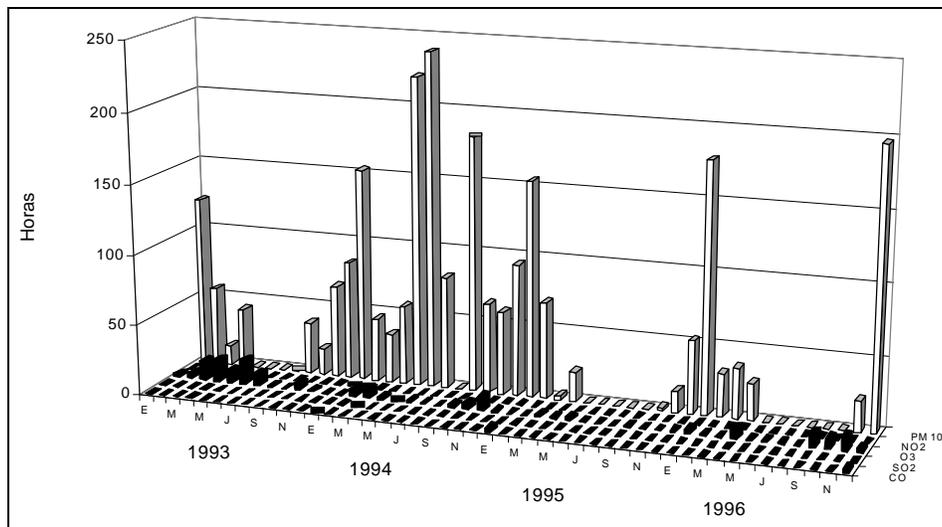
La Figura 3 muestra el número de violaciones a las normas de calidad del aire expresadas en horas. Se considera como una *hora sobre la norma*, aquella hora en la cual el valor en puntos IMECA de uno o más de los cinco contaminantes monitoreados en una o más de las cinco estaciones de monitoreo excede el valor de 100, es decir, excede la norma de calidad del aire respectiva. Para el caso del bióxido de nitrógeno y del ozono se consideran promedios horarios, mientras que para el monóxido de carbono, bióxido de azufre y partículas menores a 10 micras se consideran promedios móviles.

Como se puede apreciar el contaminante que se mantuvo durante un mayor número de horas sobre la norma de calidad del aire resultó ser las partículas menores a 10 micras, seguido por el ozono.

Se observa que el comportamiento de las concentraciones máximas de partículas sigue un patrón que marca un considerable ascenso durante los meses de invierno y una disminución notable en primavera y verano. Este hecho encuentra explicación en las condiciones meteorológicas que dificultan la dispersión de

los contaminantes durante los meses fríos. Al comparar los años es de notar la tendencia descendente del número de horas sobre la norma. En efecto, en 1995 y 1996 este número se redujo en más de un 50% con respecto a 1994.

Figura 3. Horas sobre la norma por contaminante, 1993-1996



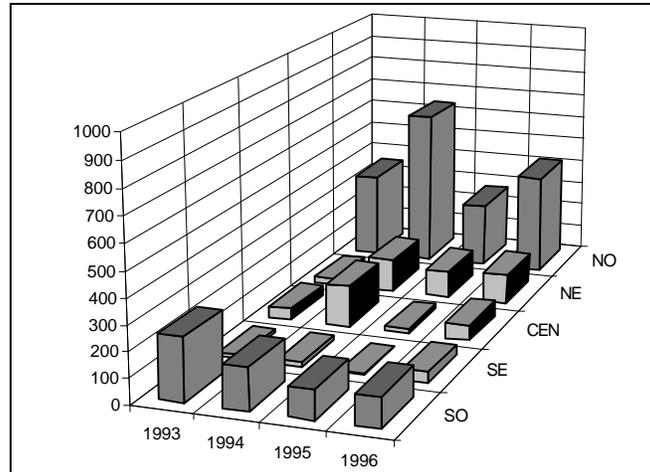
Las principales fuentes de emisión de partículas, de acuerdo al último inventario de emisiones (sección 6.3), son de tipo industrial y por la erosión del suelo. Por tanto es necesario promover la utilización de equipos de control de emisiones de partículas para el sector industrial mediante incentivos adecuados y reforzar las acciones de abatimiento de estas emisiones por erosión, tales como la reforestación y el enverdecimiento de áreas urbanas, de asfaltado de calles y avenidas y la aplicación de cloruro de calcio en lechos de ríos y canchas deportivas.

El ozono es el contaminante que ocupa el segundo lugar en importancia en cuanto al número de excedencias a la norma de calidad del aire. En la figura anterior se observa que el número de horas sobre la norma de ozono aumenta generalmente en verano y, ocasionalmente, en los meses de invierno. Durante el periodo de 1993 a 1995 se observa una tendencia a la baja en el número de violaciones. Sin embargo, éste volvió a repuntar en 1996. Por lo tanto, es necesario llevar a cabo acciones en el corto plazo que garanticen una reducción de emisiones de precursores de ozono, es decir, de óxidos de nitrógeno e hidrocarburos. Entre ellas cabe mencionar el control de emisiones de los procesos de combustión en los sectores industrial y de servicios, y la reconversión de las flotillas de uso intensivo a unidades que utilicen gas natural como combustible.

#### 4.2.2 Análisis por zona

La Figura 4 representa el número de horas sobre las normas de calidad del aire por zona.

Figura 4. Horas sobre la norma por zona, 1993-1996



Como se puede apreciar en la figura anterior, las zonas en que se registraron concentraciones más altas de contaminantes fueron la noroeste y suroeste.

*Zona suroeste:* En esta zona se hace presente un mayor número de excedencias a las normas de los contaminantes debido a que la dirección predominante del viento en el Área Metropolitana de Monterrey es de este a oeste, lo que genera que los contaminantes producidos en áreas sean trasladados hacia ésta.

*Zona Noroeste:* La predominancia de las partículas menores a 10 micras es una de las características de esta zona, sobre todo durante los meses de invierno cuando se presentan los mayores índices de contaminación. La generación de partículas se debe en parte a los procesos de extracción de piedra caliza.

*Zona Centro:* Los óxidos de nitrógeno son el principal contaminante en esta zona debido al elevado tráfico vehicular. Este contaminante es también trasladado hacia otras áreas por la acción del viento.

*Zona Noreste:* En el mes de enero de 1995 se registraron en esta zona las primeras tres horas sobre la norma de monóxido de carbono desde el inicio de operaciones de la red de monitoreo. Este suceso se repitió únicamente en diciembre de 1996. Sin embargo, el contaminante que más incide son las partículas menores a 10 mi-

cras y, en segundo lugar, los óxidos de nitrógeno. El alto grado de industrialización de esta zona, junto con el elevado tráfico vehicular explica este comportamiento.

*Zona Sureste:* Esta zona es la que presenta menor incidencia en violaciones a la norma. El contaminante principal durante el periodo 1993 a 1995 fue el bióxido de nitrógeno. Sin embargo, en el último año se ha observado un número superior de violaciones a la norma de partículas y ozono.

### 4.3 Diagnóstico de la contaminación por ruido

En el Área Metropolitana de Monterrey el problema de la contaminación por ruido ha sufrido un notable incremento, sobre todo en las dos últimas décadas, debido al crecimiento urbano que ha producido un constante aumento de operaciones y unidades mecanizadas. Ya en 1983, investigadores de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León desarrollaron un primer estudio sobre la zonificación de la ciudad de Monterrey de acuerdo a los niveles sonoros. En la Tabla 7 se muestra un resumen de los resultados que se reportan en el estudio.

**Tabla 7. Niveles promedio de ruido en el Municipio de Monterrey\***

Zona	Características	Nivel sonoro promedio dB (A)
Residencial Alta	100% área residencial, ingreso económico alto	60.9
Residencial Media	100% área residencial, ingreso económico medio	58.9
Residencial Baja	100% área residencial, ingreso económico bajo	63.7
Residencial-Comercial	75% residencial, 25% comercial	71.3
Residencial-Industrial	75% residencial, 25% industrial	65.9
Comercial-Residencial	50% comercial, 50% residencial	71.0
Industrial-Residencial	50% industrial, 50% residencial	68.1

Fuente: U.A.N.L. (1983)<sup>1</sup>

\* Criterio: máximo recomendable 68 dB(A) en el día y 65 dB(A) en la noche.

En las tres zonas residenciales evaluadas los niveles sonoros resultaron por debajo de los niveles marcados por el reglamento federal de ruido vigente en esa época. Las dos zonas comerciales seleccionadas presentaron niveles sonoros promedio por encima de aquéllos señalados en el reglamento, por tanto no resultaron recomendables para casa habitación. Por último se concluyó que las zonas industriales y residenciales no son compatibles desde el punto de vista acústico. Es importante aclarar que las zonas residenciales evaluadas en el estudio lo eran al 100% y que, actualmente, hay una tendencia a la desaparición de las zonas residenciales puras

<sup>1</sup> Medina, M., Elizondo, F., "Zonificación de la ciudad de Monterrey de acuerdo a los Niveles Sonoros; Reporte Final", Ed. U.A.N.L., Monterrey, México (1983).

debido a la gran hibridación del uso del suelo provocada en los últimos años por la severa crisis económica por la que atraviesa nuestro país.

Más recientemente, personal de las Facultades de Trabajo Social y de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León realizó una investigación para conocer la relación existente entre las variables sociodemográficas y la percepción y opinión de la población del Área Metropolitana de Monterrey con respecto al ruido. En este estudio se reportan mediciones de los niveles sonoros en el interior de viviendas de los diferentes municipios del área metropolitana. En la Tabla 8, donde se indican niveles de ruido por estrato socioeconómico, se puede observar que hay una relación directa entre el confort acústico y el estrato socioeconómico debida a factores como el diseño de la colonia, tamaño de los predios, características de construcción, estado de los vehículos, hábitos, etc.

En el estudio también se determinó que un 80% de las viviendas del Área Metropolitana de Monterrey tiene un nivel de ruido que sobrepasa el nivel máximo recomendado para obtener un confort acústico satisfactorio para el descanso y la comunicación en el interior de la casa, aún considerando el criterio más laxo de 50 dB (A).

**Tabla 8. Niveles de ruido promedio en el interior de viviendas por estrato socioeconómico\***

Estrato socioeconómico	Nivel sonoro promedio dB (A)
Marginal	59.8
Bajo	59.7
Medio Bajo	59.1
Medio Alto	56.3
Alto	54.5

Fuente: U.A.N.L. (1991)<sup>2</sup>

\* Criterio: máximo recomendable 50 dB(A).

En cuanto a las fuentes de ruido, los datos arrojados por una encuesta a 5,000 habitantes realizada dentro de esta misma investigación señalaron que: i) un 52% de la población del área metropolitana se queja principalmente del ruido producido por el tránsito de vehículos, que es calificado como frecuente e intenso; ii) un 34.4% de los entrevistados se quejan del ruido producido por radios, del cual aseveran que además de frecuente es intenso; iii) un 27.4% señala que la música ocupa el tercer lugar como ruido frecuente e intenso; iv) contrario a lo que pudiera suponerse debido a que el área analizada es predominantemente industrial, es muy bajo el porcentaje de personas que aluden al ruido de fábricas como frecuente e intenso. Cabe aclarar que en este punto no se está haciendo referencia a talleres, sino solamente a establecimientos industriales.

<sup>2</sup> Elizondo, F., Cárdenas, R., Huerta, B., Adame, E., "Contaminación Ambiental por Ruido en el área metropolitana de Monterrey; Niveles, Percepción y Opinión", Ed. U.A.N.L., Monterrey, México (1991).

Durante el año de 1993 se recibieron en la Subsecretaría de Ecología un total de 1,241 denuncias de las que 319 fueron debidas al ruido, siendo solamente superadas por aquéllas provocadas por olores. Las situaciones fueron en algunos casos muy particulares y se pudieron contabilizar casos de golpes de martillo, prensas hidráulicas, compresores, movimientos de metal, inyectoras, vibradores, bloqueras, esmeriles, cortadoras, calentamiento de motores, ferias, aullidos de animales y gritos del vecino, entre otros. Los porcentajes de quejas presentadas por ruido durante los años de 1994 y 1995 son similares. Los municipios de Monterrey y San Nicolás de los Garza reportan una situación análoga.

Mediciones de nivel sonoro en límites de predio realizadas durante el transcurso de inspecciones a establecimientos industriales en el estado en el periodo 1993-1995 se indican en la Tabla 9. Asimismo, se han llevado a cabo monitoreos esporádicos de emisiones de ruido, por el método dinámico, provenientes de unidades de transporte urbano. Sin embargo, no se posee un diagnóstico completo sobre la contaminación por ruido en el área metropolitana, ni un inventario de las fuentes que lo producen. Se requiere, pues, de acciones que respondan a estas necesidades.

Un aspecto muy importante en el control de la contaminación por ruido es la de contar con un marco legal adecuado bajo el cual se actúe. El artículo 155 de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente estipula la prohibición de la contaminación por ruido. En 1982 se publicó el Reglamento para la Protección del Ambiente contra la Contaminación Originada por la Emisión de Ruido en el que se establecen límites máximos permisibles de emisión de acuerdo a la fuente de generación. Así encontramos que el artículo 11 aplica a fuentes fijas, el artículo 29 a vehículos automotores (automóviles, autobuses, camiones de carga, camionetas y motocicletas) recién manufacturados, el artículo 49 a autotransportes de servicio público federal de carga y pasaje y vehículos en circulación, y el artículo 19 para circos, ferias y juegos mecánicos que se instalen cerca de sitios donde el ruido entorpezca cualquier actividad.

La Ley de Equilibrio Ecológico y de Protección al Ambiente del Estado de Nuevo León no cuenta con un reglamento específico para ruido, la redacción de dicho reglamento debe ser una prioridad a corto plazo en la lucha contra la contaminación en el Área Metropolitana de Monterrey.

**Tabla 9. Niveles promedio de ruido emitido por giro industrial**

Tipo de industria	Nivel sonoro promedio* dB (A)
Automotriz	
• Mecánica	59
• Enderezado y Pintura	76
Del Vidrio	64
Metal Mecánica	

*Diagnóstico de la calidad del aire en el área metropolitana de Monterrey*

• Pailera	90
• Cromado	70
Química	61
Del curtido	59
Fabricación de muebles	85
Textil	60
Alimenticia	60
Papelera	65
Del vestido	64
De la construcción	78

Fuente: Gobierno del estado de Nuevo León, Subsecretaría de Ecología, Departamento de Inspección y Vigilancia

\* Criterio: máximo permitido 68 dB(A) en el día y 65 dB(A) en la noche.

## **5. ANTECEDENTES EN EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN EL ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY**

### **5.1 Programa de monitoreo local de fuentes fijas**

Para llevar a cabo mediciones *in situ* de contaminantes provenientes de emisiones de fuentes fijas se utiliza la unidad móvil de monitoreo (UMM). El programa de monitoreo local identifica fuentes de contaminación y asiste en la resolución de problemas originados por contingencias ambientales. En el periodo de 1994-1996 se realizaron mediciones en diferentes zonas del Área Metropolitana de Monterrey (AMM) que permitieron identificar la influencia de algunas fuentes específicas de contaminación sobre la calidad del aire.

### **5.2 Programa de verificación vehicular**

#### **5.2.1 Antecedentes generales**

De acuerdo al inventario preliminar de emisiones correspondiente al año 1995 (ver sección 6.3) los automóviles constituyen la principal fuente de contaminación atmosférica en el Área Metropolitana de Monterrey, contribuyendo con, aproximadamente, un 71% de las emisiones totales. Un 88% de la contaminación generada por fuentes móviles es monóxido de carbono. En los motores de combustión interna de los automóviles, el oxígeno disponible para la oxidación del combustible está limitado por el volumen de aire que existe dentro de la cámara de combustión en el momento de la ignición. Una relación aire/combustible inadecuada, característica de autos mal afinados, da como resultado una combustión incompleta, y, por tanto, mayores emisiones de monóxido de carbono. Los vehículos automotores contribuyen con el 96% de las emisiones totales de este contaminante en el Área Metropolitana de Monterrey. Asimismo la ausencia o mal funcionamiento de los dispositivos de control de las emisiones contaminantes resultan en altas emisiones. La combinación de estas dos circunstancias provoca altas emisiones de hidrocarburos. Una relación aire/combustible reducida da lugar a altas emisiones de óxidos de nitrógeno. Adicionalmente, las altas temperaturas que se registran en el interior de los motores provocan la oxidación del nitrógeno atmosférico, produciéndose óxidos de nitrógeno que son expulsados por el escape del vehículo.

En los vehículos que utilizan diesel como combustible, la emisión de partículas se deriva de una combustión violenta, producto de altas presiones logradas en

el interior de la cámara de combustión. Este fenómeno también se da en autos que operan con gasolina o gas, pero en mucha menor proporción.

Además de las emisiones contaminantes de escape en un vehículo, se presentan las emisiones evaporativas de hidrocarburos. Durante el llenado del tanque de combustible y en el sistema interno de almacenamiento y conducción de gasolina de un automóvil, se presentan fugas por la toma de gasolina, el carburador o las válvulas y conexiones de mangueras.

Los motores de los automóviles son máquinas que están sometidas a desgaste y en muchas ocasiones, a condiciones de operación forzada. Una mala afinación o la inoperancia de alguno de los dispositivos de control que poseen, produce emisiones contaminantes en exceso, fuera de los límites diseñados por el fabricante y aprobados por las autoridades ambientales federales.

El mantenimiento periódico de un automóvil es esencial para su buen funcionamiento y para conservar la emisión de contaminantes en un límite normado y técnicamente alcanzable. La Asociación Mexicana Automotriz ha recomendado que un automóvil con carburador, de calibración mecánica, debe afinarse cada 6 meses o 6 mil kilómetros, lo que ocurra primero. En la actualidad, hay vehículos cuya tecnología permite una operación continua durante 50 mil kilómetros sin necesidad de una afinación, mientras que tecnologías intermedias, de motores de inyección y sistemas electrónicos que regulan la combustión, permiten una operación continua cada 15 mil kilómetros sin afinar el motor.

El objetivo de la verificación vehicular es el de reducir al máximo las emisiones contaminantes de los vehículos automotores en circulación. Un automóvil con carburador en mal estado mecánico puede emitir más del doble de contaminación y en muchas ocasiones sus emisiones son visibles. De acuerdo con investigaciones realizadas por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), las emisiones de escape de un automóvil de tecnología de punta aumentan en 400% si el convertidor catalítico está dañado o su vida útil ha concluido.

De acuerdo con diversos estudios realizados en 1991 y 1994 por el Instituto Mexicano de Petróleo y la Universidad de Colorado (Estados Unidos de América), donde se midieron las emisiones de los autos en circulación, un auto de los años setenta emite 69 veces más contaminantes que un vehículo con convertidor catalítico.

Según un estudio de detección remota de emisiones de fuentes móviles del Área Metropolitana de Monterrey, el 10% más alto de emisores es responsable del 65% de las emisiones vehiculares de CO, de un 62% de las emisiones vehiculares de monóxido de nitrógeno y un 59% de las emisiones vehiculares de hidrocarburos. La verificación vehicular contribuye a detectar fallas mecánicas de un motor e induce su reparación, con lo que se logra un control efectivo de emisiones.

## **5.2.2 La verificación vehicular a nivel mundial**

La verificación vehicular es una actividad de control de la contaminación atmosférica que se realiza en diversas partes del mundo, principalmente en las ciudades con un gran número de vehículos o altos índices de contaminación atmosférica. Diversos países europeos, los Estados Unidos, Canadá, Japón y países asiáticos de la cuenca del Pacífico aplican procedimientos de verificación vehicular similares a los que se utilizan en México.

En términos generales hay tres tipos de organización y administración de programas de verificación o inspección vehicular:

- Sistema Centralizado. Este sistema consiste en realizar la verificación vehicular en centros especializados pertenecientes a una sola empresa privada o del gobierno. En ocasiones, la verificación vehicular se realiza en forma asociada a una inspección de las condiciones de seguridad de los vehículos (frenos, luces, suspensión, etc.). Ciudades como Denver, Phoenix, Tokio, Jakarta, Madrid y Colonia, poseen este sistema.
- Sistema Descentralizado. En este sistema la verificación se realiza a través de centros particulares, en su mayoría talleres mecánicos con una sola línea de verificación. Ciudades como Los Ángeles o Nueva York poseen este tipo de organización descentralizada. En el caso de la ciudad de Nueva York, una empresa administra el sistema a nombre de la alcaldía.
- Sistema Híbrido. La Zona Metropolitana de la Ciudad de México posee un sistema híbrido de verificación vehicular, donde los vehículos de uso intensivo, deben verificar obligatoriamente en Verificentros y los automovilistas particulares lo pueden hacer en Verificentros si tienen placas del DF o en talleres mecánicos que aún prestan servicio a vehículos con placas del Estado de México. Alemania y Estados Unidos están diseñando sistemas híbridos para algunas ciudades donde las primeras verificaciones, de los autos más limpios, se realizan en talleres mecánicos; los autos viejos y los rechazados deberán asistir a Verificentros.

La eficiencia de cada sistema, medida como el número de autos en malas condiciones mecánicas detectados en los centros de verificación, es distinta. De acuerdo con los reportes recientemente publicados por la Agencia de Protección del Ambiente de los Estados Unidos (EPA), los sistemas descentralizados como el del estado de California son 50% menos eficientes que los centralizados, como el de Arizona. Inclusive, las emisiones de los autos de California son prácticamente iguales a las de ciudades sin programa de verificación, como Indiana.

Los sistemas descentralizados se pusieron en marcha en ciudades norteamericanas, así como en México, por la conveniencia que tiene para los automovilistas el verificar en el mismo lugar donde realizan su reparación mecánica. Sin embargo, en muy corto plazo de tiempo las autoridades ambientales y los pro-

pios automovilistas, detectaron irregularidades en la operación del programa. El porcentaje de verificaciones inadecuadas en vehículos con más de 15 años de antigüedad en la Ciudad de México se estima en 47.5% como mínimo. En el estado de Nueva York el porcentaje de fraude en la primera verificación es de 49% y el total de 71%, considerando las verificaciones subsecuentes.

### **5.2.3 Descripción del programa**

El programa de verificación vehicular se estableció en 1991 con el objetivo de prevenir y controlar las emisiones contaminantes provenientes de vehículos automotores en circulación a fin de mejorar la calidad del aire del área metropolitana. Es básicamente un sistema centralizado operado bajo contrato en el cual el Gobierno del estado de Nuevo León otorgó la autorización a una empresa para realizar la medición y verificación de las emisiones contaminantes provenientes de los vehículos automotores. Para ello se establecieron nueve centros de verificación vehicular ubicados estratégicamente, con un mínimo de cuatro módulos de analizadores de gases. Además se dispone de cuatro unidades móviles que son enviadas a las terminales de rutas urbanas y empresas con flotilla vehicular. Desde el inicio del programa se estableció la obligatoriedad de dos verificaciones al año (una por semestre) para todo tipo de vehículos. En el año de 1996 las autoridades estatales y municipales celebraron un acuerdo para modificar y actualizar el programa de manera que se estableció una verificación anual para vehículos de uso particular y verificaciones semestrales para vehículos de uso intensivo. Asimismo los municipios de García, Juárez y Cadereyta se integraron al programa.

El procedimiento de verificación consiste en tres etapas:

- Inspección visual a los dispositivos y sistemas para el control de la contaminación instalados en los vehículos automotores: sistema de escape, tapón del tanque de combustible, tapón del depósito de aceite, bayoneta del nivel de aceite, ventilación positiva del cárter, filtro de carbón activado, filtro de aire, tensión de bandas.
- Prueba de revisión visual de humos mediante una prueba estática en marcha crucero: humo azul, humo negro. La presencia de humo azul es indicativa de la presencia de aceite en el sistema de combustión y la emisión de humo negro es indicativa de un exceso de combustible no quemado. Por tanto, cualquiera de las dos indica altos niveles de emisión de hidrocarburos entre otros contaminantes.
- Medición de las emisiones contaminantes. La medición de las emisiones contaminantes de hidrocarburos y monóxido de carbono se realiza mediante una prueba estática, que consiste en una prueba en marcha crucero y una prueba en marcha lenta en vacío.

Como apoyo al Programa de Verificación Vehicular se realizan las siguientes acciones:

- Operativos de control vehicular en coordinación con la Dirección de Transporte del gobierno estatal y las Secretarías o Direcciones de Tránsito y Vialidad de los municipios partícipes del Programa. Los vehículos ostensiblemente contaminantes son sancionados.
- Supervisión y vigilancia periódica de los centros de verificación vehicular. Se inspeccionan las condiciones de operación del equipo e instalaciones así como los procedimientos de verificación y el buen manejo de papelería y calcomanías oficiales.
- Inspección y acreditamiento de talleres mecánicos, que consiste en evaluar y acreditar la calidad técnica y homologar el equipo de los talleres de servicio mecánico para que éstos ofrezcan servicios confiables a propietarios y conductores de automotores a fin de mantener en condiciones aceptables el parque vehicular.
- Evaluación periódica del programa de acuerdo a estadísticas.

El parque vehicular en los municipios que toman parte del Programa de Verificación Vehicular asciende a 600,000 vehículos de los cuales un 27.5% es de modelo 1979 o anterior, un 35.7% es de modelo entre 1980 y 1989, y un 36.8% es de modelo comprendido entre los años 1990 y 1995. En las Tablas 10 y 11 se muestra la composición actual del parque vehicular del Área Metropolitana de Monterrey.

**Tabla 10. Parque vehicular del AMM**

Tipo	1979-Ant.	1980-1989	1990-Post.	Total
<i>Particular</i>				
• Automóvil	108,876	157,662	149,977	416,515
• Camión o Camioneta	47,169	49,260	50,443	146,872
• Ómnibus	148	124	140	412
<i>Transporte</i>				
• Automóvil	1,896	2,102	14,143	18,141
• Camión o Camioneta	1,301	413	140	1,854
• Ómnibus	3,300	2,085	3,604	8,989
<b>Total</b>	<b>162,690</b>	<b>211,646</b>	<b>218,447</b>	<b>592,783</b>

Fuente: Gobierno del estado de Nuevo León, Tesorería General del Estado

**Tabla 11. Número de vehículos de transporte público**

Transporte Urbano	3,812
Transporte Industrial	458
Transporte Escolar	1,342
Camiones de Carga y Grúas	1,639
Microbuses y Peseras	1,077
Ecotaxis	12,954

Taxis Amarillos	1,256
Otros Taxis	3,675
<b>Total</b>	<b>26,213</b>

Fuente: Gobierno del estado de Nuevo León, Subsecretaría de Transporte

De acuerdo a datos de consumo de combustibles en el Área Metropolitana de Monterrey, en 1991 se generaba alrededor de 1,000 toneladas diarias de contaminantes. De no haberse establecido el programa actualmente se producirían 1,400 toneladas de contaminantes al día, frente a las 1,150 que se generan realmente lo que supone un 18% de disminución. Se estima que si todo el parque vehicular acudiera a verificar esta cifra sería de 920 toneladas, es decir, un 34% menos que en el caso de que no hubiese programa de verificación vehicular. En las Tablas 12 y 13 se muestran datos de afluencia de usuarios al Programa de Verificación Vehicular desde sus inicios.

**Tabla 12. Porcentaje de cumplimiento del Programa de Verificación Vehicular por los vehículos particulares**

Periodo	Asistencia (%)	Aprobados*(%)
1 <sup>er</sup> Semestre 1992	82.5	74.7
2 <sup>o</sup> Semestre 1992	79.3	78.2
1 <sup>er</sup> Semestre 1993	57.1	83.7
2 <sup>o</sup> Semestre 1993	56.0	83.2
1 <sup>er</sup> Semestre 1994	46.9	79.6
2 <sup>o</sup> Semestre 1994	34.4	79.8
1 <sup>er</sup> Semestre 1995	26.5	81.6
2 <sup>o</sup> Semestre 1995	10.1	67.0
Año 1996	17.5	85.5

Fuente: Control Atmosférico, S.A. de C.V.

\* El porcentaje de aprobados se calculó tomando como base el total de vehículos que acudieron a verificar.

El porcentaje del total del parque vehicular de tipo privado que asiste a la verificación vehicular ha disminuido dramáticamente en los últimos dos años. Esto se debe principalmente a que no se ha exigido la obligatoriedad de cumplir con el Programa y los usuarios acuden voluntariamente. Para solucionar este problema se ha de motivar a la ciudadanía a verificar las emisiones de sus vehículos comenzando con una campaña de concientización en la que se destaquen: i) los efectos de la contaminación atmosférica en la salud, ii) la contribución del Programa de Verificación Vehicular en la resolución del problema, y iii) la corresponsabilidad de los usuarios para mantener una atmósfera limpia. Además es absolutamente necesaria la coordinación entre el Gobierno

del estado y los Gobiernos de los municipios del Área Metropolitana de Monterrey para la vigilancia efectiva y la aplicación de sanciones.

Por otro lado, el Programa deberá ser técnicamente actualizado, de acuerdo a los cambios en la flota vehicular del área metropolitana y deberá ser auditado periódicamente para garantizar su buen funcionamiento.

**Tabla 13. Porcentaje de cumplimiento del Programa de Verificación Vehicular por el transporte urbano**

Periodo	Asistencia (%)	Aprobados* (%)
1 <sup>er</sup> Semestre 1992	78.2	42.1
2 <sup>o</sup> Semestre 1992	70.1	66.0
1 <sup>er</sup> Semestre 1993	95.1	69.3
2 <sup>o</sup> Semestre 1993	85.6	72.9
1 <sup>er</sup> Semestre 1994	72.9	80.2
2 <sup>o</sup> Semestre 1994	76.6	75.3
1 <sup>er</sup> Semestre 1995	44.8	80.0
2 <sup>o</sup> Semestre 1995	61.7	78.2
1 <sup>er</sup> Semestre 1996	72.7	77.2
2 <sup>er</sup> Semestre 1996	72.1	71.0

Fuente: Control Atmosférico, S.A. de C.V.

\* El porcentaje de aprobados se calculó tomando como base el total de vehículos que acudieron a verificar.

## **6. INVENTARIO DE EMISIONES**

En la ciudad son muchos los usuarios de la cuenca atmosférica. Fundamentalmente éstos incluyen 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. 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.

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

### **6.1 Consumo y calidad de combustibles**

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 14 se resume el consumo total de combustibles del Área Metropolitana de Monterrey, considerando los principales sectores económicos.

Cabe destacar que el 58% del consumo de combustible en el área metropolitana está asociado al uso vehicular y que todavía existe un consumo elevado de combustóleo 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 de la cuenca atmosférica a través de la evolución del consumo de la gasolina. Este a su vez, puede ser explicado por la demanda de 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.

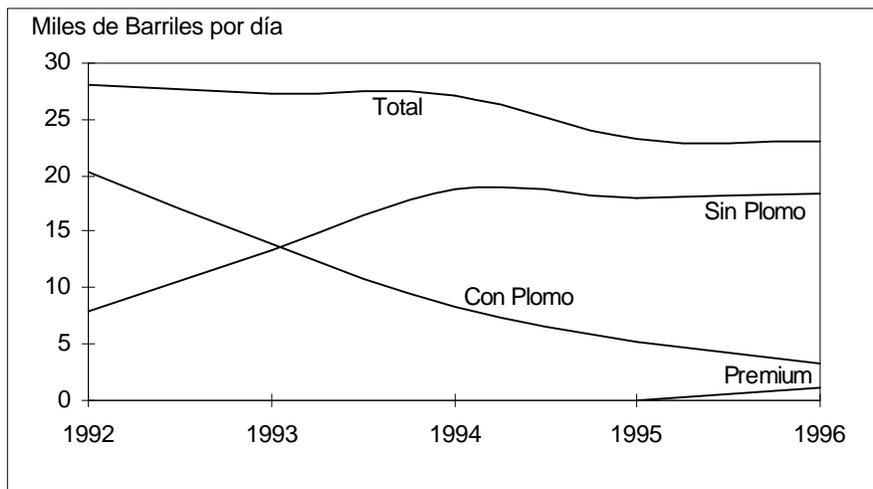
**Tabla 14. Porcentaje de consumo de combustibles por sector en el AMM, 1995**

	Transporte	Industria	Servicios	Total
Gasolinas	36.4	0.0	0.0	36.4
Diesel	21.6	0.9	0.1	22.6
Combustóleo	0	33.5	0.1	33.6
Gas L.P.	0.0	0.6	6.0	6.6
Gas Natural	0.0	0.8	0.0	0.8
<b>Total</b>	<b>58.0</b>	<b>35.8</b>	<b>6.2</b>	<b>100.0</b>

Fuente: Petróleos Mexicanos

La Figura 5 presenta la evolución del consumo promedio de las gasolinas en el AMM, en el periodo de enero de 1992 a octubre de 1996. En el área metropolitana se consume el 4.6% de las gasolinas a nivel nacional, de ello corresponde 11% a gasolina Nova, 86 % a gasolina Pemex Magna y 3% a la nueva gasolina Premium, comercializada a partir de Febrero de 1996. Mientras que en 1992, 1993 y 1994 el consumo promedio fue superior a los 25,000 barriles por día esta cifra descendió a aproximadamente 23,500 barriles por día a finales de 1996.

**Figura 5. Consumo promedio de gasolinas en el AMM**



Fuente: Petróleos Mexicanos

En relación a la calidad de los combustibles distribuidos en el AMM, y de acuerdo a lo establecido en la NOM-ECOL-086-1994, se considera que, a partir

del año 1998, las especificaciones de las gasolinas Pemex Magna (antes Magna Sin) y Nova Plus serán las mismas de las que se consuman en las zonas metropolitanas de la Ciudad de México y Guadalajara. Asimismo, la calidad para cualquier combustible en cuanto a contenido de azufre se especifica a un máximo de 4% en peso.

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 aumenta la vida útil del convertidor catalítico y la reducción de la presión de vapor tiene un efecto directo en la disminución de las emisiones evaporativas.

A manera de comparación, en la Tabla 15 se incluyen los valores promedio que durante octubre de 1996 alcanzaron las diversas propiedades que caracterizan a la gasolina Pemex Magna distribuida en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) y en el AMM.

**Tabla 15. Comparación de especificaciones y valores típicos de la gasolina Pemex Magna**

	ZMCM NOM-086* 1994	AMM NOM-086* 1994	ZMCM promedio octubre 1996	AMM promedio octubre 1996
Presión de vapor Reid, lb/pulg <sup>2</sup>	6.5 - 7.8	6.5 - 9.5	7.4	9.0
Temperatura de destilación, °C				
10% destila a °C (máximo)	65	65	54	49
50% destila a °C	77 - 118	77 - 118	94	92
90% destila a °C (máximo)	190	190	166	167
Temperatura final ebullición, °C	221	221	208	210
Azufre, % peso (máximo)	0.05	0.10	0.036	0.087
Plomo, Kg/m <sup>3</sup> (máximo)	0.0026	0.0026	0.00029	0.00032
Número de octano carretero, (R+M)/2 (mínimo)	87.0	87.0	87.5	87.2
Aromáticos, % volumen (máximo)	25	informar	21.5	29.1
Olefinas, % volumen (máximo)	10	informar	8.7	17.2
Benceno, % volumen (máximo)	1	4.9	0.78	1.4
Oxígeno, % peso	1 - 2	no especifica	1.51	

\* Norma Publicada por el Instituto Nacional de Ecología en el Diario Oficial de la Federación del 2 de Diciembre de 1994. Algunas de sus especificaciones fueron mejoradas para la Pemex Magna de la ZMCM.

Como se mencionó anteriormente, en febrero de 1996 Pemex introdujo en el AMM la nueva gasolina Premium, que es formulada de acuerdo a diferentes épocas del año con el fin de obtener ventajas en el desempeño ambiental de la misma. La Ta-

bla 16 muestra las especificaciones de los diferentes meses del año y los valores promedio del periodo febrero a octubre de 1996.

**Tabla 16. Especificaciones de la gasolina Premium**

	<b>C-3</b>	<b>B-2</b>	<b>A-3</b>	<b>AA-3</b>	<b>Promedio feb-oct 1996</b>
Presión de vapor Reid, lb/pulg <sup>2</sup>	11.5	10.0	9.0	7.8	9.1
Temperatura de destilación, °C					
10% destila a °C (máximo)	60	65	70	70	53.5
50% destila a °C	77 - 116	77 - 118	77 - 121	77 - 121	98.4
90% destila a °C (máximo)	185	190	190	190	158.9
Temperatura final ebullición, °C	225	225	225	225	204.6
Azufre, % peso (máximo)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.018
Plomo, Kg/m <sup>3</sup> (máximo)	0.0026	0.0026	0.0026	0.0026	0.00011
Número de octano carretero, (R+M)/2 (mínimo)	92.0	92.0	92.0	92.0	92.2
Aromáticos, % volumen (máximo)	32	32	32	32	26.9
Olefinas, % volumen (máximo)	15	15	15	15	6.94
Benceno, % volumen (máximo)	2	2	2	2	0.92
Oxígeno, % peso	1 - 2	1 - 2	1 - 2	1 - 2	1.0

Nota: C-3, De noviembre a marzo/B-2, Abril y octubre/A-3, Mayo y septiembre/AA-3, De junio a agosto

Fuente: Petróleos Mexicanos

**Tabla 17. Comparación de especificaciones y valores típicos de la gasolina Nova**

	<b>ZMCM NOM-086 1994</b>	<b>AMM NOM-086 1994</b>	<b>ZMCM promedio octubre 1996</b>	<b>AMM promedio octubre 1996</b>
Presión de vapor Reid, lb/pulg <sup>2</sup>	7.0 - 8.5	7.0 - 9.5	7.6	8.4
Temperatura de destilación, °C				
10% destila a °C (máximo)	70	70	55	48
50% destila a °C	77 - 121	77 - 121	94	86
90% destila a °C (máximo)	190	190	169	168
Temperatura final ebullición, °C	225	225	219	211
Azufre, % peso (máximo)	0.15	0.15	0.08	0.11
Plomo, Kg/m <sup>3</sup> (máximo)	0.03 - 0.06	0.06 - 0.28	0.03	0.06
Número de octano carretero, (R+M)/2 (mínimo)	81	81	82.8	81.8
Aromáticos, % volumen (máximo)	30	no especifica	23.1	15.4
Olefinas, % volumen (máximo)	15	no especifica	10.8	20.3
Benceno, % volumen (máximo)	2	no especifica	1.0	0.52
Oxígeno, % peso	1 - 2	no especifica	0.87	

Fuente: Petróleos Mexicanos

Respecto a la gasolina con plomo, la nova de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México cumplió en octubre de 1996 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 gasolina nova del AMM cumple en octubre de 1996 con sus especificaciones. Sin embargo, se ve que algunos de los parámetros importantes que influyen en su reactividad no están normados. Esto significa la posibilidad potencial de emisiones de precursores de ozono reactivos, si bien, no hay que olvidar que su consumo es sólo el 11% del total de gasolinas. La Tabla 17 presenta los valores promedio que durante octubre de 1996 alcanzaron las diversas propiedades que caracterizan a la gasolina con plomo distribuida en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y en el AMM.

En cuanto al Pemex Diesel, 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 Pemex Diesel promedió 27.7% en volumen de aromáticos en la Ciudad de México durante octubre de 1996 y 22.2% en volumen en el AMM en el mismo mes.

**Tabla 18. Comparación de especificaciones y valores típicos del Pemex Diesel**

	NOM-086	ZMCM Promedio octubre 1996	AMM Promedio octubre 1996
Temperatura de destilación, °C			
10% destila a °C (máximo)	275	237	208
90% destila a °C (máximo)	345	334	324
Agua y sedimento, % volumen (máximo)	0.05	0.010	0.000
Cenizas, % peso (máximo)	0.01	0.001	0.000
Carbón Ramsbotton, % peso (máximo)	0.25	0.070	0.11
Azufre, % peso (máximo)	0.05	0.034	0.043
Índice de cetano (mínimo)	48	54.0	53.0
Viscosidad cinemática a 40 °C, mm <sup>2</sup> /s	1.9 - 4.1	3.3	2.6
Aromáticos, % volumen	30	27.7	22.2

Fuentes: Petróleos Mexicanos

## 6.2 Antecedentes en el desarrollo de inventarios de emisiones

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 el año 1995 la Subsecretaría de Ecología llevó a cabo un gran esfuerzo para integrar un inventario preliminar de emisiones a la atmósfera para el AMM. Los estudios que condujeron a la confección de este inventario fueron desarrollados por expertos nacionales y extranjeros con fondos aportados por el Banco Mundial.

### **6.2.1 Caracterización de partículas**

Por ser el problema de contaminación por partículas el más importante en el área metropolitana, se llevó a cabo un estudio de caracterización de partículas menores a 10 micras con el objetivo de identificar las principales fuentes de emisión. Para ello se realizaron muestreos de partículas menores a 10 micras suspendidas en el aire y de partículas depositadas en el suelo en cada una de las cinco estaciones fijas de monitoreo ambiental durante los meses de mayo a junio de 1995. Posteriormente las muestras fueron analizadas con el fin de conocer sus composiciones. Los resultados de dichos análisis fueron utilizados en el modelo receptor de balance químico de masa (versión 7.0) de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos para determinar las aportaciones de partículas por tipo de fuente. Este método se basa en mediciones directas de la composición química de las partículas suspendidas que se encuentran en el área de interés. El reparto relativo de las especies químicas entre las fuentes potenciales se determina mediante una comparación estadística del perfil químico (huella dactilar) de cada fuente con el perfil químico de las muestras de partículas en la zona de impacto. Con esta aproximación, la contribución de cada fuente se obtiene con medidas retrospectivas de muestras seleccionadas durante un periodo de tiempo específico de aporte potencial máximo. Por tanto los resultados representan la contribución cuantitativa de las fuentes más probables para cada muestra seleccionada.

De un total de 58 muestras ambientales se encontró que la concentración promedio de PM-10 fue de  $81.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Las estaciones noroeste y suroeste registraron los promedios más altos, con concentraciones de aproximadamente  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . La estación sureste registró el valor promedio mínimo con  $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

El análisis químico se llevó a cabo utilizando espectrofotometría de fluorescencia de rayos X para determinar el contenido elemental, cromatografía iónica para el contenido en iones, y análisis termo-óptico de carbono para la determinación de carbono orgánico, carbono elemental y carbono en forma de carbonato. De las especies químicas medidas las más predominantes fueron el ión sulfato ( $\text{SO}_4^-$ ), el carbono orgánico, el calcio (Ca), el azufre (S), el ión amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), el ión carbonato ( $\text{CO}_3^-$ ) y el ión nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). Los niveles más elevados de carbonato se encontraron en la zona NO con un 4.8% y los más bajos en la zona SE con un 2.2%. Esto indica actividades de procesamiento mecánico de caliza. Las concentraciones más altas de

carbono elemental se dieron en la zona CE con un 3.8% y las más bajas en la zona NO con un 2.4%. La presencia de carbono elemental en una cuenca de aire urbana está típicamente relacionada con los procesos de combustión como el de diesel.

Se construyó una librería de perfiles de fuente de manera que el modelo de balance químico de masa fue capaz de identificar las aportaciones de partículas de entre las categorías siguientes: corteza terrestre (tipo carbonato de calcio y sin carbonato de calcio), alto contenido en calcio, combustión miscelánea, sulfato de amonio, nitrato de amonio, aceite residual, vehículos a motor (gasolina y diesel), alto contenido en hierro, alto contenido en zinc e industria del vidrio. Se encontró que estas diez categorías explicaron adecuadamente la composición química del 80% de las muestras tomadas para este estudio.

Las aportaciones más importantes se deben a la categoría de corteza. Las contribuciones a esta categoría por zona de monitoreo estuvieron en el rango del 36% al 54%, con un máximo en la zona noroeste y un mínimo en la zona suroeste. El tipo carbonato de calcio de esta categoría fue similar en todas las zonas monitoreadas con una aportación del 9.0% al 11.4 % en masa.

La contribución a la categoría de vehículos automotores varió considerablemente. La zona suroeste registró un 6.2% ( $5.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en contraste con las zonas centro y noreste con un 0.57% ( $0.48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Esto concuerda con el hecho de que en los alrededores de la estación de monitoreo suroeste se registran los niveles más elevados de tráfico vehicular, incluyendo camiones diesel. Para estimar el impacto máximo ocasionado por la combustión del diesel se asumió que este combustible contiene un 52% de carbono elemental, tal como indica el perfil del diesel, y que es la única fuente de carbono elemental. De esta manera se estimaron contribuciones máximas promedio de  $5.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para la zona centro,  $4.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para la zona suroeste,  $4.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para la zona noroeste,  $4.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para la zona noreste y  $3.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para la zona sureste.

Sólo en raras ocasiones se encontró contribución a la categoría de alto contenido en calcio debido a que su presencia se explicó adecuadamente en la categoría de corteza terrestre. Se encontraron contribuciones a la categoría de alto contenido en hierro en todas las zonas monitoreadas, con un promedio de 1.97% o  $1.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Las mayores contribuciones a esta categoría sucedieron en la zona centro y las menores en la zona sureste. Ejemplos de fuentes incluidas en esta categoría son las fábricas de acero y el desgaste de los frenos de los automóviles.

La categoría de combustión miscelánea está constituida por las contribuciones al perfil de combustión de madera en residencias y al perfil de carbono orgánico secundario principalmente. La contribución promedio de esta categoría se situó en un rango de 16 a  $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$  tomando en cuenta las cinco estaciones de monitoreo.

El sulfato de amonio y el nitrato de amonio constituyeron una fracción mayoritaria de este estudio. Estos perfiles representan sales de amonio formadas a partir de amoniaco gaseoso, óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre. Las fuentes primarias de óxidos de azufre son las calderas industriales y los motores diesel que utilicen combustibles con alto contenido en azufre. La principal fuente de óxidos de nitrógeno son los vehículos automotores. Las contribuciones de sulfato de amonio tuvieron un promedio de entre  $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $19.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Además de la contribución del tráfico vehicular y la industria localizada en el AMM, la refinera de Pemex localizada en el municipio de Cadereyta podría contribuir a esta categoría.

Las contribuciones de alto contenido en zinc se detectaron en las cinco estaciones de monitoreo. Las posibles fuentes de zinc son las operaciones de galvanizado, manufactura de pinturas, manufactura o disposición de baterías eléctricas, manufactura de piezas troqueladas o de latón. Se registraron contribuciones en todas las estaciones de monitoreo a la categoría de aceite residual, con valores promedio máximos en la zona noreste (1.3%) y la zona centro (1.1%).

De manera global y para resumir, los resultados de este estudio indicaron que en promedio, un 47% de partículas de diámetro menor a 10 micras proviene de la corteza terrestre, un 22% de fuentes de combustión diversas (sin incluir a los vehículos automotores), un 21% resultó ser sulfato de amonio, y un 5% se identificó como nitrato de amonio.

Durante el periodo de muestreo se registraron vientos provenientes del este y sureste (94 a 137 grados azimutales) con velocidad moderada de 10 km/h a 14 km/h. La temperatura promedio fue de  $27^{\circ}\text{C}$  y se registraron lluvias de dos a cinco días en este tiempo, dependiendo de la situación de la estación de monitoreo. De esta información se puede concluir que las operaciones de extracción de caliza no impactaron notablemente en las mediciones de las estaciones de monitoreo. La temperatura provocó la formación secundaria de partículas y la lluvia provocó que los niveles de partículas menores a 10 micras se redujeran, sobre todo en la estación sureste donde se registraron las mayores precipitaciones.

Para lograr una mayor aplicabilidad de estos resultados es necesario realizar este tipo de estudio durante un periodo largo de tiempo tal que permita observar diversos escenarios con condiciones críticas de contaminación y establecer las variaciones que ocurren en las diferentes épocas del año. Asimismo, y para lograr resultados más confiables, se deben realizar estudios de la composición de las emisiones por tipo de fuente.

## **6.2.2 Fuentes fijas**

## **Fuentes fijas industriales**

Se realizó una evaluación de las emisiones provenientes de fuentes industriales y de las causadas por resuspensión de partículas.

En lo que se refiere a fuentes industriales se recolectó información de reportes de emisión disponibles y se comparó con factores de emisión utilizados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. Los resultados así obtenidos se extrapolaron de acuerdo al número de empleados de los establecimientos industriales. Esta variable, aunque no directamente ligada con la generación de emisiones, sí guarda relación con la producción para una planta determinada. Sin embargo este método de extrapolación tiene un nivel de confiabilidad muy bajo y el inventario así obtenido no se puede considerar adecuado.

Para el caso particular de las industrias de extracción de piedra caliza se estimaron las emisiones de partículas suspendidas totales y de las partículas menores a 10 micras. Se llevaron a cabo visitas a seis plantas con el objetivo de examinar en detalle la operación y de identificar claramente las fuentes de emisión. Los resultados obtenidos se extrapolaron al total de la industria existente en el AMM. En este caso los factores de emisión se corrigieron para tener en cuenta la humedad promedio del material que se maneja en las plantas de procesamiento de caliza.

Se estimó que las emisiones de partículas suspendidas totales al año son de 36,080 toneladas para una producción anual típica a 61,110 toneladas para una producción máxima, mientras que las emisiones de partículas menores a 10 micras ascienden a valores comprendidos entre 5,330 a 8,980 toneladas, respectivamente. Las fuentes de emisiones que más aportan son el transporte y manejo del material (35%), la molienda y el tamizado de la materia prima (31%), las caídas de material (21%) y las bandas transportadoras (4%).

El estudio concluyó que en total, las fuentes industriales en el AMM emiten por año 98,772 toneladas de partículas menores a 10 micras, 60,432 toneladas de óxidos de nitrógeno, 100,776 toneladas de bióxido de azufre, 28,836 toneladas de monóxido de carbono y 20,280 toneladas de hidrocarburos.

Las emisiones por resuspensión de partículas ocurren cuando los vehículos transitan sobre calles pavimentadas o no pavimentadas. Para realizar la estimación de estas emisiones se tomaron en cuenta los datos existentes de los kilómetros viajados por automóviles y autobuses en calles pavimentadas y en las no pavimentadas, utilizando factores de emisión desarrollados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. De acuerdo a esto se concluyó que se emiten 23,353 toneladas/año de partículas menores a 10 micras por resuspensión, siendo, después de la industria de minerales no-metálicos, la segunda fuente de partículas. Las emisiones

por calles sin pavimentar aportan el 91% de las partículas, por lo que es determinante tener información concreta sobre los vehículos que transitan por estas calles. Es necesario mejorar estos estimados con estudios futuros de las características del suelo y de los kilómetros viajados por los vehículos.

## Fuentes naturales

La identificación de las fuentes naturales de contaminación del aire en el AMM se realizó por medio de visitas de campo y la observación de fotografías aéreas recientes. Los terrenos planos desprovistos de vegetación, las construcciones en laderas, las áreas no urbanizadas sin pavimentar, los terrenos agrícolas temporaleros y las zonas de extracción se identificaron como las principales fuentes. La mayoría de ellas se encuentran localizadas en los sectores occidentales del área metropolitana. Esto coincide con los resultados de monitoreo de la calidad del aire obtenidos en las estaciones noroeste y suroeste que reportan los promedios geométricos y desviaciones estándar más elevados, así como el mayor número de días con violaciones a la norma de calidad del aire.

La evaluación de la contribución de las fuentes naturales a la contaminación del aire se realizó con ayuda de la ecuación universal de la pérdida de suelo por viento, mediante la cual se calculó el tonelaje total de suelo erosionado. Para ello se tomó en cuenta los tipos de usos de suelo, las características del suelo, la cubierta vegetal existente en el área metropolitana así como factores climatológicos propios. Los tipos de uso de suelo considerados fueron: matorrales nativos, pastizales inducidos, terrenos planos desprovistos de vegetación, terrenos agrícolas abandonados, terrenos agrícolas sin irrigación, terrenos agrícolas irrigados, caminos y calles sin pavimentar en asentamientos irregulares, sitios en construcción en laderas, zonas de extracción y depósitos industriales.

Los resultados muestran que los sectores occidental y noroccidental contribuyen con el mayor tonelaje de partículas y los mayores factores de emisión de partículas del suelo tanto totales como aquéllas menores a 10 micras. Los tipos de uso de suelo más importantes en esta contribución son las colonias conurbadas o asentamientos irregulares, construcciones en laderas, terrenos planos sin vegetación y la agricultura de temporal. Se estimó una emisión de 12,195 toneladas/año de partículas menores a 10 micras por la erosión del suelo. El 27.5% del total de las emisiones fue en áreas donde se localizan asentamientos humanos irregulares; en áreas de construcción y pendientes pronunciadas se emite el 24.8% del total de las partículas, áreas agrícolas aportan el 23.8%; al matorral nativo se debe el 11.4%; las áreas planas sin cubierta contribuyen con el 10.9%; el pasto inducido con el 1.3% y las minas abandonadas con el 0.4%.

Es importante proporcionar un manejo adecuado de la cobertura vegetal por medio de sistemas agroforestales en los terrenos agrícolas y praderas, desarrollo de esquemas de pastoreo en los agostaderos y de planes de manejo de plantas nativas, plantaciones en áreas desprovistas de vegetación como caminos rurales, calles sin pavimentar y construcciones en laderas. Otras acciones recomendadas para el mantenimiento de la cobertura vegetal son la incorporación de materia orgánica a los suelos agropecuarios para incrementar su estabilidad, y la captación de agua *in situ* para reducir el factor climático.

### **6.2.3 Fuentes móviles**

Del 14 al 17 de febrero de 1995 se llevó a cabo un estudio de detección remota de emisiones a 24,000 vehículos en cuatro puntos distintos del AMM. El detector remoto utilizado era capaz de medir la relación monóxido de carbono a bióxido de carbono ( $\text{CO}/\text{CO}_2$ ) y la relación de hidrocarburos a bióxido de carbono ( $\text{HC}/\text{CO}_2$ ) en los gases de escape de cualquier vehículo que pase a través de un haz de luz infrarroja. El aparato cuenta también con una fuente de luz ultravioleta para la medición de la relación óxido de nitrógeno a bióxido de carbono ( $\text{NO}/\text{CO}_2$ ).

Del análisis de los resultados se determinaron factores de emisión de 149 gramos de monóxido de carbono/litro de combustible, 9 gramos de hidrocarburos/litro de combustible y 14 gramos de óxido nítrico/litro de combustible. Se concluyó además que la mayoría de las emisiones se deben a un pequeño porcentaje de vehículos. Así el 21% de las emisiones de hidrocarburos medidas en este estudio se debieron a sólo el 1% de la flota vehicular, por lo que una acción obligatoria de mantenimiento y verificación vehicular en estos lograría una manera efectiva de reducir las emisiones.

Para determinar las emisiones de fuentes móviles se aplicó el modelo MOBILE5, inicialmente desarrollado por la Agencia para la Protección del Ambiente de los Estados Unidos, adaptado al área metropolitana. Como no existen datos de las características de emisión de la flota vehicular, los factores de emisión fueron determinados mediante la correlación entre la tecnología vehicular mexicana y los datos de emisiones del programa de verificación vehicular con la información disponible en EUA.

Los resultados indicaron que en el año 1995, la flota vehicular del AMM emitió 66,000 toneladas de hidrocarburos, 720,000 toneladas de monóxido de carbono, 27,000 toneladas de óxidos de nitrógeno y 3,300 toneladas de partículas menores a 10 micras en sus procesos de combustión. Para afinar estos resultados es necesario determinar factores de emisión y ciclos de manejo más representativos.

### **6.3 Inventario de emisiones 1995**

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 ambiental 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 este motivo debe subrayarse la necesidad de que los municipios conurbados y el Gobierno del estado de Nuevo León convengan 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.

En 1996, con la información compilada durante 1995, se hizo un tercer inventario de emisiones, el cual desafortunadamente no puede ser comparado en términos absolutos con los anteriores por no aplicar los mismos supuestos y metodologías de cálculo. Este nuevo inventario es mucho más detallado que los anteriores e indica que en el AMM el total de emisiones es de alrededor de 1,932,622 ton/año, de las cuales el 7% corresponde a la industria y servicios, un 53% al sector transporte y el 40% a los suelos.

La contribución del sector industrial es de 92% en SO<sub>2</sub> y 35% en NO<sub>x</sub>, mientras que los vehículos automotores emiten el 64% de los NO<sub>x</sub>, el 99.7% del CO, el 66% de los HC y el 8% del SO<sub>2</sub>. La contribución en partículas por la industria y los servicios es ligeramente mayor al 5% 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 el de las partículas provenientes de fuentes naturales, las cuales representan el 93% del total estimado. Cabe resaltar que la contribución de los servicios representa el 29% del total de los hidrocarburos.

**Tabla 19. Inventario de emisiones para el AMM 1995 (Ton/Año)**

Sector	PST	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	HC	Pb	Total
Industria	45,946	27,997	3,281	18,549	5,578	*	101,351
Servicios	16	N/S	8	458	36,660		37,142
Transporte	5,941	2,469	904,473	34,268	83,137	116	1,030,404
Suelos y vegetación*	763,725				*		763,725
<b>TOTAL</b>	<b>815,628</b>	<b>30,466</b>	<b>907,762</b>	<b>53,275</b>	<b>125,375</b>	<b>116</b>	<b>1,932,622</b>

**Tabla 20. Inventario de emisiones para el AMM 1995 (porcentaje por contaminante)**

Sector	PST	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	HC	Pb
Industria	6.0	91.9	0.3	36.0	5.0	*
Servicios	N/S	N/S	N/S	N/S	29.0	
Transporte	1.0	8.1	99.7	64.0	66.0	100.0
Suelos y vegetación*	93.0				*	



*Inventario de emisiones*

- (3) Realizado con factores de emisión del estudio Estimación del inventario de fuentes móviles para Monterrey, N.L. preparado para la Subsecretaría de Ecología de Monterrey, N.L., 1995.
- (4) Con datos del Estudio de emisiones de partículas y opciones de control para los bancos de piedras cantera en el Área Metropolitana de Monterrey preparado para la Subsecretaría de Ecología de Monterrey, N.L., 1995.

**Tabla 22. Inventario de emisiones en porcentaje en peso por contaminante para el AMM, 1995 (%)**

Tipo de fuente	PST	SO <sub>2</sub>	CO	NOx	HC	Pb
<b>Industria (1)</b>						
Generación de energía eléctrica	0.04	11.27	0.07	21.46	0.04	N/E
Refinación de petróleo/petroquímicas	0.00	0.00	0.02	0.02	0.67	N/E
Industria química	0.14	11.35	0.07	1.85	2.09	N/E
Minerales metálicos	0.02	0.33	0.07	0.26	0.02	N/E
Minerales no metálicos	5.26	64.98	0.04	9.35	0.04	N/E
Productos vegetales y animales	0.00	0.99	N/S	0.14	N/S	N/E
Madera y derivados	0.01	1.69	0.01	0.60	N/S	N/E
Productos de consumo alimenticio	0.00	0.92	0.01	0.29	N/S	N/E
productos de consumo varios	0.01	N/S	N/S	0.04	N/S	N/E
Productos metálicos	0.02	0.34	0.03	0.45	0.28	N/E
Productos de consumo de vida media	0.09	0.01	0.05	0.25	0.13	N/E
Productos de consumo de vida larga	0.04	N/S	N/S	0.11	0.35	N/E
Artes gráficas	N/A	N/A	N/A	N/A	0.82	N/A
<b>Servicios (2)</b>						
Lavado y desengrase	N/A	N/A	N/A	N/A	3.78	N/A
Consumo de solventes	N/A	N/A	N/A	N/A	8.59	N/A
Almac. y distribución de combustibles	N/A	N/A	N/A	N/A	5.58	N/A
Mercadeo y distribución de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	4.51	N/A
Oper. de lavado en seco (tintorerías)	N/E	N/A	N/A	N/A	1.68	N/A
Superficies arquitectónicas	N/E	N/A	N/A	N/A	2.97	N/A
Panaderías	N/E	N/E	N/E	N/E	0.60	N/A
Pintura automotriz	N/E	N/A	N/A	N/A	0.84	N/A
Pintura de tránsito	N/E	N/A	N/A	N/A	0.46	N/A
Esterilización en hospitales	N/A	N/A	N/A	N/A	0.05	N/A
Uso de asfalto	N/E	N/A	N/A	N/E	0.17	N/A
Combustión residencial	N/S	N/S	N/S	0.77	0.01	N/A
Combustión comercial/institucional	N/S	N/S	N/S	0.09	N/S	N/A
<b>Transporte (3)</b>						
Autos particulares	0.07	3.24	48.81	31.39	32.47	48.87
Pick-up	0.09	2.06	30.98	19.93	20.61	30.83
Taxis	0.01	0.45	6.76	4.35	4.50	6.77
Camiones pasajeros	0.36	1.51	8.25	5.30	5.49	N/A
Camiones carga	0.20	0.82	4.47	2.88	2.97	N/A
Motocicletas	N/S	0.02	0.34	0.22	0.22	0.75
Aeropuerto	N/A	N/A	0.04	0.26	0.06	N/A
<b>Suelos y Vegetación (4)</b>						
Suelos	93.64	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Vegetación	N/A	N/A	N/A	N/A	N/E	N/A

---

<b>TOTAL</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>
--------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

---

A continuación se presenta una discusión más detallada sobre la participación a las emisiones de cada uno de los sectores.

### **Industria**

Se cuenta actualmente con 188 fuentes industriales inventariadas en el AMM distribuidas en 12 giros, de los cuales el de la industria química agrupa al 23% de las empresas, seguido por minerales no metálicos con el 20%, el de productos de consumo de vida media con el 17%, el de productos de consumo de vida larga con el 12% y minerales metálicos con el 6%. 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 totales son el de minerales no metálicos, el de generación de energía eléctrica y la industria química, los cuales contribuyen a las emisiones con 67%, 16%, y 9%, respectivamente, sin incluir a las artes gráficas. En un análisis más detallado para la generación de partículas, que es el contaminante más importante en esta zona, los giros de minerales no metálicos, industria química y productos de consumo de vida media contribuyen con el 93%, 2.5% y 1.6%, respectivamente. En cuanto a los NO<sub>x</sub>, los que más contribuyen son los giros de generación de energía eléctrica y minerales no metálicos con 62% y 27%; por lo que respecta al SO<sub>2</sub>, los giros más contaminante son el de minerales no metálicos, la industria química y la generación de energía eléctrica con el 71%, 12% y 11%, respectivamente; en cuanto a los hidrocarburos, las mayores emisiones se tienen en la industria química y en las artes gráficas con el 47% y el 18%, respectivamente.

### **Servicios**

Este sector es importante debido a que el AMM 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 la emisión de compuestos orgánicos volátiles, presentes en una gran variedad de productos y materiales de consumo doméstico.

En la zona se ha iniciado la integración de un inventario de servicios y comercios dentro de los cuales se identifican 13 giros. De éstos se han estimado las emisiones de lavado y desengrase, consumo de solventes, operaciones de lavado en seco, recubrimientos de superficies arquitectónicas, pintura automotriz y pintura de tránsito.

Además de los giros antes mencionados se estimaron las emisiones por almacenamiento y venta de gasolinas, considerando un consumo anual en el AMM de 306,257 m<sup>3</sup> de gasolina Nova, 1,061,459 m<sup>3</sup> de gasolina Pemex Magna y 46,402 m<sup>3</sup> de gasolina Premium, 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.

Las emisiones generadas por el sector servicios son principalmente de hidrocarburos y solamente los giros donde existen procesos de combustión se generan todos los contaminantes criterio; cerca del 76% de ellos son generados por únicamente cuatro de los trece giros en los que se realizaron las estimaciones, siendo éstos, en orden de aportación, el de consumo de solventes (29%), el de transporte y venta de gasolinas (19%), el de mercadeo y distribución de gas L.P. (15%) y el de lavado y desengrase (13%). Estos cuatro giros contribuyen con el 76% de las emisiones de hidrocarburos del sector.

### **Suelos y vegetación**

En la sección 6.2.3 se describe el proceso de estimación de emisión de partículas por erosión del suelo por el viento. 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. Estas emisiones deben ser en un futuro cuantificadas e incorporadas al inventario.

### **Transporte**

En el inventario de emisiones se indica que el sector transporte genera anualmente 1,030,404 toneladas de contaminantes, de los cuales 904,473 toneladas corresponden a monóxido de carbono (CO), 83,137 toneladas a hidrocarburos (HC), 34,268 toneladas a óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), 5,941 toneladas a partículas suspendidas totales (PST) y 116 toneladas a plomo (Pb). 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 el AMM, es necesario que la estimación para este tipo de fuentes sea con información muy reciente y con grados de incertidumbre mínimos, por lo que en el futuro se deben implementar metodologías de mayor precisión.

La traza urbana original de Monterrey es diversa y obedece a un juego de calles en líneas geométricas y orgánicas y a pendientes pronunciadas. Esto se define principalmente por la prolongación de las carreteras que son parte de las calles y avenidas principales, las cuales convergen hacia el centro del AMM.

Algunas vías primarias y secundarias tienen un ancho sin continuidad lo que produce reducción o aumentos de carriles en diversos tramos. Además, por la falta de estacionamientos en la zona centro, se tienen problemas viales que se acrecientan en las horas pico de acceso a las escuelas.

La composición del parque vehicular indica que los vehículos particulares representan el 52%, los vehículos pick-up ocupan el segundo lugar con 40%, el 3% corresponde a los camiones y cerca del 3% a los taxis. El transporte público sólo está formado por el 1% del parque vehicular.

Por otro lado, el mayor número de viajes diarios que se realizan en la zona son a través del transporte público, como son los autobuses urbanos y suburbanos y los taxis, en los cuales se realiza el 62% de los viajes del AMM. El porcentaje restante lo llevan a cabo los autos particulares y algún otro tipo del transporte. En este aspecto es importante mencionar que no obstante que los autos particulares representan casi el 52% del parque vehicular, sólo realizan un poco más del 38% de los viajes diarios en el área.

En cuanto al consumo de combustibles en la zona, de acuerdo a cifras reportadas por Petróleos Mexicanos, el 45% del volumen de combustible consumido por los vehículos corresponde a diesel, en segundo lugar esta el consumo de gasolina Magna Sin con el 41%, luego la gasolina Nova con el 11% y por último la gasolina Premium con un 3%. Es interesante remarcar que en el periodo 1992-1996, el consumo de Nova se redujo en un factor de 0.7 y el de Magna y diesel se incrementaron en un factor de 1.29 y 1.31, respectivamente. Se puede mencionar que el consumo de combustibles tiene una relación directa con la conformación del parque vehicular, ya que el diesel es utilizado por los camiones de carga y camiones suburbanos; estos 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 las tres gasolinas, se observa que representan más del 55% de los combustibles vehiculares consumidos en el AMM, lo cual es consecuencia de que el 94% del total del parque vehicular correspondan a vehículos a gasolina. En cuanto a los que originan las principales emisiones contaminantes del sector transporte es de notar que el 49% provienen de los automóviles particulares y el 31% 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. La velocidad promedio vehicular en el AMM es de 20 a 30 kilómetros

por hora. Esta velocidad, sumamente baja, se ve reducida aún más cuando la ciudad sufre de interrupciones y obstrucciones viales por la existencia de calles sin pavimentación, y otras se reducen de tres a dos carriles. Otras clase 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 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.

## 7. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA

El Programa de Administración de la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Monterrey (PACADAMM), es la acción más importante a llevar cabo dentro de la sección de Contaminación del Aire del *Plan Estatal de Medio Ambiente 1995-2020*. El PACADAMM incluye no solamente medidas de prevención y control de la contaminación por compuestos gaseosos y partículas, sino también por ruido.

### 7.1 Objetivo

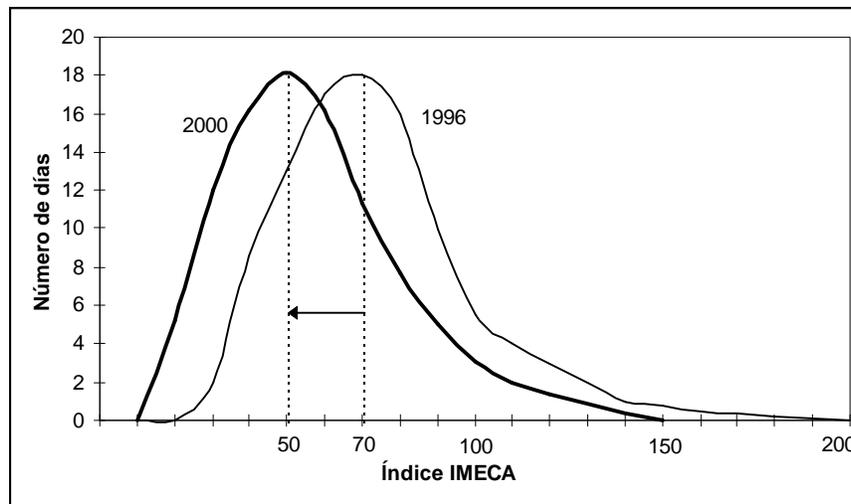
Proteger la salud de los habitantes del Área Metropolitana de Monterrey (AMM) mediante acciones específicas que prevengan y controlen la contaminación del aire, tanto por agentes químicos como físicos.

### 7.2 Metas

#### Meta General

Reducir el actual promedio anual del valor máximo diario de contaminación en el Área Metropolitana de Monterrey, de 70 puntos IMECA, a un promedio para el año 2000 de aproximadamente 50 puntos IMECA (ver Figura 6); y por consecuencia, reducir la probabilidad de poner en operación el Programa de Respuesta a Contingencias Ambientales (ver Anexo C).

Figura 6. Distribución de frecuencias IMECA 1996 y 2000



**Corto Plazo.** *Diciembre de 1997*

Asegurar la continuidad de las acciones del Programa a través de concientizar a la sociedad sobre su trascendencia.

Revisar, completar y validar el inventario de emisiones contaminantes a la atmósfera provenientes de los sectores industria, servicios y transporte, así como de las fuentes biogénicas.

**Mediano Plazo.** *Diciembre de 1998*

Desarrollar y operar un sistema computarizado que permita la consulta ágil y facilite la actualización permanente del Inventario de Emisiones.

Contar con un sistema de evaluación de la contaminación causada por ruido.

Completar la fase de implantación del Programa.

**Largo Plazo.** *Diciembre de 2000*

Finalizar el diagnóstico de la contaminación por ruido en el Área Metropolitana de Monterrey.

Reducir en cerca del 40% el número de días en que se rebasan las normas de calidad del aire de contaminantes criterio respecto a las ocurridas en 1996, pasando de un 18% a aproximadamente un 11%.

## **7.3 Estrategias**

### **7.3.1 Ciencia y tecnología, educación, capacitación y comunicación**

- Promover la realización de estudios de evaluación e investigación del problema de la contaminación del aire y de la contaminación por ruido.
- Gestionar apoyos económicos para el desarrollo de proyectos enfocados a resolver los problemas de contaminación prioritarios bajo un enfoque científico y tecnológico.
- Concertar con organismos e instituciones nacionales e internacionales la transferencia de tecnología.
- Fomentar la educación ambiental sobre todo en lo referente al impacto de la contaminación del aire y por ruido sobre la salud.
- Ampliar el conocimiento de la problemática de la contaminación del aire y de la contaminación por ruido.

### **7.3.2 Cooperación internacional**

- Establecer convenios de cooperación y apoyo financiero con países e instituciones internacionales.

### **7.3.3 Coordinación intersectorial**

- Propiciar la participación de los diferentes sectores de la sociedad en la evaluación y seguimiento de las acciones del Programa.

### **7.3.4 Gestión ambiental**

- Diseñar y promover el establecimiento de mecanismos de financiamiento para la implantación de las acciones del Programa.
- Promover la integración de políticas metropolitanas de desarrollo urbano, transporte, vialidad y medio ambiente.
- Establecer un sistema de información geográfica referenciado al estado.
- Implantar un Programa de Respuesta a Contingencias Ambientales para el área metropolitana.
- Proponer reformas a la legislación vigente de manera que se establezcan claramente los mecanismos necesarios para alcanzar el objetivo del programa.

### **7.3.5 Prevención y control de la contaminación**

- Incorporar nuevas tecnologías anticontaminantes.
- Promover la utilización de combustibles limpios.
- Aumentar la inspección y vigilancia de emisiones industriales y vehiculares a la atmósfera.
- Modernizar y reforzar el Programa de Verificación Vehicular.
- Reforzar las acciones de los programas de reducción de emisiones de partículas.
- Establecer una política de autorregulación con el sector industrial.

## **7.4 Plan de acción**

### **7.4.1 Ciencia y tecnología, educación, capacitación y comunicación**

#### **↻ Acción 1**

*Realizar un estudio de evaluación y expansión y reforzamiento de la red de monitoreo de calidad del aire dentro del Área Metropolitana de Monterrey.*

*Descripción*

Los esfuerzos estarán dirigidos a:

- I. Conocer la dinámica de los contaminantes en la atmósfera del área metropolitana;
- II. Determinar el número adecuado de estaciones de monitoreo adicionales;
- III. Localizar dichas estaciones;
- IV. Ampliar el número de parámetros de calidad del aire medidos en todas las estaciones: plomo y compuestos orgánicos volátiles;
- V. Aumentar el número de parámetros meteorológicos medidos a todas las estaciones de monitoreo: presión atmosférica, precipitación pluvial y radiación solar; y desarrollar el pronóstico de calidad del aire.

La Semarnap gestionará recursos para 1997 con el objeto de conocer las necesidades de modernización y crecimiento de la cobertura espacial de la red de monitoreo atmosférico. En particular se evaluará y dimensionarán las necesidades de equipo de monitoreo meteorológico y se desarrollará el pronóstico de la calidad del aire en tiempo real. Esto permitirá profundizar en el conocimiento de la contaminación del aire de la región y servirá como un elemento adicional para la actuación y respuesta técnica a las contingencias ambientales.

#### *Participantes*

- Gobierno del estado (Subsecretaría de Ecología)
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca
- Instituciones de Educación Superior
- Centros de Investigación

#### **⇒ Acción 2**

*Firmar un convenio con instituciones de educación superior para desarrollar actividades de capacitación, investigación e intercambio de información.*

#### *Descripción*

Las actividades de cooperación estarán dirigidas a:

- Estudiar la caracterización física y química de partículas y oxidantes fotoquímicos con el objetivo de establecer claramente la naturaleza de las diferentes fuentes emisoras y su aportación correspondiente.
- Capacitar al personal de inspección sobre la metodología de medición de ruido, manejo de equipo y levantamiento de actas.
- Establecer un sistema de evaluación de la contaminación por ruido que cuantifique periódicamente fuentes de ruido tales como vehículos, empresas, lugares de entretenimiento, obras y casas-habitación. Esto será la base para confeccionar una base de datos que permita realizar un diagnóstico del

#### *Descripción del programa*

problema de la contaminación por ruido en el Área Metropolitana de Monterrey.

- Llevar a cabo cursos de inventario de emisiones y control de partículas y gases con el objetivo de capacitar a personal técnico de los diferentes sectores para la elaboración del inventario de emisiones y la identificación y aplicación de medidas de control de emisiones.

#### *Participantes*

- Gobierno del estado (Subsecretaría de Ecología)
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca
- Instituciones de Educación Superior
- Centros de Investigación

#### **➔ Acción 3**

*Actualizar el inventario de emisiones para los sectores industria, comercio, servicios, transporte y suelos y 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 el Área Metropolitana de Monterrey. Este inventario se actualizó y amplió en 1996, incorporando la estimación de las emisiones del sector servicios y comercios. Debido a las necesidades del flujo de información requerida para el mantenimiento del inventario de emisiones se contempla la formación de grupos de trabajo integrados por las autoridades federales, gobiernos locales e instituciones de educación superior, para la integración de un inventario de emisiones completo y desagregado, a partir del cual se desarrollen y afinen los planes y programas de prevención y control de la contaminación atmosférica. La actualización del inventario implicará:

- Estudio de factores de emisión locales y específicos para procesos industriales, comerciales y de servicios, tipos de industrias y flota vehicular.
- Implementación de un Programa de Monitoreo en chimeneas con el objetivo de contar con datos confiables de medición de las emisiones del sector industrial.
- Integración del inventario a un Sistema de Información Geográfica.

#### *Participantes*

- Gobiernos municipales del Área Metropolitana de Monterrey
- Gobierno del estado (Subsecretaría de Ecología, Subsecretaría de Transporte, Consejo Estatal del Transporte)
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca

- Cámara de la Industria de Transformación
- Cámara Nacional de Comercio
- Comisión Federal de Electricidad
- Petróleos Mexicanos

#### ➤ **Acción 4**

*Desarrollar una campaña de educación para la comunidad sobre la contaminación del aire y por ruido.*

#### **Descripción**

El objetivo será crear conciencia entre la ciudadanía sobre los efectos adversos de la contaminación y de que éste es un problema a resolver con la intervención y cooperación, individual y colectiva, de todos los ciudadanos. Se tratarán tópicos como los daños provocados a la salud humana, la flora, la fauna y los bienes materiales, así como su influencia en los cambios climatológicos y en la visibilidad. Se informará sobre las diferentes maneras en que se puede disminuir los niveles de contaminación y los medios de canalización y resolución de las denuncias o quejas de la población.

En especial se hará énfasis en:

- Realizar campañas de educación para niños.
- Ampliar las actividades de difusión del reporte diario de calidad del aire en los medios masivos de comunicación (diarios locales, televisión, radio e internet), instituciones de educación y establecimientos industriales y de servicios. Con ello se persigue crear conciencia de que la calidad del aire que respiramos es responsabilidad de todos los usuarios de la cuenca atmosférica.

#### *Participantes*

- Gobierno del estado (Subsecretaría de Ecología, Subsecretaría de Salud, Secretaría de Educación Pública, Dirección de Comunicación Social)
- Comisión Estatal de Ecología
- Cámara de la Industria de Transformación
- Cámara Nacional de Comercio
- Organizaciones No Gubernamentales

#### ➤ **Acción 5**

*Desarrollar una campaña de capacitación y de certificación de personal para el manejo adecuado de equipos de combustión.*

### Descripción

Debido a que la generación de emisiones está estrechamente ligada con la eficiencia de la combustión, es necesario contar con programas de capacitación eficientes que se dirijan al personal que opera los equipos de combustión. Puesto que se ha comprobado que se pueden alcanzar reducciones de contaminantes hasta de un 42% en los procesos de combustión con prácticas operativas adecuadas, la campaña tendrá el propósito de implantar programas de mantenimiento que ayuden de forma operacional en la reducción de emisiones.

### Participantes

- Gobiernos municipales del Área Metropolitana de Monterrey
- Gobierno del estado (Subsecretaría de Ecología)
- Secretaría de Trabajo y Previsión Social
- Cámara de la Industria de Transformación
- Cámara Nacional de Comercio
- Organizaciones No Gubernamentales

## 7.4.2 Cooperación internacional

### ⇒ Acción 6

*Gestionar apoyos internacionales para la obtención de recursos económicos y asistencia técnica para la instrumentación del Programa.*

### Descripción

- Firma de comunicado de cooperación entre el Gobierno del estado de Nuevo León y el Gobierno del estado de Texas para intercambiar información sobre metodología de desarrollo de inventarios de emisiones, tratamiento de datos de calidad del aire y aplicación de modelos de dispersión de contaminantes para la predicción de posibles contingencias ambientales.
- Firma de comunicado de cooperación entre el Gobierno del estado de Nuevo León y el Gobierno del estado de Texas para intercambiar información sobre desarrollo de tecnología de control de emisiones y obtener apoyo económico para su transferencia.
- Firma de comunicado conjunto por las autoridades en materia de medio ambiente de los diez estados fronterizos para desarrollar proyectos conjuntos en las siguientes áreas: prevención de la contaminación, recolección e intercambio de información, soluciones de problemas ambientales de bajo costo y enfocados a la comunidad, intercambio técnico y capacitación.

- Propuesta para que en la XV Reunión de Gobernadores Fronterizos se realice una junta específicamente con autoridades de la SHCP para adjudicar recursos a los programas de calidad del aire.
- Presentación y promoción del PACADAMM ante organismos internacionales como Banco Mundial (World Bank), Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA), Fundación Ford (Ford Foundation), Asociación de Gobernadores del Oeste (Western Governors' Association), Organización Mundial de la Salud (OMS) con el objetivo de obtener apoyo económico para la realización de estudios epidemiológicos sobre el impacto de la contaminación atmosférica y de la contaminación por ruido sobre la salud humana.

#### *Participantes*

- Gobierno del estado de Nuevo León
- Gobierno del estado de Texas
- Comisión Estatal de Ecología
- Organizaciones Internacionales

### **7.4.3 Coordinación intersectorial**

#### **➔ Acción 7**

*Formar una Comisión Metropolitana para el Mejoramiento de la Calidad del Aire integrada por miembros de los diferentes sectores de la comunidad.*

#### *Descripción*

El establecimiento de una Comisión Metropolitana que coordine el seguimiento de las acciones del programa para mejorar la calidad del aire en el Área Metropolitana de Monterrey constituirá uno de los puntos importantes en el desarrollo de dichas acciones porque de esta manera se garantiza el consenso de la sociedad para implementar el Programa. La Comisión evaluará periódicamente los avances de las medidas instrumentadas y será la encargada de buscar los mecanismos para gestionar recursos de cooperación entre instituciones nacionales y organismos internacionales para llevar a cabo las acciones del Programa.

#### *Participantes*

- Gobiernos de los municipios del Área Metropolitana de Monterrey
- Gobierno del estado (Subsecretaría de Desarrollo Regional y Urbano, Subsecretaría de Ecología, Subsecretaría de Transporte, Consejo Estatal del Transporte, Subsecretaría de Salud)
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca

- Comisión Estatal de Ecología
- Instituciones de Educación Superior
- Cámara de la Industria de Transformación
- Cámara Nacional de Comercio
- Organizaciones No Gubernamentales

#### **7.4.4 Gestión ambiental**

##### **➔ Acción 8**

*Identificar alternativas para la constitución de un fideicomiso ambiental para la generación y administración de recursos económicos dedicados a desarrollar acciones del Programa.*

##### *Descripción*

El establecimiento de un fondo ambiental para el Área Metropolitana de Monterrey permitirá disponer de recursos ahora no existentes, para desarrollar proyectos ambientales encaminados hacia la prevención y control de la contaminación. Entre otros, podrían ser objeto de financiamiento, el fomento a la expansión y mejoramiento del transporte colectivo, la introducción de vehículos eléctricos y a gas natural, la constitución de un fondo de garantía para la modernización ambiental del transporte público de pasajeros, actividades de educación ambiental, la instrumentación de un programa piloto para el uso de combustibles alternos, el fortalecimiento del Programa de Verificación Vehicular, y el apoyo a proyectos de investigación de los problemas de calidad del aire en el área metropolitana.

##### *Participantes*

- Gobiernos de los municipios del Área Metropolitana de Monterrey
- Gobierno del estado
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca

##### **➔ Acción 9**

*Promover el otorgamiento de incentivos fiscales y sistemas de financiamiento en la adquisición de equipo de control de partículas y de conversión a gas natural.*

##### *Descripción*

En coordinación con la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, es necesario elaborar un programa que permita la integración de paquetes de incentivos fis-

cales a fin de adoptar técnicas y equipos de control de emisiones, principalmente de precursores de ozono y de partículas, con líneas de amortización más atractivas para la industria.

*Participantes*

- Gobierno del estado
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca

➤ **Acción 10**

*Promover la renovación de la flota de transporte público y de flotillas de uso intensivo (taxis, vehículos de reparto) mediante incentivos de carácter fiscal para su conversión a gas natural.*

*Descripción*

La renovación del parque vehicular colectivo y de flotillas de uso intensivo es una de las medidas que en el corto plazo pueden contribuir a reducir significativamente la emisión de contaminantes en el Área Metropolitana de Monterrey. Se pretende que esta renovación se realice en períodos preestablecidos, de tal forma que se cuenten con los mecanismos y recursos necesarios para alcanzar la meta planeada. Para ello se han de establecer convenios bajo los cuales el transporte público y de distribución de mercancía se realice en flotas vehiculares convertidas a gas natural comprimido, además de la instalación del convertidor catalítico en cada unidad.

Dadas las características de la flota vehicular, así como de los combustibles que demanda este tipo de transporte en el área metropolitana, se requiere desarrollar un marco regulatorio para los vehículos en circulación. Este marco regulatorio a su vez se debe basar en procedimientos que garanticen el control y reducción de los contaminantes criterio de origen vehicular (monóxido de carbono, hidrocarburos y óxidos de nitrógeno), así como en programas de verificación vehicular obligatoria y programas de vigilancia y seguimiento.

*Participantes*

- Gobiernos de los municipios del Área Metropolitana de Monterrey
- Gobierno del estado (Subsecretaría de Ecología, Subsecretaría de Transporte, Consejo Estatal del Transporte)
- Sector Transporte

➤ **Acción 11**

*Establecer mecanismos de integración de políticas metropolitanas de desarrollo urbano, transporte y vialidad, y medio ambiente.*

*Descripción*

El Programa contempla la integración de las políticas o criterios de ordenamiento urbano, usos del suelo, medio ambiente y transporte con un doble propósito: i) que el crecimiento futuro del área metropolitana se dé en un esquema en el que el desarrollo propio de la ciudad no contribuya al deterioro de la calidad del aire; ii) que su crecimiento se convierta en el conducto mediante el que en un futuro se cumplan las normas de calidad del aire.

Para esto se debe, entre otros:

- Participar en los procesos de definición e instrumentación de los Planes de Desarrollo Urbano de los municipios del área metropolitana con el fin de asegurar la incorporación de criterios de ordenamiento ecológico con lineamientos de usos de suelo compatibles en relación a la ubicación de empresas contaminantes.
- Revisar la legislación sobre desmontes de lotes baldíos con el fin de atenuar las emisiones de partículas.
- Revisión de los criterios y regulaciones de construcción con el fin de incorporar lineamientos para el control de contaminación por ruido y por emisión de partículas.
- Desarrollar instrumentos para redensificar y fomentar el uso mixto del suelo en apoyo a las acciones ambientales correspondientes.
- Establecer condicionantes para la autorización de nuevos desarrollos habitacionales, criterios de racionalización en la construcción de nuevas vialidades intraurbanas, y de integración de planes y programas de desarrollo urbano con infraestructura existente o planeada de transporte público
- Integrar las políticas de ordenamiento ecológico, programas de protección de las áreas de conservación ecológica, programas de constitución de reservas territoriales para diversos usos y destinos del suelo urbano y no urbano, programas de reciclaje urbano en zonas deprimidas, y establecimiento de estacionamientos de transferencia en áreas estratégicas, entre otras.

*Participantes*

- Gobiernos de los municipios del Área Metropolitana de Monterrey
- Gobierno del estado (Subsecretaría de Ecología, Subsecretaría de Transporte, Consejo Estatal del Transporte, Subsecretaría de Desarrollo Regional y Urbano, Consejo de Desarrollo Urbano)

**⇒ Acción 12**

*Implantar criterios de regulación tecnológica y vial para el transporte público.*

*Descripción*

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 y especialmente en altos y embotellamientos, es necesario contar con herramientas de gestión vial y educación cívica que faciliten la circulación fluida y reduzcan tiempos de espera, embotellamientos y la contaminación resultante de estas circunstancias. Esto se logra con el señalamiento adecuado, vialidad en buenas condiciones, y ordenación de movimientos que contribuyan a facilitar el desplazamiento del parque vehicular. De acuerdo a esto, se dirigirán esfuerzos a:

- Establecer mecanismos de agilización de tráfico vehicular y señalización.
- Coordinar modos de transporte con carriles confinados.

La delimitación de carriles exclusivos para el transporte público 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 señales (semaforización) y el propio señalamiento vertical u horizontal, para realmente favorecer el transporte y los desplazamientos de vehículos de una manera ágil y segura.

#### *Participantes*

- Gobiernos de los municipios del Área Metropolitana de Monterrey
- Gobierno del estado (Subsecretaría de Transporte, Subsecretaría de Ecología, Consejo Estatal del Transporte)
- Sector Transporte

#### **➤ Acción 13**

*Promover la creación de rutas de autobuses para reducir el uso de vehículos privados y estimular el transporte institucional, de escolares y de personal. Reglamentación de las paradas de autobuses.*

#### *Descripción*

Esta medida esta orientada al establecimiento de rutas de autobuses que estimulen el uso de transporte institucional, de escolares y privado. Para evaluar y autorizar cada ruta será necesario considerar centros de población y vialidades vigentes, longitudes de ruta, estacionalidad de la demanda, aforos, frecuencia y tiempos recorridos así como paradas y estándares de operación. Simultáneamente se evaluarán las condiciones del motor y el chasis de los vehículos a fin de establecer un programa de renovación de la flota vehicular orientado a mejorar la calidad del servicio y reducir las emisiones. Se persigue reestructurar las rutas de transporte urbano metropolitano, propiciando un clima de competencia y complementariedad entre operadores, estableciendo tamaños máxi-

mos de autobuses por empresa y responsabilizando a los operadores de la calidad del servicio.

*Participantes*

- Gobiernos de los municipios del Área Metropolitana de Monterrey
- Gobierno del estado (Subsecretaría de Transporte, Subsecretaría de Ecología, Consejo Estatal del Transporte)
- Sector Transporte

➤ **Acción 14**

*Promover la ampliación de la red del metro.*

*Descripción*

Este programa está orientado a posibilitar una mayor cantidad de viajes en transporte público no contaminante, para reducir los viajes en vehículos automotores privados o públicos, comunicando zonas que generan mayor cantidad de desplazamientos. Para esto se pretende ampliar la red de cobertura de esta modalidad, como parte de una solución integral al mejoramiento del transporte público para diversificar las opciones de modos de transporte más limpios.

Este programa deberá considerar la elaboración de encuestas de origen-destino de los viajes de los residentes del Área Metropolitana de Monterrey, a fin de desarrollar proyectos de nuevas líneas de acuerdo a criterios de eficiencia y calidad en el servicio y a los lineamientos de desarrollo urbano.

*Participantes*

- Gobiernos de los municipios del Área Metropolitana de Monterrey
- Gobierno del estado (Subsecretaría de Transporte, Subsecretaría de Ecología, Consejo Estatal del Transporte)
- Sector Transporte

➤ **Acción 15**

*Diseñar e instrumentar el Programa de Respuesta a Contingencias Ambientales.*

*Descripción*

El objetivo del Programa de Respuesta a Contingencias es evitar la exposición de la población, especialmente los niños, ancianos y personas enfermas, a niveles de contaminación que signifiquen riesgos para su salud. El Programa de Respuesta a

Contingencias para el Área Metropolitana de Monterrey se debe basar en cinco principios fundamentales:

- **Prevención.** Se ha de tener una oportunidad real de incidir a tiempo en los procesos de emisión de contaminantes.
- **Activación automática basada en criterios de salud ambiental.** Es necesario establecer el nivel de activación automática para el área metropolitana, 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.** La eficacia del Programa de Respuesta a Contingencias Ambientales depende críticamente de la lista de participantes, que deberá incluir a los agentes que contribuyen mayoritariamente a la contaminación atmosférica.
- **Consistencia con el Programa de Administración de la Calidad del Aire.** Ambos programas serán concebidos como complementarios, dirigidos hacia objetivos comunes y diseñados de tal manera que sus acciones se refuercen permanentemente.
- **Claridad en sus diseños 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.

En el primer semestre de 1997 se revisará el inventario de emisiones con las industrias y se identificarán las empresas que participarán en el programa de contingencias, se establecerán compromisos con cada empresa y en el invierno de 1997-1998 arrancará el programa.

#### *Participantes*

- Gobierno del estado (Subsecretaría de Ecología, Subsecretaría de Salud, Secretaría de Educación Pública)
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca
- Cámara de la Industria de Transformación
- Cámara Nacional de Comercio
- Comisión Federal de Electricidad
- Petróleos Mexicanos
- Sector Transporte

#### **⇒ Acción 16**

*Desarrollar reglamentos específicos de contaminación atmosférica y por ruido.*

#### *Descripción*

Con el propósito de avanzar en el control de la contaminación del aire, es necesario contar con los reglamentos de contaminación atmosférica y ruido correspondientes a la Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Nuevo León. El Gobierno del estado y los municipios conurbados elaborarán sus reglamentos para especificar la aplicación de los mismos incluyendo mecanismos de autorregulación, cumplimiento voluntario e incentivos económicos, además de los sistemas de sanciones por violaciones. Estos reglamentos deberán ser presentados a las autoridades correspondientes para su aprobación.

*Participantes*

- Gobiernos de los municipios del Área Metropolitana de Monterrey
- Gobierno del estado (Subsecretaría de Ecología, Subsecretaría de Transporte, Consejo Estatal del Transporte)

➤ **Acción 17**

*Instrumentar el Sistema de Vigilancia Epidemiológica en el AMM.*

*Descripción*

Las autoridades ambientales y sanitarias, y la comunidad en general, necesitan contar con información permanente sobre los efectos del ambiente en la salud. Esta información es crucial para la toma de decisiones y sobre la consistencia en la aplicación del Programa de Administración de la Calidad del Aire y del Programa de Respuesta a Contingencias Ambientales. La activación del Sistema de Vigilancia Epidemiológica debe permitir generar la información necesaria para conocer y evaluar los daños y efectos de la contaminación atmosférica en la salud de la población y con ello enfocar de manera eficiente las medidas de prevención, protección y atención pertinentes.

*Participantes*

- Gobierno del estado (Subsecretaría de Ecología, Subsecretaría de Salud)
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca

➤ **Acción 18**

*Impulsar la realización de estudios de monitoreo microambiental y de exposición a contaminantes.*

*Descripción*

La concentración de los contaminantes atmosféricos y el grado de exposición a los mismos 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 tales como oficinas, escuelas, casas, interior de vehículos en circulación, 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 son el monóxido de carbono, el dióxido de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles. Es importante destacar que los programas de monitoreo microambiental deben considerarse como una herramienta complementaria y no sustituta 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 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.

#### *Participantes*

- Gobierno del estado (Subsecretaría de Ecología, Subsecretaría de Salud, Secretaría de Educación Pública).
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca
- Instituciones de Educación Superior
- Centros de Investigación
- Organizaciones No Gubernamentales

### **7.4.5 Prevención y control de la contaminación**

#### **⇒ Acción 19**

*Establecer convenios con las pedreras para controlar y reducir las emisiones de partículas.*

*Descripción*

El Gobierno del Estado deberá convenir con las empresas que se dedican a la extracción de piedra, la instalación de equipo anticontaminante que sirva para reducir las emisiones de partículas en las diferentes fases del proceso. De este modo será posible reducir 12,500 toneladas de partículas por año.

*Participantes*

- Gobierno del estado (Subsecretaría de Ecología)
- Sector privado (Extracción de Piedra)

➔ **Acción 20**

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

*Descripción*

Las autoridades del Gobierno del estado, de los municipios conurbados y la Semarnap en coordinación con la industria, desarrollarán programas de autorregulación voluntaria para reducir las emisiones de precursores de ozono, en los cuales se contemplen límites de emisiones más estrictos que los establecidos por la normatividad vigente.

Con esta medida se estima una reducción aproximada del 80% para óxidos de nitrógeno (aplicando reducción catalítica con recirculación de gases) y del 90% para compuestos orgánicos volátiles (con incineración catalítica y recuperación de vapores), asumiendo que participarían las 70 industrias que aportan la mayor cantidad de precursores de ozono. Esto equivale a una disminución de 14,500 toneladas al año de óxidos de nitrógeno y 4,000 toneladas al año de hidrocarburos.

Asimismo, 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.

*Participantes*

- Gobiernos de los municipios del Área Metropolitana de Monterrey
- Gobierno del estado (Subsecretaría de Ecología)
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca
- Cámara de la Industria de Transformación
- Cámara Nacional de Comercio

- Comisión Federal de Electricidad

### ➤ **Acción 21**

*Establecer convenios con industrias altamente contaminantes en partículas y bióxido de azufre.*

#### *Descripción*

Se pretende reducir las emisiones generadas mediante la instalación de sistemas y/o dispositivos de control de emisiones al aire para lo cual se contempla la búsqueda de mecanismos de financiamiento, considerando que para las partículas se instalen precipitadores electrostáticos, ciclones y lavadores de gases y para el bióxido de azufre lavadores de gases. Los principales giros industriales involucrados son el de minerales no metálicos, minerales metálicos, petroquímica y generación de energía eléctrica.

#### *Participantes*

- Gobierno del estado (Subsecretaría de Ecología)
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca
- Cámara de la Industria de Transformación
- Cámara Nacional de Comercio
- Comisión Federal de Electricidad

### ➤ **Acción 22**

*Introducir combustibles más limpios para uso industrial y vehicular en el Área Metropolitana de Monterrey.*

#### *Descripción*

Las actividades se centrarán en:

- Pemex evaluará la factibilidad de suministrar gasóleo industrial con un contenido máximo de 1 a 2% de azufre (sustitución del suministro de combustóleo). Con esta medida se pretende reducir en un 47% las emisiones de bióxido de azufre y de partículas generadas por los procesos de combustión con combustóleo en el sector industrial. Esto supone reducciones anuales de 1,200 toneladas de bióxido de azufre y de 1,400 toneladas de partículas, sin aplicar medidas de instalación de equipos de control.
- Suministro de gas LP con bajo contenido de olefinas. Con ello se busca reducir las emisiones de hidrocarburos reactivos. El gas LP que se consume en el Área Metropolitana de Monterrey resulta de una mezcla del 41% de

gas importado de los Estados Unidos y un 59% de gas producido por la refinería de Cadereyta. El primero no contiene olefinas, el segundo contiene un 45% y la mezcla posee un contenido de alrededor de 7% en volumen, el cual deberá reducirse.

- Incrementar el suministro de gas natural para la industria. La Semarnap gestionará ante Pemex que se suministre mayor cantidad de gas natural para uso industrial en el Área Metropolitana de Monterrey con el objetivo de incrementar el número de establecimientos industriales que consumen gas natural en sus procesos de combustión.
- Pemex llevará a cabo estudios para evaluar la factibilidad de suministrar gasolina Pemex Magna con especificaciones mejoradas de PVR, benceno, aromáticos, olefinas y contenido de oxígeno para el Área Metropolitana de Monterrey. A partir de enero de 1998, se suministrará gasolina Pemex Magna con las especificaciones establecidas en la NOM-086: PVR de 6.5-8.5 lb/pulg<sup>2</sup>, 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.

#### *Participantes*

- Gobierno del estado (Subsecretaría de Ecología)
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca
- Petróleos Mexicanos

#### **➔ Acción 23**

*Diseñar e implantar un programa de aseguramiento de la calidad de combustibles.*

#### *Descripción*

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

#### *Participantes*

- Gobierno del estado (Subsecretaría de Ecología)
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca
- Petróleos Mexicanos

➤ **Acción 24**

*Reforzar la inspección y vigilancia de establecimientos industriales, comerciales y de servicios.*

*Descripción*

La regulación ambiental de los sectores industrial y de servicios se realizará a través de la aplicación estricta de las normas ambientales vigentes y la vigilancia del cumplimiento de las mismas redundará en la reducción de las emisiones.

*Participantes*

- Gobierno del estado (Subsecretaría de Ecología)
- Sectores industrial y de servicios

➤ **Acción 25**

*Incorporar la medición de ruido en el programa de inspección y vigilancia a establecimientos industriales.*

*Descripción*

La Semarnap y el Gobierno del estado en el ámbito de su competencia de acuerdo a lo establecido por la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, sus reglamentos y la normatividad vigente, deberán requerir al sector industrial que presente mediciones de ruido.

*Participantes*

- Gobiernos de los municipios del Área Metropolitana de Monterrey
- Gobierno del estado (Subsecretaría de Ecología)
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca

➤ **Acción 26**

*Reforzar el Programa de Verificación Vehicular, incluyendo su renovación técnica y administrativa.*

*Descripción*

Las actividades se desarrollarán principalmente en torno a tres puntos:

- Renovación técnica del Programa de Verificación Vehicular mediante la medición de las emisiones de óxidos de nitrógeno, bióxido de carbono, óxi-

#### *Descripción del programa*

geno y ruido, y la instalación de equipo de medición que cumpla con los requerimientos BAR-90 o superiores. El objetivo es contar con un Programa de Verificación Vehicular acorde a la problemática de contaminación del área metropolitana y a las características de la flota vehicular.

- Renovación administrativa del Programa mediante la apertura a múltiples concesionarios y la implementación de un sistema de auditoría periódica. La auditoría se aplicará tanto a los procedimientos operativos y de administración como de tratamiento de la información. Con ello se contará con un sistema de procedimientos rigurosamente claro y transparente para la opinión pública.
- Reforzamiento del Programa a través de un sistema de fuerte cooperación con los gobiernos municipales mediante sanciones, incorporando mecanismos de participación ciudadana.

#### *Participantes*

- Gobiernos de los municipios del Área Metropolitana de Monterrey
- Gobierno del estado (Subsecretaría de Ecología)
- Sector privado

#### **➤ Acción 27**

*Implantar un programa permanente para la sanción de vehículos ostensiblemente contaminantes.*

#### *Descripción*

El programa deberá de contar con patrullas ecológicas en el Área Metropolitana de Monterrey con el propósito de detectar vehículos ostensiblemente contaminantes. Estos, al no cumplir con la normatividad vigente, deben ser sancionados adecuada y oportunamente siendo retirados temporalmente de la circulación. Para que la implementación de esta acción sea posible deberá elaborarse un reglamento y presentarse para su aprobación ante las autoridades correspondientes.

#### *Participantes*

- Gobiernos de los municipios del Área Metropolitana de Monterrey
- Gobierno del estado (Subsecretaría de Ecología)

#### **➤ Acción 28**

*Diseñar e instrumentar campañas de monitoreo de emisiones vehiculares con técnicas de medición remota.*

#### *Descripción*

Las técnicas de medición remota de emisiones vehiculares han evolucionado favorablemente durante los últimos años, de tal forma que en la actualidad se consideran como técnicas alternativas para elaborar inventarios de emisiones vehiculares. Su gran atractivo es que en relativamente poco tiempo y a un costo muy razonable, es posible conocer el perfil de las emisiones de los diferentes tipos y estratos de un parque vehicular. Asimismo, permiten identificar a los vehículos altamente contaminantes. Se contempla la realización de una campaña de monitoreo remoto de emisiones vehiculares durante el segundo semestre de 1997.

#### *Participantes*

- Gobierno del estado (Subsecretaría de Ecología)
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca

#### **➤ Acción 29**

*Diseñar e instrumentar una campaña de abatimiento de emisión de partículas por erosión del viento.*

#### *Descripción*

La campaña tendrá tres frentes de acción:

- Enverdecimiento de áreas urbanas e intensificación del programa de reforestación en las zonas periféricas del Área Metropolitana de Monterrey con el objetivo de mejorar las condiciones ambientales e incrementar las áreas verdes para la recreación y esparcimiento de la población, y reducir las emisiones de partículas. Este proyecto contempla la reforestación urbana del área metropolitana y de las áreas que presentan influencia sobre la misma, para lo cual se deberá utilizar principalmente especies nativas, considerando criterios ambientales, urbanos, estéticos y funcionales, con técnicas de plantación y mantenimiento adecuadas a cada zona en particular, para garantizar el éxito de las plantaciones.
- Desarrollo de una campaña intensiva de pavimentación de calles y avenidas para reducir emisiones de partículas generadas en calles y avenidas sin pavimentar en el área metropolitana. De acuerdo al volumen de emisiones reportadas en el inventario de emisiones del Área Metropolitana de Monterrey, se ha observado que más del 90% de las partículas que se generan en la misma se deben a procesos erosivos de los suelos. Esta medida tiende a disminuir las emisiones de dichas partículas, puesto que la existencia de calles y avenidas sin ningún tipo de pavimento o cubierta, propicia que se generen emisiones de partículas, sobre todo en las épocas en que no se presentan lluvias.

#### *Descripción del programa*

- Intensificación de la campaña anual de aplicación de sustancias químicas (cloruro de calcio) en lechos de ríos y canchas deportivas con el objetivo de disminuir las emisiones de partículas por erosión del viento.

#### *Participantes*

- Gobiernos de los municipios del Área Metropolitana de Monterrey
- Gobierno del estado (Subsecretaría de Ecología)
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca
- Sector privado

#### **⇒ Acción 30**

*Desarrollar esquemas de participación voluntaria de autorregulación del sector industrial, comercial y de servicios.*

#### *Descripción*

El sector industrial junto con las autoridades competentes de la Semarnap y el Gobierno del estado crearán 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. Para lograr una mayor cobertura se contempla la difusión de información hacia otros sectores, como el de servicios.

#### *Participantes*

- Gobierno del estado (Subsecretaría de Ecología)
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca
- Sector privado

#### **⇒ Acción 31**

*Diseñar e instrumentar un programa de reconocimiento público por la promoción y ejecución de acciones de mejoramiento de la calidad del aire.*

#### *Descripción*

Con el objetivo de estimular el cumplimiento mas allá de las regulaciones vigentes, la Semarnap y el Gobierno del estado deberán desarrollar un esquema donde se describan los estímulos y reconocimientos que se deberán otorgar a todos aquellos individuos y organizaciones de cualquier sector de la comunidad

por sus aportaciones al mejoramiento de la calidad del aire en el Área Metropolitana de Monterrey.

*Participantes*

- Gobierno del estado (Subsecretaría de Ecología)
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca
- Comisión Estatal de Ecología
- Sector privado

A continuación se presentan dos conjuntos de tablas en las que se agrupan las medidas del programa con base en dos tipos de criterios:

- por tipo de estrategia
- por su impacto en el inventario de emisiones.

**Tabla 23. Clasificación de las medidas por tipo de estrategia**

---

<b>Ciencia y tecnología, Educación, capacitación y comunicación</b>
1. Realizar un estudio de evaluación y expansión y reforzamiento de la red de monitoreo de la calidad del aire.
2. Firmar un convenio con instituciones de educación superior para actividades de capacitación, investigación e intercambio de información. <ul style="list-style-type: none"><li>• Estudio de caracterización física y química de partículas y oxidantes fotoquímicos.</li><li>• Capacitación al personal de inspección sobre la metodología de medición de ruido, manejo de equipo y levantamiento de actas.</li><li>• Establecimiento de un sistema de evaluación de la contaminación por ruido que cuantifique periódicamente fuentes de ruido.</li><li>• Cursos de inventario de emisiones y control de partículas y gases.</li></ul>
3. Actualizar el inventario de emisiones para los sectores industria, comercio, servicios, transporte y suelos y vegetación. <ul style="list-style-type: none"><li>• Estudio de factores de emisión específicos para procesos industriales, comerciales y de servicios, tipos de industrias y flota vehicular.</li><li>• Implantación de un Programa de Monitoreo en chimeneas.</li><li>• Integración del inventario a un Sistema de Información Geográfica.</li></ul>
4. Desarrollar una campaña de educación para la comunidad sobre la contaminación del aire y por ruido. <ul style="list-style-type: none"><li>• Realización de campañas de educación ciudadana, en particular para niños.</li><li>• Ampliación de actividades de difusión del reporte diario de calidad del aire.</li></ul>
5. Desarrollar una campaña de capacitación y de certificación de personal para el manejo adecuado de equipos de combustión.

---

---

### Cooperación Internacional

---

6. Gestionar apoyos internacionales para la obtención de recursos económicos y asistencia técnica para la instrumentación del Programa.
    - Firma de comunicado de cooperación entre el Gobierno del estado de Nuevo León y el Gobierno del estado de Texas.
    - Propuesta para que en la XV Reunión de Gobernadores Fronterizos se realice una junta específicamente con autoridades de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público para adjudicar recursos a los programas de calidad del aire.
    - Presentación y promoción del PACADAMM ante organismos internacionales
    - Firma de comunicado conjunto por las autoridades en materia de medio ambiente de los diez estados fronterizos.
- 

---

### Coordinación intersectorial

---

7. Formar una Comisión Metropolitana para el Mejoramiento de la Calidad del Aire integrada por miembros de los diferentes sectores de la comunidad.
- 

---

### Gestión ambiental

---

8. Identificar alternativas para la constitución de un fideicomiso ambiental para la generación y administración de recursos económicos dedicados a desarrollar acciones del Programa.
  9. Promover el otorgamiento de incentivos fiscales y sistemas de financiamiento en la adquisición de equipo de control de partículas y de conversión a gas natural.
  10. Promover la renovación de la flota de transporte público y de flotillas de uso intensivo (vehículos de reparto) mediante incentivos de carácter fiscal para su conversión a gas natural.
  11. Establecer mecanismos de integración de políticas metropolitanas de desarrollo urbano, transporte y vialidad, y medio ambiente.
    - Participación en los procesos de definición e instrumentación de los Planes de Desarrollo Urbano de los municipios del área metropolitana.
    - Revisión de la legislación sobre desmontes de lotes baldíos.
    - Revisión de los criterios y reglamentos de desarrollo urbano.
    - Revisión de los criterios y regulaciones de construcción.
  12. Implantar criterios de regulación tecnológica y vial para el transporte público.
    - Mecanismos de agilización de tráfico vehicular y señalización.
    - Coordinación de modos de transporte con carriles confinados.
  13. Promover la creación de rutas de autobuses para reducir el uso de vehículos privados y estimular el transporte institucional, de escolares y de personal; reglamentar las paradas de autobuses.
  14. Promover la ampliación de la red del metro.
  15. Diseñar e instrumentar el Programa de Respuesta a Contingencias Ambientales.
  16. Desarrollar reglamentos específicos de contaminación atmosférica y por ruido.
  17. Instrumentar el Sistema de Vigilancia Epidemiológica en el Área Metropolitana de Monterrey.
  18. Impulsar la realización de estudios de monitoreo microambiental y de exposición a contaminantes.
-

---

### Prevención de la contaminación

---

19. Establecer convenios con las pedreras para controlar y reducir las emisiones de partículas.
  20. Establecer convenios con la industria para controlar y reducir emisiones de precursores de ozono.
  21. Establecer convenios con industrias altamente contaminantes en partículas y bióxido de azufre.
  22. Introducir combustibles más limpios para uso industrial y vehicular en el Área Metropolitana de Monterrey.
    - Suministro de gasóleo industrial con un contenido máximo de 1 a 2% de azufre.
    - Suministro de gas L.P. con bajo contenido de olefinas.
    - Incremento del suministro de gas natural para la industria.
    - Suministro de gasolina Pemex Magna con especificaciones mejoradas de PVR, benceno, aromáticos, olefinas y contenido de oxígeno para el Área Metropolitana de Monterrey.
  23. Diseñar e implantar un programa de aseguramiento de la calidad de combustibles.
  24. Reforzar la inspección y vigilancia de establecimientos industriales, comerciales y de servicios.
  25. Incorporar la medición de ruido en el programa de inspección y vigilancia a establecimientos industriales.
  26. Reforzar el Programa de Verificación Vehicular, incluyendo su renovación técnica y administrativa.
  27. Implantar un programa permanente para la sanción de vehículos ostensiblemente contaminantes.
  28. Diseñar e instrumentar campañas de monitoreo de emisiones vehiculares con técnicas de medición remota.
  29. Diseñar e instrumentar una campaña de abatimiento de emisión de partículas por erosión del viento.
    - Enverdecimiento de áreas urbanas e intensificación del programa de reforestación en las zonas periféricas del Área Metropolitana de Monterrey.
    - Desarrollo de una campaña intensiva de pavimentación de calles y avenidas.
    - Intensificación de la campaña anual de aplicación de sustancias químicas en lechos de ríos y canchas deportivas.
  30. Desarrollar esquemas de participación voluntaria de autorregulación del sector industrial, comercial y de servicios.
  31. Diseñar e instrumentar un programa de reconocimiento público por la promoción y ejecución de acciones de mejoramiento de la calidad del aire.
-

**Tabla 24. Clasificación de las medidas con base en el inventario de emisiones.**

Acción	#	Participantes	Calendarización				Costo (millones USD)	Reducción estimada de emisiones (ton/año)				
			1997	1998	1999	2000		NO <sub>x</sub>	HC	SO <sub>2</sub>	CO	PST
<b>Industria y servicios</b>												
Desarrollar una campaña de capacitación y de certificación de personal para el manejo adecuado de equipos de combustión.	5	Municipios, Gobierno del estado, STPS, Industria, Servicios, ONGs	CI	I	I	I	1.0	NE	NE	NE	NE	NE
Promover el otorgamiento de incentivos fiscales y sistemas de financiamiento en la adquisición de equipo de control de partículas y de conversión a gas natural.	9	Gobierno del estado, Semarnap	CI	I	I	I	NE	NA	NA	NA	NA	NA
Establecer convenios con las pedreras para controlar y reducir las emisiones de partículas.	19	Gobierno del estado, Industria	CI	I	I	I	12.5	NA	NA	NA	NA	12,500
Establecer convenios con la industria para controlar y reducir emisiones de precursores de ozono.	20	Municipios, Gobierno del estado, Semarnap, Industria, Servicios, CFE	DC	I	I	I	47.0	14,500	4,000	NA	NA	NA
Establecer convenios con industrias altamente contaminantes en partículas y bióxido de azufre.	21	Municipios, Gobierno del estado, Semarnap, Industria, Servicios, CFE	DC	I	I	I	20.0	NA	NA	11,000	NA	3,500
Reforzar la inspección y vigilancia de establecimientos industriales, comerciales y de servicios.	24	Municipios, Gobierno del estado, Semarnap	I	I	I	I	5.0	NE	NE	NE	EN	NE
Incorporar la medición de ruido en el programa de inspección y vigilancia a establecimientos industriales.	25	Municipios, Gobierno del estado, Semarnap	D	I	I	I	NE	NA	NA	NA	NA	NA
Desarrollar esquemas de participación voluntaria de autorregulación del sector industrial, comercial y de servicios.	30	Gobierno del estado, Semarnap, Industria, Servicios	DC	I	I	I	0.3	NE	NE	NE	EN	NE

D: Diseño

C: Concertación

I: Instrumentación

NA: no aplica

NE: no estimado

Acción	#	Participantes	Calendarización				Costo (millones USD)	Reducción estimada de emisiones (ton/año)				
			1997	1998	1999	2000		NOx	HC	SO <sub>2</sub>	CO	PST

### Vehículos

Promover la renovación de la flota de transporte público y de flotillas de uso intensivo (vehículos de reparto) mediante incentivos de carácter fiscal para su conversión a gas natural.	10	Municipios, Gobierno del estado, Sector transporte	DC	I	I	I	128.0	1,515	4,789		52,950	1,538
Implantar criterios de regulación tecnológica y vial para el transporte público. • Mecanismos de agilización de tráfico vehicular y señalización. • Coordinación de modos de transporte con carriles confinados.	12	Municipios, Gobierno del estado, Sector transporte	D	I	I	I	1.0	NE	NE	NE	NE	NE
			D	D	I	I						
Promover la creación de rutas de autobuses para reducir el uso de vehículos privados y estimular el transporte institucional, de escolares y de personal; reglamentar las paradas de autobuses.	13	Municipios, Gobierno del estado, Sector transporte	D	I	I	I	1.0	NE	NE	NE	NE	NE
Reforzar el Programa de Verificación Vehicular, incluyendo su renovación técnica y administrativa.	26	Municipios, Gobierno del estado, Sector privado	I	I	I	I	11.0	NE	NE	NE	NE	NE
Implantar un programa permanente para la sanción de vehículos ostensiblemente contaminantes.	27	Municipios, Gobierno del estado	I	I	I	I	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Diseñar e instrumentar campañas de monitoreo de emisiones vehiculares con técnicas de medición remota.	28	Gobierno del estado, Semarnap	DI	I	I	I	5.0	NA	NA	NA	NA	NA

### Recuperación ecológica

Diseñar e instrumentar una campaña de abatimiento de emisión de partículas por erosión del viento. • Enverdecimiento de áreas urbanas e intensificación del programa de reforestación en las zonas periféricas del Área Metropolitana de Monterrey. • Desarrollo de una campaña intensiva de pavimentación de calles y avenidas. • Intensificación de la campaña anual de aplicación de sustancias químicas en lechos de ríos y canchas deportivas.	29	Municipios, Gobierno del estado, Semarnap, Sector privado	I	I	I	I	243.0	NA	NA	NA	NA	259,450*
			CI	I	I	I						
			DI	I	I	I						

\*Esta estima alcanzar esta reducción al final de los cuatro años del programa

### Nuevo orden urbano

D: Diseño

C: Concertación

I: Instrumentación

NA: no aplica

NE: no estimado

Acción	#	Participantes	Calendarización				Costo (millones USD)	Reducción estimada de emisiones (ton/año)				
			1997	1998	1999	2000		NOx	HC	SO <sub>2</sub>	CO	PST
Realizar un estudio de evaluación y expansión y reforzamiento de la red de monitoreo de la calidad del aire.	1	Gobierno del estado, Semarnap, Universidades	D	DI			2.0	NA	NA	NA	NA	NA
Firmar un convenio con instituciones de educación superior para actividades de capacitación, investigación e intercambio de información.	2	Gobierno del estado, Semarnap, Universidades	I	I	I	I	1.0	NA	NA	NA	NA	NA
Actualizar el inventario de emisiones para los sectores industria, comercio, servicios, transporte y suelos y vegetación.	3	Municipios, Gobierno del estado, Semarnap, Industria, Servicios, Pemex	I	I	I	I	4.0	NA	NA	NA	NA	NA
Desarrollar una campaña de educación para la comunidad sobre la contaminación del aire y por ruido.	4	Gobierno del estado, Comisión Estatal Ecología, Industria, Servicios, ONGs	D	I	I	I	1.0	NA	NA	NA	NA	NA
Gestionar apoyos internacionales para la obtención de recursos económicos y asistencia técnica para la instrumentación del Programa.	6	Gobierno del estado, Gobierno del estado Texas, Comisión Estatal Ecología, Org. Internacionales	I	I	I	I	2.0	NA	NA	NA	NA	NA
Formar una Comisión Metropolitana para el Mejoramiento de la Calidad del Aire integrada por miembros de los diferentes sectores de la comunidad.	7	Municipios, Gobierno del estado, Semarnap, Comisión Estatal Ecología, Universidades, Industria, Servicios, ONGs	DI	I	I	I	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Identificar alternativas para la constitución de un fideicomiso ambiental para la generación y administración de recursos económicos dedicados a desarrollar acciones del Programa.	8	Municipios, Gobierno del estado, Semarnap, SHCP	DI	I	I	I	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Establecer mecanismos de integración de políticas metropolitanas de desarrollo urbano, transporte y vialidad, y medio ambiente.	11	Municipios, Gobierno del estado	I	I	I	I	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Promover la ampliación de la red del metro.	14	Municipios, Gobierno del estado, Sector transporte	D	DI	I	I	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Diseñar e instrumentar el Programa de Respuesta a Contingencias Ambientales.	15	Municipios, Gobierno del estado, Semarnap, Industria, Servicios, Sector transporte, CFE, Pemex, ONGs	D	I	I	I	0.3	100	190	50	1,990	80
Desarrollar reglamentos específicos de contaminación atmosférica y por ruido.	16	Municipios, Gobierno del estado	DI	I	I	I	0.1	NA	NA	NA	NA	NA
Instrumentar el Sistema de Vigilancia Epidemiológica en el Área Metropolitana de Monterrey.	17	Gobierno del estado, Semarnap	I	I	I	I	1.0	NA	NA	NA	NA	NA

D: Diseño

C: Concertación

I: Instrumentación

NA: no aplica

NE: no estimado

Acción	#	Participantes	Calendarización				Costo (millones USD)	Reducción estimada de emisiones (ton/año)				
			1997	1998	1999	2000		NOx	HC	SO <sub>2</sub>	CO	PST
Impulsar la realización de estudios de monitoreo microambiental y de exposición a contaminantes.	18	Gobierno del estado, Semarnap, Universidades, ONGs	D	I	I	I	1.5	NA	NA	NA	NA	NA
Introducir combustibles más limpios para uso industrial y vehicular en el Área Metropolitana de Monterrey.	22	Gobierno del estado, Semarnap, Pemex	DC	I	I	I	NE	NE	NE	12,000	NE	1,400
Diseñar e implantar un programa de aseguramiento de la calidad de combustibles.	23	Gobierno del estado, Semarnap, Pemex	DC	I	I	I	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Diseñar e instrumentar un programa de reconocimiento público por la promoción y ejecución de acciones de mejoramiento de la calidad del aire.	31	Gobierno del estado, Semarnap, Comisión Estatal Ecología, Sector privado	DCI	I	I	I	NA	NA	NA	NA	NA	NA

#### Reducción estimada por contaminante

	NOx	HC	SO <sub>2</sub>	CO	PST
Reducción total (ton/año)	16,115	8,979	23,050	54,940	278,468
% sobre el total de emisión	30.2	7.2	75.7	6.1	34.1

#### Resumen de resultados

	Reducción total de emisiones (ton/año)	Costo (millones de dólares)
Industria y Servicios	45,500	85.8
Vehículos	60,792	146.0
Recuperación Ecológica	259,450	243.0
Nuevo Orden Urbano	15,810	12.9
<b>Total</b>	<b>381,552</b>	<b>487.7</b>

D: Diseño

C: Concertación

I: Instrumentación

NA: no aplica

NE: no estimado

## **BIBLIOGRAFÍA**

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

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

Anderson, E., Andelman, R., Strauch, J., Fortuin, N., Knelson, J., *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 (1973).

Avol, E.L., Linn, W.S., Shamoo, D.A., Spier, C.E., Valencia, L.M., Venet, T.G., Tim, S.C., Hackmey, J.D., *Short-Term Respiratory Effects of Photochemical Oxidant Exposure in Exercising Children*. JAPCA 37: 158-162 (1987).

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

Díaz Mejía, G.S., Muñoz Bojalil, B., González García, R., García Uribe, J.A., *Evaluación del Daño Respiratorio en una Zona Cementera de la República Mexicana*, Salud Pública de México, vol. 26, 5: 438-446 (1984).

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

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

Fernández Bremauntz, A., Ashmore, M.R., *Exposure of Commuters' to CO in Mexico City. I. Measurement of In-Vehicle Concentrations*, Revisado y aceptado para su publicación en Atmospheric Environment (1994).

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

Gobierno del Estado de Nuevo León, *Plan Estatal de Medio Ambiente 1995-2020* (1996).

Gobierno del Estado de Nuevo León, *Plan Estratégico del Área Metropolitana de Monterrey 2020* (1995).

Gobierno del Estado de Nuevo León, *Plan Multidimensional de Desarrollo Urbano de Nuevo León, 1995-2020* (1995).

Gobierno del Estado de Nuevo León, *Programa de Verificación Vehicular* (1996).

Gobierno del Estado de Nuevo León, *Sistema Integral de Monitoreo Ambiental* (1996).

1. Hartwell, T. D., Clayton, C.A., Michie, R.M., Whitmore, R.W., Zelon, H.S., Whitehurst, D.A., Akland, G.G., *Study of Carbon Monoxide Exposure of Residents of Washington, D.C.* (1984).

Horstman, D.H., McDonnell, W.F., Abdul-Salaam, S., Folinsbee, L.J., Ives, P.J., *Current USEPA Research Concerning more Prolonged Human Exposures to Low Ozone Concentrations* (1988).

Johnson, T., *Study of Personal Exposure to Carbon Monoxide in Denver, Colorado* (1984).

Linn, W.S., Avol, E.L., Shamo, D.A., Spier, C.E., Valencia, L.M., Venet, T.G., Fisher, D.A., Hackney, J.D., *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 (1986).

Margulis, S., *Back-of-the-Envelope Estimates of Environmental Damage Costs in Mexico*, WPS824, World Bank (1992).

Midwest Research Institute, *Study of Particulate Matter Emissions and Control Options for the Limestone Quarries in the Monterrey Metropolitan Area, México* (1995).

NOM-020-SSA1-1993, *Diario Oficial de la Federación*, 23 de Diciembre de 1994.

NOM-021-SSA1-1993, *Diario Oficial de la Federación*, 23 de Diciembre de 1994.

Bibliografía

NOM-022-SSA1-1993, *Diario Oficial de la Federación*, 23 de Diciembre de 1994.

NOM-023-SSA1-1993, *Diario Oficial de la Federación*, 23 de Diciembre de 1994.

NOM-024-SSA1-1993, *Diario Oficial de la Federación*, 23 de Diciembre de 1994.

NOM-025-SSA1-1993, *Diario Oficial de la Federación*, 23 de Diciembre de 1994.

NOM-026-SSA1-1993, *Diario Oficial de la Federación*, 23 de Diciembre de 1994.

NOM-086-ECOL-1994, *Diario Oficial de la Federación*, 2 de Diciembre de 1994.

O.M.S., O.P.S., *E.P.A. Formaldehído: Efectos sobre la Salud y el Ambiente*, ECO, México, D.F. (1992).

O.M.S., O.P.S., *Criterios de Salud Ambiental 13. Monóxido de Carbono*, Washington, D.C. (1980).

O.M.S., O.P.S., *Criterios de Salud Ambiental 7. Oxidantes Fotoquímicos*, Washington, D.C. (1980).

O.M.S., O.P.S., *Criterios de Salud Ambiental 8. Óxidos de Azufre y Partículas en Suspensión*, Washington, D.C. (1982).

O.M.S., O.P.S., *Criterios de Salud Ambiental 4. Óxidos de Nitrógeno*, Washington, D.C. (1979).

O.M.S., O.P.S., *Criterios de Salud Ambiental 3. Plomo*, Washington, D.C., (1979).

O.M.S., O.P.S., *Criterios de Salud Ambiental 12. El Ruido*, Washington, D.C. (1983).

Radian Corporation, *Mobile Sources Inventory Estimate for Monterrey, N.L., México* (1995).

Radian Corporation, *Study to Develop Cost-Effective Air Pollution Control Measures in the Monterrey Metropolitan Area* (1996).

Reyes, V.T., *Monterrey Air Quality Management Project: Emission Inventory for Stationary Sources* (1995).

Stern, A. C., Ed., *Air Pollution, Vol. I. Air Pollutants, their Transformation and Transport*, Academic Press, Inc., New York, NY (1976).

Stern, A. C., Ed., *Air Pollution, Vol. II. The Effects of Air Pollution*, Academic Press, Inc., San Diego, CA (1977).

Stern, A. C., Ed., *Air Pollution, Vol. III. Measuring, Monitoring, and Surveillance of Air Pollution*, Academic Press, Inc., San Diego, CA (1976).

Stern, A. C., Ed., *Air Pollution, Vol. V. Air Quality Management*, Academic Press, Inc., New York, NY (1977).

Torres Alanís, O., Marín Nieto, J., Bernal, M.A., Piñeyro López, A., *Determinación de Mercurio en Individuos no Ocupacionalmente Expuestos en la Ciudad de Monterrey, N.L.*, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Medicina.

Torres Alanís, O., Garza Silva, V.J., Abrego, V., Leal García, Y., J., Bernal Hernández, M.A., Piñeyro López, A., *Niveles de Plomo en una Población Infantil de la Zona Poniente del Área Metropolitana de Monterrey, N.L.*, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Medicina.

Torres Alanís, O., García Cano, M., Bernal Hernández, M.A., Gómez Silva, M., Garza Ocañas, L., Piñeyro López, A., *Determinación de Plomo e Hidrocarburos en Personal Expuesto en el Área Metropolitana de Monterrey, N.L.*, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Medicina.

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales, *Estudio sobre la Identificación, Análisis, Estimación y Evaluación de las Fuentes Naturales de la Contaminación del Aire en el Área Metropolitana de Monterrey* (1995).

## **GLOSARIO DE TÉRMINOS**

*Aerosol.*- La suspensión coloidal de partículas de líquidos o sólidos en el aire. También se ha dado este nombre a algunos productos que se aplican por aspersión y que se usan como propelentes, como son los hidrocarburos clorados como el "freón". También se define como la suspensión de líquidos o partículas sólidas en aire u otro gas y cuyo diámetro es inferior a 0.003 mm.

*Aerobiológico.*- Microorganismo que vive suspendido en el aire.

*Aire ambiente.*- Atmósfera en espacio abierto.

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

*Aforo.*- Es el estudio mediante el cual se contabilizan el número y tipo de vehículos que transitan en un punto dado de una vialidad.

*Alérgeno.*- Sustancia habitualmente extraña al organismo que al ingresar a éste es capaz de inducir en el sistema inmunológico del mismo la síntesis de una nueva sustancia capaz de anular o interferir específicamente en sus características químicas.

*Ambiente.*- El conjunto de elementos naturales, artificiales o inducidos por el hombre, físicos, químicos y biológicos que propician la existencia, la transformación y el desarrollo de organismos vivos.

*Anaerobio.*- Organismo o proceso vital que ocurre en ausencia de oxígeno o a una baja presión parcial de éste.

*Antropogénico.*- Que se origina a causa de las actividades desarrolladas por el hombre.

*Área metropolitana.*- En términos generales se define a un área metropolitana como la extensión territorial en la que se encuentra la unidad político-administrativa de la ciudad central, así como todas las unidades político-administrativas de localidades contiguas que presentan características urbanas tales como sitios de trabajo, o lugares de residencia de trabajadores dedicados a labores no agrícolas y que mantienen una relación socioeconómica directa, constante, intensa y recíproca con la ciudad central.

*Área Metropolitana de Monterrey.*- El área integrada por los municipios de Apodaca, Cadereyta, García, General Escobedo, Guadalupe, Juárez, Monterrey, San Nicolás de los Garza, San Pedro Garza García y Santa Catarina, en el Estado de Nuevo León.

*Aromáticos, compuestos.*- Familia de hidrocarburos de tipo cíclico, de fórmula general  $C_6H_nX_m$ . Se caracterizan por formar una cadena 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 como tóxicos principalmente por su nula solubilidad en el agua, y de ahí su permanencia en el ambiente y su difícil biodegradación.

*Atmósfera.*- La capa de aire que circunda la tierra se extiende alrededor de unos 100 kilómetros por encima de la superficie terrestre. Está formada por una mezcla de 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno y 1% de otros gases, como el argón y el neón. Contiene además bióxido de carbono y vapor de agua entre otros gases.

*Autoregulación.*- Establecimiento de medidas voluntarias encaminadas a un mejor desempeño ambiental de la industria en donde se alcanzan o se sitúan estándares menores a las normas 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 de cadena cerrada.

*Bióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>).* Gas compuesto por dos moléculas de oxígeno y una de carbono. Este gas no tiene color, olor ni sabor y se produce con la respiración y cuando se queman combustibles fósiles.

*Butano.*- Hidrocarburo 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 parámetros naturales del ambiente que no han sido alterados.

*Calidad de combustibles.*- Especificaciones técnicas de las características físico-químicas de los combustibles que participan al potencial contaminante del mismo.

*Calidad del aire.*- La condición de los parámetros del aire ambiente que indican si estos niveles han sido alterados.

*Carcinogénico.*- Agente físico, químico o biológico que puede actuar sobre un tejido vivo y puede causar daño.

*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.*- Dispositivos de control de partículas que funcionan mediante fuerzas inerciales y gravitacionales.

*Combustibles fósiles.*- 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 muy anteriores a la aparición del hombre sobre nuestro planeta.

*Combustibles limpios.*- Se consideran a todos aquellos que contienen un porcentaje de contenido de azufre menor al 2% en peso o que originan emisiones contaminantes muy pequeñas.

*Combustión.*- Es el proceso de oxidación rápido de materiales orgánicos acompañados de liberación de energía en forma de calor y luz.

*Combustión incompleta.*- Quema insuficiente que ocurre cuando el oxígeno y/o el tiempo disponible en el proceso resultan inferiores a lo necesario, produciendo un exceso de monóxido de carbono (CO), gas altamente tóxico para los seres vivos.

*Concentración.*- Cantidad relativa de una sustancia en una masa o volumen específico de un medio. Por ejemplo: 5 partes por millón de monóxido de carbono en el aire.

*Contaminación.*- Generalmente, la 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.*- Materia o sustancia, sus combinaciones o compuestos, derivados químicos o biológicos así como toda forma de energía , radiaciones ionizantes, vibraciones o ruido que al incorporarse y actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento del ambiente alteran o modifican su composición o afectan la salud.

*Contaminante del aire.*- Cualquier sustancia en el aire que, en alta concentración, puede dañar al hombre, animales, vegetales o materiales. Puede incluir casi cualquier compuesto natural o artificial de materia flotante susceptible de ser transportado por el aire. Estos contaminantes se encuentran en forma de partículas sólidas, gotas líquidas, gases o combinadas. Generalmente se clasifican en los emitidos directamente por la fuente contaminante o contaminantes primarios y los producidos en el aire por la interacción de dos o más contaminantes primarios , o por la reacción con los compuestos normales de la atmósfera.

*Contaminantes criterio.*- Parámetros de calidad del aire y del ambiente para ciertos contaminantes conocidos como peligrosos para la salud humana. A nivel internacional se reconocen siete contaminantes criterio del aire: 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 en el aire, derivada de actividades humanas o fenómenos naturales, que pueden poner en peligro la salud de la población, o afectar a los ecosistemas.

*Control de emisiones.*- Conjunto de medidas aplicadas a la reducción de las emisiones de contaminantes al aire.

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

*Criterios ambientales.*- Factores descriptivos tomados en cuenta para el establecimiento de estándares de varios contaminantes. Esos factores sirven para determinar los límites de los niveles de concentración permitidos y limitar el número de violaciones 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 medio laboral; o por factores como el ruido, la radiación ionizante y no ionizante, el calor radiante y la humedad.

*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.*- Es la alteración que sufren uno o varios elementos que conforman los ecosistemas, ante 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.

*Dosis.*- Cantidad de sustancia administrada a un organismo que puede producir un efecto.

*Ecosistema.*- Unidad funcional básica de interacción de los organismos vivos entre sí y de estos con el ambiente, en un espacio determinado.

*Efecto sistémico.*- El efecto que es de naturaleza generalizada o el 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.*- El efecto combinado de dos sustancias y que es mucho más grande que el efecto producido por la suma de los efectos individuales cuando se administran separadamente.

*Eficiencia térmica.*- Es la capacidad 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, sexo, ocupación, etnia y estatus económico, con el fin de identificar y combatir problemas de la salud y promover la buena salud.

*Equipo de medición.*- El conjunto de dispositivos instrumentales necesarios para medir la concentración de un contaminante.

*Erosión.*- Es la destrucción y eliminación del suelo. Los factores que acentúan la erosión del suelo son: el clima, la precipitación y la velocidad del viento, la topografía, la naturaleza, el grado y la longitud del declive, las características físico-químicas del suelo, la cubierta vegetal, su naturaleza y el grado de cobertura, los fenómenos naturales como terremotos, y factores humanos como la tala indiscriminada, la quema subsecuente y el pastoreo con exceso.

*Estabilidad atmosférica.*- La condición meteorológica directamente influida por la velocidad del viento y de los movimientos ascendentes y descendentes y que da idea de los movimientos convectivos y advectivos del aire.

*Estación de monitoreo.*- El 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.*- Se refiere a los establecimientos donde se expenden al público gasolinas y combustibles automotrices.

*Estructura urbana.*- Es el conjunto de obras que constituyen los soportes del funcionamiento de ciudades como son la vialidad, agua potable, alcantarillado, energía eléctrica, gas y teléfonos, entre otros.

*Exposición.*- El proceso por el cual una sustancia tóxica se introduce o es absorbida por el organismo (o población) vivo por cualquier vía.

*Factor de emisión.*- La relación entre la cantidad de contaminación producida y la cantidad de materias primas procesadas o energía consumida. Por ejemplo: un factor de emisión de altos hornos para producir hierro puede ser el número de kilogramos de partículas emitidas por cada tonelada de materia prima consumida.

*Fisiografía.*- Parte de la geología que estudia la formación y evolución del relieve terrestre y las causas que determinan su transformación.

*Fotoreactividad.*- Característica de algunos contaminantes del aire que tienen la capacidad de reaccionar en presencia de la luz solar.

*Fracción respirable.*- Son las partículas menores a 10 micrómetros que pueden llegar a introducirse sin ningún obstáculo muy al interior del sistema pulmonar.

*Fuente fija.*- En el lenguaje usado en 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.*- Gas usado 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.*- Es el valor de la diferencia hacia arriba o hacia abajo de una temperatura dada con respecto a una temperatura de referencia o a una distancia verticalmente.

*Gestión ambiental.*- La administración mediante la fijación de metas, planificación, mecanismos jurídicos, etc., de 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.

*Incentivos económicos.*- Son instrumentos de apoyo 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.*- El proceso controlado por el cual los desechos sólidos, líquidos o gases son quemados.

*Incinerador.*- Aparato diseñado especialmente para la combustión de desperdicios sólidos, líquidos o gaseosos en el cual la temperatura, el tiempo de retención, la turbulencia y el aire de combustión pueden ser controlados a voluntad.

*Industria.*- Conjunto de operaciones materiales ejecutadas para la obtención, la transformación y el transporte de uno o varios productos naturales.

*Ingeniería de tránsito.*- Son las actividades de planeación de vialidades urbanas, semaforización y señalamientos, entre otras, encaminadas a obtener el funcionamiento óptimo de la estructura vial de una ciudad.

*Inventario desagregado.*- Se refiere a la identificación y cuantificación de las emisiones atmosféricas que generan los entes que integran a los sectores.

*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 bajo una capa de aire caliente, de tal manera que impide el movimiento natural de convección del aire. Esto hace que los contaminantes en la capa atrapada sean difundidos horizontalmente en lugar de verticalmente, y su concentración aumente a un nivel muy alto.

*Kilocalorías.*- Unidad de medida que representa la cantidad de calor requerida para elevar la temperatura de un litro de agua, un grado centígrado.

*Lluvia 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.

*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.

co 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. Es también emitido en los procesos de descomposición anaeróbica de materia orgánica y en los pantanos.

*Metales Pesados.*- Todos los metales con una densidad superior a 4.5 que son mal metabolizados y eliminados por los organismos vivos.

*Meteorología.*- Estudio de los fenómenos que se producen en la atmósfera.

*Metrópoli.*- Es la 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 o en humanos, plantas y animales.

*Monitoreo microambiental.*- Es el 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 combustión 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 son sinónimos, según la O.M.S; puede medirse en términos de tres unidades: personas enfermas, enfermedad y duración.

*Mutagénico.*- Es un agente capaz de provocar cambios en la estructura genética de un organismo, también es carcinogénico.

*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.*- Es un dato numérico adoptado para utilizarse como marco de referencia , con el cual se comparan las mediciones ambientales con el propósito de interpretarlas.

*Olefinas.*- Son hidrocarburos (alquenos) con una doble ligadura entre dos átomos de carbono y de bajo peso molecular, que se caracterizan por presentar una 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 en el aire.

*Parámetro.*- Es una cantidad medida o ponderada sobre un indicador ambiental.

*Parque vehicular.*- Es la cantidad de vehículos automotores que circulan en un asentamiento humano.

*PM-10.*- Estándar para la medición de la cantidad de materia sólida o líquida suspendida en la atmósfera, por ejemplo la cantidad de partículas de materia que poseen un diámetro igual o inferior a 10 micrómetros; las partículas más pequeñas PM-10 penetran a las partes más profundas del pulmón, afectando a grupos de población sensibles tales como niños e individuos con enfermedades respiratorias.

*Poder calórico.*- Capacidad de un energético para producir calor, expresado por unidad de peso (Kg, lb) o volumen (m<sup>3</sup>, ft<sup>3</sup>).

*Precipitador electrostático.*- Dispositivo de control de partículas que funciona a través de principios eléctricos.

*Presión de vapor.*- Característica de los compuestos químicos que en fase vapor ejerce una presión sobre el medio que lo rodea con tendencia a volatilizarse.

*Protección ambiental.*- El conjunto de políticas y medidas aplicadas para preservar y mejorar el ambiente y 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 un tanto mayores a las de la luz visible.

*Radiación ultravioleta.*- Radiación electromagnética con longitudes de onda un tanto 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 liberando energía.

*Recuperador de vapor.*- Dispositivo utilizado en las estaciones en servicio, mediante el cual se controla las emisiones evaporativas generadas en el despacho de gasolinas y otros combustibles.

*Recurso Natural.*- El elemento natural susceptible de ser aprovechado en beneficio del hombre.

*Reducción catalítica.*- Se refiere a la destrucción de contaminantes mediante reacciones químicas de reducción en presencia de catalizadores.

*Reforestación.*- Acto de plantar árboles en áreas donde ya había existido vegetación en épocas pasadas.

*Regulación ambiental.*- Son los 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 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.*- Es la condición de completo bienestar físico, mental y social de la población.

*Sistema inmunológico.*- Es la capacidad de los organismos vivos para responder ante agentes infecciosos. Este sistema protege al organismo de enfermedades de origen microbiano.

*Sistema de monitoreo.*- El conjunto de estaciones e instrumentos de recolección y evaluación sistemática de muestras ambientales como el aire.

*Smog.*- Derivado de las palabras inglesas *smoke* y *fog*, se usa generalmente 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 vivos, 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.*- Se refiere al propósito de asegurar tomas de decisiones sostenidas y ambientalmente racionales, y ponerlas en práctica, permitiendo así 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.

*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 produce respuesta.

*Glosario de términos*

*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 da a la ocupación o empleo de un terreno.

*Vialidad.*- Conjunto de vías o espacios geográficos destinados a la circulación o desplazamiento de vehículos y peatones.

**ANEXO A:  
RESUMEN DE RESULTADOS  
DE CALIDAD DEL AIRE 1993-1996**

**Horas sobre la norma**

**Tabla A-1. Horas sobre la norma por contaminante y zona, 1993**

Zona	CO	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	PM-10
Centro	0	1	0	46	0
Noreste	0	0	0	2	23
Noroeste	0	0	0	12	336
Sureste	0	0	0	16	0
Suroeste	0	0	0	64	184

**Tabla A-2. Horas sobre la norma por contaminante y zona, 1994**

Zona	CO	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	PM-10
Centro	0	0	0	1	166
Noreste	0	0	0	0	135
Noroeste	0	0	0	2	637
Sureste	0	0	0	1	16
Suroeste	0	0	0	35	766

**Tabla A-3. Horas sobre la norma por contaminante y zona, 1995**

Zona	CO	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	PM-10
Centro	0	0	0	0	17
Noreste	3	0	0	0	106
Noroeste	0	0	0	0	264
Sureste	0	0	0	0	0
Suroeste	0	0	0	7	105

**Tabla A-4. Horas sobre la norma por contaminante y zona, 1996**

Zona	CO	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	PM-10
Centro	0	0	0	16	46
Noreste	0	0	0	0	104
Noroeste	0	0	0	0	220
Sureste	0	0	0	15	24
Suroeste	0	0	0	27	63

## Días sobre la norma

**Tabla A-5. Días sobre la norma por contaminante y zona, 1993**

Zona	CO	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	PM-10
Centro	0	1	0	23	0
Noreste	0	0	0	1	3
Noroeste	0	0	0	5	34
Sureste	0	0	0	7	0
Suroeste	0	0	0	27	21

**Tabla A-6. Días sobre la norma por contaminante y zona, 1994**

Zona	CO	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	PM-10
Centro	0	0	0	1	15
Noreste	0	0	0	0	11
Noroeste	0	0	0	1	48
Sureste	0	0	0	1	3
Suroeste	0	0	0	21	56

**Tabla A-7. Días sobre la norma por contaminante y zona, 1995**

Zona	CO	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	PM-10
Centro	0	0	0	0	3
Noreste	1	0	0	0	10
Noroeste	0	0	0	0	23
Sureste	0	0	0	0	0
Suroeste	0	0	0	5	11

**Tabla A-8. Días sobre la norma por contaminante y zona, 1996**

Zona	CO	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	PM-10
Centro	0	0	0	8	4
Noreste	0	0	0	0	9
Noroeste	0	0	0	0	20
Sureste	0	0	0	9	2
Suroeste	0	0	0	16	6

## Valores máximos de IMECA

**Tabla A-9. Valores máximos IMECA por contaminante y zona, 1993**

Zona	CO	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	PM-10	Máximo
Centro	66	116	30	167	96	167
Noreste	93	56	76	111	121	121
Noroeste	43	72	27	112	154	154
Sureste	35	58	21	126	87	126
Suroeste	53	100	28	169	193	193

**Tabla A-10. Valores máximos IMECA por contaminante y zona, 1994**

Zona	CO	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	PM-10	Máximo
Centro	53	87	38	114	178	178
Noreste	81	57	69	90	193	193
Noroeste	55	70	19	110	204	204
Sureste	44	49	21	103	136	136
Suroeste	60	70	23	135	191	191

**Tabla A-11. Valores máximos IMECA por contaminante y zona, 1995**

Zona	CO	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	PM-10	Máximo
Centro	70	72	39	95	112	112
Noreste	112	67	49	83	160	160
Noroeste	53	82	37	99	171	171
Sureste	43	70	22	94	82	94
Suroeste	60	89	27	117	150	150

**Tabla A-12. Valores máximos IMECA por contaminante y zona, 1996**

Zona	CO	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	PM-10	Máximo
Centro	46	90	25	128	181	181
Noreste	83	77	62	100	192	192
Noroeste	38	77	22	98	208	208
Sureste	74	69	16	152	186	186
Suroeste	47	61	14	136	177	177

## **ANEXO B: FIDEICOMISO AMBIENTAL**

El desarrollo de algunas acciones del Programa, implica la disponibilidad de recursos económicos adicionales a los señalados en los respectivos presupuestos de los gobiernos municipales, estatal y federal; lo anterior hace necesario identificar fuentes alternas de recursos para el financiamiento del Programa.

Para la identificación y selección del mecanismo más adecuado, es conveniente procurar equidad social en la obtención del recurso, aplicando el principio de que "quien contamina paga".

Una experiencia reciente que ha arrojado resultados favorables, fue la constitución a propuesta de la Comisión Ambiental Metropolitana del Fideicomiso Ambiental del Valle de México, el cual permite captar y canalizar recursos para apoyar el financiamiento de programas, proyectos y acciones prioritarios, dirigidos a la prevención y control de la contaminación ambiental en la Zona Metropolitana del Valle de México. Así, en enero de 1995 la Secretaría de Hacienda y Crédito Público autorizó que del precio de cada litro de gasolina que se vendiese en la ZMVM se aplicase un centavo a la integración de dicho fondo.

Durante el primer año y medio de existencia del Fideicomiso, los recursos captados se utilizaron para otorgar créditos a los propietarios de gasolineras para la adquisición, instalación y puesta en operación de sistemas de recuperación de vapores de gasolina. Cuando concluya la instalación de estos equipos en todas las estaciones de servicio del Valle de México, la emisión de hidrocarburos crudos a la atmósfera en el momento del suministro de gasolina se reducirá en más de 90 % con relación a las emisiones originales.

Con la publicación del Programa para el Mejoramiento de la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de México, en marzo de 1996 se decidió diversificar el tipo de proyectos susceptibles de ser financiado con estos recursos. En septiembre de 1996 la Comisión Ambiental Metropolitana integró una cartera de proyectos entre los que destacan la constitución de un Fondo de Garantía para la Modernización Ambiental del Transporte Público de Pasajeros, el apoyo al Programa de Rutas Metropolitanas, la educación ambiental, un Programa Piloto para el Uso de Combustibles Alternos, el diseño y puesta en operación de un Sistema de Control de Calidad del Programa de Verificación Vehicular, el fortalecimiento y asistencia técnica a la Comisión Ambiental Metropolitana para mejorar la base científica, y la auditoría ambiental. Varios de estos proyectos se encuentran ya en proceso de ejecución.

## **Operación del fideicomiso**

El aprovechamiento a la enajenación de las gasolinas Nova y Pemex Magna que se expenden en el Área Metropolitana de la Ciudad de México se notifica mensualmente por Pemex a la Tesorería de la Federación, a más tardar el último día hábil del mes siguiente a aquel en que corresponda el pago. Una vez que la Tesorería recibe el aprovechamiento de Pemex lo entrega al Fideicomiso Ambiental como aportación del Gobierno Federal.

Para el control y manejo de los recursos patrimoniales del Fideicomiso, ya sean los derivados del aprovechamiento autorizado por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público u otros, se abrió en Bancomer una cuenta de cheques productiva que tiene carácter de puente o transitoria y en la que se lleva un control detallado de todos los ingresos y egresos.

El fideicomiso cuenta con un comité técnico, integrado por un representante de Semarnap, uno del Gobierno del Estado de México, uno del Departamento del Distrito Federal, uno de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público y finalmente el secretario técnico en turno de la Comisión Ambiental Metropolitana. Se cuenta también con la participación (sin voto) de la Secretaría de la Contraloría y Desarrollo Administrativo, que sirve como comisario para verificar el correcto uso de los recursos.

A propuesta de la Comisión Ambiental Metropolitana, puede facultarse al comité técnico para que entregue recursos no sujetos a recuperación con cargo al patrimonio fideicomitado hasta donde lo permita el monto del mismo.

El 1º de mayo de 1996, la Secretaría de Hacienda y Crédito Público autorizó modificar el esquema de integración del fondo (3 centavos a la Nova y 1 centavo a la Magna Sin).

Dado el antecedente del fideicomiso ambiental de la Ciudad de México, en el Área Metropolitana de Monterrey se deben identificar esquemas similares o alternativos para la captación de recursos económicos que permitan desarrollar acciones del Programa. Por ejemplo, si se decidiera aprovechar 1 centavo por cada uno de los más de tres millones de litros de gasolina que se consumen en el AMM, diariamente se pudieran aplicar en un mes a las acciones del Programa más de un millón de pesos, cantidad que bastaría para ampliar, modernizar y mantener la operación de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico durante todo un año.

## **ANEXO C: PROGRAMA DE RESPUESTA A CONTINGENCIAS AMBIENTALES**

El Programa de Respuesta a Contingencias Ambientales tiene por objetivo proteger a la población de episodios de contaminación que puedan afectar su salud. Por ello, la activación del Programa se encuentra determinada por criterios de salud ambiental.

El Programa debe quedar inscrito en el marco general de la política de mejoramiento de la calidad del aire como un instrumento permanente de gestión ambiental. Por tal motivo, todas las medidas que se vayan concertando, anunciando y ejecutando dentro del Programa, deberán ser congruentes con un marco general de objetivos a largo plazo. Es fundamental que, en primer lugar, exista un total flujo de información que comience en el inventario actualizado de emisiones, pase por el PACADAMM y llegue hasta el Programa de Respuesta a Contingencias. En segundo lugar, es esencial el consenso de los diferentes sectores involucrados en el cumplimiento del mismo.

Cuando se registra un valor del IMECA superior a los 100 puntos se decreta Alerta Interna en la Subsecretaría de Ecología y se ponen en marcha las siguientes actividades:

- Aumento de la revisión de los resultados de monitoreo ambiental.
- Revisión de reportes meteorológicos.
- Revisión de condiciones de inversión térmica y altura de mezclado de gases.
- Identificación de zonas con incremento de concentración de contaminantes y predicción de la zona a donde serán transportados.
- Revisión de la micrometeorología registrada en cada estación de monitoreo ambiental.
- Revisión de la respuesta de equipos analizadores para evitar datos inválidos.

El Programa de Respuesta a Contingencias para el área metropolitana de Monterrey constará de dos fases o niveles de atención, cada una de ellas corresponde a un conjunto de acciones que se aplicarán dependiendo de la severidad de la contingencia. La Fase I se instrumentará cuando los niveles de contaminación alcancen los 200 puntos IMECA en cualquiera de las estaciones de la red de monitoreo de la calidad del aire. Este nivel ha sido determinado por la Secretaría de Salud, en base a estudios epidemiológicos recientes en

ciudades de nuestro país. La fase II se activará cuando se llegue a los 300 puntos IMECA. Las medidas que se aplicará en cada fase son las siguientes:

### **Nivel de Atención I**

*IMECA  $\geq$  200*

Condicionada a una situación adversa de dispersión.

- Reducción del 30 al 40% de la actividad en las empresas participantes en el Programa.
- Disminución en un 50% de aquellas actividades industriales que utilicen combustóleo.
- Operativos especiales para la agilización máxima del tránsito vehicular.
- Suspensión de actividades de bacheo, asfaltado y mantenimiento en calles y avenidas que pudieran provocar embotellamientos vehiculares.
- Retiro de la circulación de vehículos ostensiblemente contaminantes y de aquellos sin verificación vehicular aprobada.
- Ejecución de un Programa de Circulación Restringida de vehículos.
- Visitas de brigadas médicas a las escuelas incluidas en el Sistema de Vigilancia Epidemiológica.

### **Nivel de Atención II**

*IMECA  $\geq$  300*

- Suspensión de toda circulación vehicular, a excepción de vehículos oficiales de emergencia.
- Suspensión de toda actividad en escuelas, oficinas públicas, bancos e instalaciones recreativas gubernamentales.
- Exhortación al paro de actividades en el sector comercial e industrial privado.
- Reducción del 70% de la actividad de las industrias incluidas en el Programa.
- Suspensión de toda actividad en el exterior para toda la población.