



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN  
INGENIERÍA**

FACULTAD DE QUÍMICA

**PROPUESTA DE MODIFICACIÓN A LA NORMA  
DE CALIDAD DEL AIRE NOM-025-SSA1 CON  
LA INCLUSIÓN DE COMPUESTOS  
AROMÁTICOS POLICÍCLICOS ADHERIDOS A  
LAS PARTÍCULAS SUSPENDIDAS EN EL AIRE  
 $\leq 10 \mu\text{m}$  Y  $\leq 2,5 \mu\text{m}$**

**T E S I S**

**PARA OPTAR POR EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN INGENIERÍA**

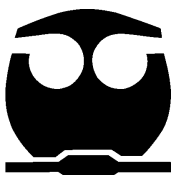
**INGENIERÍA DE SISTEMAS - SISTEMAS DE CALIDAD**

**PRESENTA:**

**SILVIA REYES SALINAS**

**Tutor:**

**MARÍA DE LOS ÁNGELES PATRICIA OLVERA TREVIÑO**



**2011**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



## JURADO ASIGNADO:

Presidente:	Dr. Samano Castillo José
Secretario:	M.I. Ruiz Botello Gerardo
Vocal:	M.C. Alpízar Ramos María del Socorro
1 <sup>er</sup> . Suplente	Dr. Barragán Ocaña Alejandro
2 <sup>do</sup> . Suplente	Dra. Olvera Treviño Patricia

Lugar donde se realizó la tesis:

Unidad de Metrología, Facultad de Química, UNAM.

## TUTOR DE TESIS:

Dra. Olvera Treviño Patricia

---

FIRMA



## AGRADECIMIENTOS

A **Dios** y la **Vida** por todo lo que me ha permitido hacer.

A la memoria de **mis padres**, por ser la **Luz** que ha guiado mi camino.

A mis amadas hijas **Rebeca** y **Victoria** por comprender y vivir mis obsesiones.

A mis **hermanos y sobrinos** por su invaluable cariño.

A la **UNAM**, la memoria del maestro **Federico Galdeano** y a **Ángeles**, por permitirme incursionar, en este fascinante mundo académico, complementando mi vida laboral en la industria.

Al jurado que me ofreció su valioso tiempo, para considerar este trabajo y en especial al **Dr. Omar Amador** por su apoyo, dirección y revisión técnica, permitiéndome ser parte de este gran proyecto de trabajo, que él dirige.

Un especial agradecimiento a **Pilar y Roberto** por la incondicional ayuda que me han ofrecido siempre, por su estímulo y apoyo invaluable.

A todos y cada uno de **mis amigos y compañeros de trabajo** de ahora y siempre, por llenar mi vida de gratos momentos.

A todos **mis alumnos** por su entusiasmo y afecto.



*“No estudio para saber más,  
sino para ignorar menos”  
Sor Juana Inés de la Cruz, 1690*



## ÍNDICE

0. RESUMEN .....	6
1. INTRODUCCIÓN .....	8
2. INVESTIGACIÓN BIBLIOHEMEROGRÁFICA Y ESTADÍSTICA DE LOS HAP .....	10
2.1 Planteamiento de la investigación.....	10
2.2 Definición del problema.....	12
2.3 Objetivos. ....	12
2.4 Justificación. ....	12
2.5 Alcance.....	13
2.6 Hipótesis.....	13
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN. ....	14
4. MARCO TEÓRICO.. ....	17
4.1 Generalidades: Conceptos fundamentales.....	17
4.1.1 Contaminación.....	17
4.1.2 Partículas suspendidas en el aire.....	20
4.1.3 Gestión de la Calidad del Aire.....	22
4.2 Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos .....	40
4.2.1 Evidencias de riesgos a la Salud.....	45
4.3 Marco Jurídico para regulación de normas.....	60
5. IMPACTO SOCIAL Y AMBIENTAL QUE OCASIONA LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR PARTÍCULAS Y LOS HAP.. ....	84
5.1 Impacto Social.....	84
5.2 Impacto Ambiental.....	104
6. ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA.. ....	115
7. PROPUESTA DE MODIFICACIÓN A LA NOM-025-SSA1-1993.....	117
8. CONCLUSIONES .....	119
9. SUGERENCIAS DE TRABAJOS A FUTURO .....	122
10. RECOMENDACIONES.....	123
11. BIBLIOGRAFÍA.....	124
12. APÉNDICE A.....	131
13. APÉNDICE B.....	134
14. APÉNDICE C.....	146



## 0. RESUMEN

Este trabajo presenta la investigación bibliohemerográfica y estadística que apoya la inclusión, en la NOM 025-SSA1-1993, la determinación de los HAP (considerados probables cancerígenos) presentes en las  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$  de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM). Aún cuando esta familia de compuestos orgánicos, representa en masa una fracción insignificante, la exposición a ellos constituye un riesgo, debido a los efectos tóxicos que tienen en la salud humana.

La tesis incluye el desarrollo de los siguientes aspectos: el análisis de diferentes trabajos de investigación hechos por químicos, epidemiólogos, toxicólogos y especialistas del ambiente, que evidencian la presencia de los HAP en las aeropartículas y el daño que ocasionan; la revisión de las políticas de calidad del aire para aeropartículas a nivel nacional e internacional; la consulta de Recomendaciones para la elaboración de normas nacionales e internacionales (ISO y otras); la revisión del proceso de normalización de acuerdo a la LFMN; la consideración de datos estadísticos presentados por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) sobre economía y medio ambiente en la ZMCM y la revisión de los Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México.

Con todos los argumentos reunidos se da una propuesta de modificación a la NOM 025-SSA1-1993 para partículas en el aire. El trabajo resalta la importancia de que la academia contribuya con investigaciones bibliográficas que permitan crear un puente entre gobierno y ciencia, para poder avanzar en la solución de los problemas de contaminación tan serios desde hace varias décadas y cuya atención requiere actualizar el sistema de normalización, de tal forma que esta revisión sintetiza: los hallazgos, las propuestas, los avances, el impacto y culmina con una nueva norma que incluye restricciones referidas a la presencia de los HAP en las partículas de aire.

**Palabras clave:** contaminación, partículas de aire, HAP (Hidrocarburos aromáticos policíclicos), cancerígeno y normalización.



## 0. ABSTRACT

This paper presents a statistical and bibliohemerographic research that support the inclusion in the NOM-025-SSA1-1993, of PAH's determination (which are considered to be probably carcinogenic) present in  $\text{PM}_{10}$  and  $\text{PM}_{2.5}$  airborne particles, in Mexico City's Metropolitan Zone (ZMCM). Although this family of organic compounds represents an insignificant fraction mass of suspended particles, exposure to them is risky, because of its toxic effects on human health.

This work includes discussion on different research works done by chemists, epidemiologists, toxicologists and environmental experts, which indicate the presence of PAH's in the airborne particles and damages caused by them; a review of the polices about air quality and airborne particles, national and international ones as well; consulting recommendations for the making of national and international standards (ISO and others); a review of the standardization process according to the Mexican Federal Law on Metrology and Standardization (LFMN); consideration of statistical data presented by the National Institute of Statistics, Geography and Informatics (INEGI) on economics and environment in Mexico City's metropolitan area and the review of Program Manuals Mexico Emissions Inventory.

With all these points put together, I have proposed an amendment to the NOM 025-SSA1-1993 for the allowed particles in air. The thesis highlights the importance of academic literature research and its contribution for building a bridge between government and science, to advance progress in solving pollution problems, which have grown so serious in recent decades and whose possible resolution requires updating standardization system. So, this research synthesis: findings, proposals, progress, impact and culminate with a new norm, which includes restrictions regarding the presence of PAH's in airborne particles.

**Keywords:** pollution, airborne particles, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs), carcinogenic and standardization.



## 1. INTRODUCCIÓN

La crisis ambiental, la injusticia social y los problemas de salud de la población, son actualmente algunos de los grandes retos que enfrenta nuestro país, del mismo modo que otros países del mundo. Las actividades científicas, académicas, políticas y sociales, en este momento están orientadas a ofrecer posibles soluciones a dichos problemas. En atención a la ética, con una gran preocupación por el ambiente y por la calidad de vida de los habitantes de nuestro país, es necesario contribuir con acciones que minimicen los factores que ponen en riesgo su vida.

La contaminación del aire es consecuencia de las actividades cotidianas a nivel individual, colectivo y/o empresarial. Las de tipo individual son por ejemplo: el uso del automóvil, el fumar, la quema de basura, la combustión de gas LP en las hornillas de la casa, etc. La contaminación empresarial se refiere a la contaminación por uso de combustibles en los procesos industriales, los contaminantes que emanan del transporte público, el uso de disolventes, entre otros, teniendo todas estas actividades emisión de gases y de partículas al aire, afectando la salud y los ecosistemas.

Durante la década de los 80 la atención del gobierno a los problemas ambientales fue mayor, originado por la existencia de diversas catástrofes naturales que hubo en el país, que fueron notorias debido al aumento de la población y a situaciones generadas por las actividades productiva y económica, que empezaban a adquirir un carácter global, lo que incitó a una mayor atención de las autoridades. La política ambiental que se estableció, condujo al gobierno a definir acciones que permitieran reducir la contaminación, en primera instancia para beneficio de la salud pública, pero también considerando un equilibrio en el trinomio naturaleza-economía-sociedad. Los programas ambientales, se consolidaron como un factor integrante del desarrollo económico, incluyendo con ellos la emisión de normas de calidad del aire, consideradas como pilares de la política ecológica y también incluían estos programas, mecanismos de monitoreo, autorregulación, auditorías ambientales y cumplimiento a acuerdos internacionales.

De acuerdo a lo dispuesto en la Ley Federal de Metrología y Normalización (LFMN), las normas oficiales mexicanas (NOM), tienen observancia obligatoria, pero para el caso de las normas ambientales, el incumplimiento no es posible señalarlo en un responsable individual, como los productos en general, sino que se debe compaginar su observancia, con todo un mecanismo político, económico y social, que ya por años ha sido muy complejo en nuestro país. El proceso de generación de normas es una actividad en la



que un grupo de personas asignadas o por voluntad propia, se reúnen a crear disposiciones con carácter obligatorio o voluntario, para tal propósito se requiere que el fundamento científico disponible, en el establecimiento de especificaciones durante la elaboración, en este caso normas ambientales, sea actual, para evitar constituir “*un riesgo para la seguridad de las personas o dañar la salud humana, animal, vegetal, el medio ambiente general y laboral, o para la preservación de los recursos naturales*” (Artículo 40, LFMN 2006) recayendo una gran parte de la responsabilidad en las autoridades, para lograr se alcance esta finalidad.

Es importante que la comunicación entre gobierno y centros de investigación, sea más estrecha, buscando que los proyectos ambientales nacionales sean acordes a los internacionales, ratificando con esto, que la crisis ambiental es un problema global. Así entonces la actividad científica, tecnológica y académica, debe contribuir al establecimiento de normas vigentes, que cuenten con requisitos, características y criterios apropiados a nuestro país. El uso de combustibles fósiles, en la industria y transporte, genera al ambiente, entre otros, a compuestos orgánicos como los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP) y otros de tipo inorgánico, ambos de origen primario y secundario, que coexisten en la atmósfera causando un deterioro ambiental, que tiene un impacto social y económico, provocando enfermedades y muertes en la población. Además, de la aplicación de las políticas ambientales, como consecuencia se han utilizado también, sistemas que miden la calidad del aire para vigilar el cumplimiento, a las normas establecidas, llegando a situaciones de contingencia, que implican paralización de actividades productivas y económicas, en sectores empresariales, industriales y sociales que repercuten obviamente en el movimiento y desarrollo del país. Los trabajos de investigación están adelantándose a lo establecido en las normas vigentes, al enfocarse en problemas tan serios como la determinación de los efectos de los compuestos orgánicos en los ecosistemas y la salud.



## 2. INVESTIGACIÓN BIBLIOHEMEROGRÁFICA Y ESTADÍSTICA DE LOS HAP

### 2.1 Planteamiento de la investigación

En México, al igual que otros países en vías de desarrollo, la apertura económica, lleva también a la necesidad de demostrar cumplimiento a normas y regulaciones con carácter nacional e internacional, esto último por encontrarse inmerso en economías globales, que exigen un alineamiento a disposiciones internacionales de calidad del aire, lo que contribuye a lograr mayor competitividad nacional, mejor calidad de vida de su población y un desarrollo sustentable del país.

Desde 1993, la legislación mexicana cuenta con normas de calidad del aire que incluyen: la de ozono ( $\text{O}_3$ ), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), bióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), bióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), partículas suspendidas totales (PST) y partículas con diámetro menor a  $10 \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) y más reciente las de diámetro menor a  $2,5 \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2,5}$ ). En el caso del material particulado la Secretaría de Salud expidió primero la NOM 024 para partículas suspendidas totales y posteriormente la suprimió, incluyéndola en la *NOM 025-SSA1-1993, Salud Ambiental. "Criterios para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a material particulado. Valor de concentración máxima de material particulado para partículas suspendidas totales PST, partículas menores de 10 micrómetros  $\text{PM}_{10}$  y partículas menores de 2,5 micrómetros  $\text{PM}_{2,5}$  en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población"*. Estas partículas representan un alto riesgo para la salud, las  $\text{PM}_{10}$  se generan comúnmente por la agricultura, la minería y el tráfico de las carreteras, tienen una probabilidad mayor de depositarse en la región traqueobronquial, mientras que las partículas más finas  $\text{PM}_{2,5}$ , son producto de la combustión o se han formado como contaminantes secundarios, por la condensación de especies en la fase gaseosa, realmente por su tamaño se tornan más peligrosas, ya que pueden alcanzar espacios más internos en la periferia de los pulmones, los bronquiolos respiratorios y los alvéolos (Hinds1982). Las aeropartículas están constituidas por infinidad de compuestos orgánicos e inorgánicos, en términos de riesgo a la salud, los grupos orgánicos más importantes es el material orgánico policíclico (MOP) que incluye HAP, oxi-HAP, nitro-HAP y compuestos orgánicos heterocíclicos, son producto de combustiones y que se sabe pueden tener probables efectos cancerígenos o mutagénicos como son los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), adheridos a las partículas suspendidas lo que incrementa en ellas su peligrosidad y aumenta el riesgo (IARC 1998, Amador 2011).



Actualmente no existen normas que regulen las concentraciones máximas permitidas de compuestos orgánicos y menos aún del efecto genotóxico causado por estos.

En nuestro país se han realizado investigaciones en las que se ha podido estudiar la concentración y la composición química de las aeropartículas en diferentes partes de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), los proyectos generados se han enfocado en su composición orgánica, inorgánica, biológica, sus propiedades físicas, los efectos sobre diversos sistemas biológicos de prueba, en salud humana y la calidad del aire (Amador 2011).

Dentro de los trabajos enfocados en la composición química orgánica de las aeropartículas, grupos de investigadores han hecho énfasis en los efectos que esta fracción tiene sobre la morbilidad y mortalidad humanas (Schwartz et al. 1996, Harrison 2004, Pope y Dockery 2006, autores citados en Amador 2011) como lo demuestran estudios epidemiológicos realizados en distintas ciudades con diferentes niveles de contaminación (Position paper on PM 2004, Mauderly y Chow 2008, autores citados en Amador 2011) explicado en parte por la presencia de compuestos genotóxicos (mutagénicos y cancerígenos) evidenciados en diversos sistemas biológicos de prueba (Claxton et al. 2004, de Kok et al. 2006, citados en Amador 2011).

Una norma es un instrumento de regulación directa, que cuando posee la denominación de oficial, es de observancia obligatoria. La generación de estas implica un claro compromiso para reflejar los requisitos o límites que significan un peligro para la población, para tal fin la LFMN contempla su revisión periódica, con el propósito de considerar en este lapso, la actualización de información o de avances científicos que puedan integrarse, el problema es poder lograr un trabajo conjunto entre autoridades y sector de investigación, que permitan minimizar los riesgos a la población. Pero en este caso el compromiso debe ser mutuo, para lograr que las normas vayan unidas a las necesidades de los sectores afectados, se considera urgente que las autoridades se acerquen a los centros de investigación dedicados a los temas ambientales. La NOM-025-SSA1-1993 debe contar con la inclusión de la determinación de la composición orgánica del material particulado, ya que el normar sólo su presencia, no soluciona el problema de impacto a la salud. La revisión periódica permite que las normas sean actualizadas, modificadas o ratificadas, por la dependencia gubernamental que la emite, requiriendo para tal fin, la opinión de especialistas.



## 2.2 Definición del problema

A pesar del amplio conocimiento que se está consolidando sobre el impacto en la salud humana y contaminación ambiental, de los HAP presentes en las  $PM_{10}$  y las  $PM_{2.5}$ , las normas mexicanas de calidad del aire, aún no los contemplan, por lo que es necesario conformar un estudio que sustente su inclusión.

## 2.3 Objetivos

Objetivo general: Construir un compendio bibliohemerográfico y estadístico que consolide una propuesta de restricción a los HAP en una norma de calidad del aire.

Objetivos específicos:

2.3.1 Proponer una modificación a la *NOM-025-SSA1-1993*, actualmente vigente, en la que se propondrá incluir la determinación por gravimetría de la fracción orgánica no polar (los HAP) considerados como probables indicadores de efectos cancerígenos y mutagénicos.

2.3.2 Resaltar la importancia que tiene el cumplir con las revisiones periódicas establecidas en el Sistema Nacional de Normalización (LFMN 2009) y el compromiso de las autoridades por interactuar con diferentes centros que trabajan e investigan sobre problemas relacionados con la norma referida, haciendo énfasis en los efectos de salud, ambientales y económicos que la ejecución de este proceso puede ocasionar.

## 2.4 Justificación

El presente trabajo pretende destacar la relevancia de contar en el país con una norma de calidad del aire NOM-025-SSA1-1993 ya referida a las partículas atmosféricas, que además de indicar los límites permitidos, contemple una restricción para los HAP, probables cancerígenos y mutágenos orgánicos, que hasta el momento no están contempladas en ninguna norma nacional. Este efecto tan inquietante en la salud y nivel de vida de la población, también repercute en el desarrollo económico del país, ya que representa un gasto económico al gobierno y los habitantes, por la adquisición de medicamentos en las dependencias de salud pública, gastos para los habitantes que



acuden a centros de salud privados, provocando en ambos casos, un déficit en el desempeño de la población económicamente activa, sin considerar además, el significativo costo ecológico que provoca la presencia de las aeropartículas suspendidas en el ambiente.

Las normas de calidad del aire que regulan la concentración de las partículas suspendidas en el aire, a nivel internacional, no evalúan su composición con respecto a los HAP, así que el considerarla en México, será una propuesta original.

## 2.5 Alcance

Esta tesis sólo aplica a la propuesta de modificación a la *NOM-025-SSA1-1993* con la inclusión de todas las sugerencias presentadas como resultado de la investigación realizada, no contempla su aplicación y seguimiento.

No incluye ningún trabajo experimental propio, únicamente la referencia de los presentados como resultado de la investigación bibliohemerográfica y estadística.

## 2.6 Hipótesis

La recopilación, revisión, interpretación y análisis del conocimiento científico que se tiene de los HAP con respecto al riesgo que representan para la salud, evidenciará la necesidad de incluirlos en una norma de calidad del aire.



### 3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El interés del presente trabajo surge por la interacción que se dio entre el Grupo de Mutagénesis del Centro de Ciencias de la Atmósfera y la Unidad de Metrología de la Facultad de Química, Desde hace varios años la línea principal de investigación del grupo se ha dirigido al estudio de la Materia Orgánica Extraída (MOE) de las aeropartículas en la ZMCM, teniendo como objetivos importantes conocer la composición química y los efectos en la salud, de los compuestos orgánicos que contiene, sobre todo de los HAP y sus derivados. El conocimiento del trabajo realizado, hasta la fecha ha sido muy amplio y ha avanzado a la par, de otros investigadores, tanto dentro como fuera del país. Aunado a este conocimiento, existe el interés por la calidad del aire y su gestión, asentadas en políticas de calidad que a su vez, cuentan con normas de calidad, acordes a las necesidades del país; al intentar profundizar en este tema y revisar la norma de calidad del aire, para aeropartículas, es indudable que debe actualizarse a las exigencias y avances que se presentan en este tiempo, dando origen a este proyecto de tesis.

Una tesis es un trabajo que responde a una problemática específica, sobre una situación particular que requiere ser investigada y encontrar respuesta. Esta tesis es de carácter bibliográfico, en ella se hizo la recopilación de datos documentales existentes, que fueron investigados, a través de la revisión de la literatura disponible. Radica en detectar, obtener y consultar la bibliografía, hemerografía y estadística que se pretende sean útiles para los propósitos del estudio, de los cuales se debe extraer y organizar, la información relevante y necesaria que concierne al problema planteado (Ramos 2003).

La revisión de la literatura se realizó a partir de los tres tipos básicos de fuentes de información, cuyo sentido se especifica a continuación:

- a) Fuentes primarias u originales: es el objeto de la revisión y proporciona datos de primera mano, son por ejemplo artículos de revistas científicas, libros, y tesis anteriores, relacionadas al tema.
- b) Fuentes secundarias: son las que ayudan a detectar las referencias necesarias, permiten localizar las fuentes primarias. Pueden ser compilaciones, resúmenes y listados de referencias publicadas en el área de conocimiento en estudio, considerando las interrelaciones a temas afines.



- c) Fuentes terciarias: cuando no se conoce el tema, se recurre a estas fuentes, que son los lugares donde puede obtenerse información, como bibliotecas, grupos de trabajo científico, guías internacionales, etc., que permiten detectar las fuentes primarias y secundarias.

La presentación sistematizada de la revisión bibliográfica, va a permitir sustentar la propuesta final, a través de una valoración crítica de las fuentes. La forma de mostrar toda la información es de tipo explicativo (Hernández 2003), es decir se buscan las causas que sustentan las propuestas basándose en documentos o teorías (evidencias).

Para abordar el problema, se empleó una técnica denominada V epistemológica de Gowin (Díaz 2010), es un instrumento propuesto por él mismo, después de la mitad del siglo pasado “como una manera de generar estructuras de significados, que implica conectar conceptos, eventos y hechos, que hacen de una investigación una búsqueda coherente, en la que siempre hay conexión entre ellos” (Moreira 1993), la construcción de esta estructura, se observa gráficamente como la letra del alfabeto Ve, en la que de forma lógica e interrelacionada se ligan eventos desde el vértice, continuando por cada lado de la Ve, se compone de los siguientes elementos:

- A. Una pregunta central o determinante que guía el trabajo (qué quiero saber, hacer o resolver?).
- B. En el vértice inferior, cómo soluciono el problema de estudio (a través de qué elementos doy la propuesta de solución al problema?).
- C. Cada lado de la V muestra del lado izquierdo la parte conceptual/teórica y del lado derecho la parte metodológica/práctica (la metodología representa el hacer y la conceptual el pensar, ambas generadas casi simultáneamente, dando estructura al proceso de producción del conocimiento).

Para abordar el problema se establecieron interrogantes, cuya resolución implicó “desmenuzar” de forma coherente el conocimiento existente, lo que condujo a la conformación del trabajo de tesis. Las cuestiones detonantes del proceso fueron:

- A. ¿Qué quiero saber o hacer?: Proponer la determinación de HAP en la NOM-025-SSA1-material particulado (calidad del aire).





- B. ¿Cómo soluciono el problema de estudio? : conociendo que son los HAP, su importancia; justificar la propuesta desde diferentes aspectos como salud, ambiental, económico, etc.; investigando sobre el sistema de emisión y revisión de normas y definiendo qué caracteriza una norma.
- C. ¿Qué se necesita conocer para resolver el problema? ¿Cómo se organizan las ideas y datos? ¿qué se investiga? ¿para qué se utiliza? ¿A partir de que año se documentan los datos?: parte metodológica. ¿Qué conceptos o áreas de conocimiento explican los temas?: parte conceptual.

El diagrama de cada lado de la V de Gowin es:

Conceptual/Teórico	Metodología/Hacer
Definición y clasificación con secuencia lógica de los conceptos de contaminación, aeropartículas, HAP, incluyendo conocimiento de origen, características, propiedades, toxicología, etc.	Revisión de artículos toxicológicos, epidemiológicos, químico-ambientales a partir de 1995, a la fecha; páginas en internet; referencias y documentos generados por el Grupo de Mutagénesis de CCA; libros publicados sobre el tema y publicaciones en revistas científicas.
Marco jurídico: Guías y Normas Internacionales, Políticas de calidad del aire: América y Europa. Normas nacionales. Elaboración, emisión y revisión.	Revisión de estándares de toxicidad para justificación de la propuesta.  Revisión de Guías Internacionales de calidad del aire.
Sistemas de normalización en México: Ley Federal de Metrología y Normalización. Sistema de Revisión y modificación de normas.	Revisión de normas nacionales, especificaciones para aeropartículas.  Revisión del proceso de emisión, revisión y modificación de normas, documentos oficiales, publicaciones en revistas y entrevistas.
Impacto social (salud) y económico (ambiental) del proceso de normalización.	Investigación del impacto regulatorio para proponer una norma.

Fuente: Diagrama desarrollado por la autora de este trabajo de tesis (Reyes 2011)

A continuación se presenta el desarrollo de toda la investigación realizada, bajo la aplicación de esta herramienta, que tiene una postura constructivista del conocimiento, a lo largo de todo el trabajo de tesis.



## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1 Generalidades: Conceptos fundamentales

#### 4.1.1 Contaminación

La ZMCM está situada en una latitud casi tropical y a una altitud (2 240 m sobre el nivel del mar), es una zona urbana rodeada de montañas, experimenta frecuentes inversiones térmicas (la temperatura ambiente asciende con la altitud), sobre todo durante la época seca considerada de noviembre a marzo (Molina 2005). De los aproximadamente 112 millones de habitantes que tiene el país de acuerdo al censo de 2010, el 76,9% vive en localidades urbanas y 23,1% vive en zonas rurales, dato que representa una elevada densidad de población en las ciudades ([www.impactousa.com/ci\\_16715922?source=most\\_viewed](http://www.impactousa.com/ci_16715922?source=most_viewed)). Las 56 zonas metropolitanas que hay en el país tienen el 55,8% del total nacional de la población, se desenvuelven en zonas expuestas a muchos contaminantes atmosféricos, sin contar la cantidad de vehículos que asciende a más de 3,5 millones en la ZMCM, 35 000 industrias que consumen diariamente más de 40 millones de combustible, provocando con esto problemas de contaminación. Aunado a todo esto, la altitud de la ZMCM contribuye a dos problemas: uno es que el aire contiene 23% menos oxígeno, que al nivel del mar, por lo que es crítica la afinación de autos en la proporción oxígeno/combustión y segundo, ya que a mayor altitud, debe inhalarse más aire para obtener una cantidad equivalente de oxígeno, también inhala la población, una mayor dosis de contaminante, provocando obviamente más lesiones respiratorias (Molina 2005).

Millones de personas en las denominadas megaciudades (zonas urbanas con más de 10 millones de habitantes, Molina 2005), están expuestas a niveles dañinos de contaminantes en el aire, provocados principalmente por las emisiones que provienen de la quema de combustibles fósiles (gasolina, diesel, carbón, petróleo, etc.) por los vehículos automotores y de los procesos industriales, por incineradores, plantas petroquímicas y refinerías, fundidoras de metales e industrias químicas. Además, también podemos considerar como una fuente importante de contaminación los puestos de comida públicos, que cuentan con anafres y estufas al aire libre y que se localizan en calles cercanas a estaciones de autobuses, el metro, o de gran densidad local.

El problema de la contaminación del aire en la ZMCM ha sido ampliamente reconocido tanto por el gobierno, como por la población desde los años sesenta, en el que se tuvo un



auge de desarrollo en el país (Rhys 2008), pero las políticas ambientales se iniciaron formalmente en los 80 con el programa “Hoy no circula” entre otros. Estas estrategias han sido efectivas en algunos aspectos: como la reducción en las concentraciones de plomo, bióxido de azufre y monóxido de carbono, con el mejoramiento de las gasolinas y otros combustibles; pero las de ozono, óxido de nitrógeno y material particulado muestran muy pocos avances en los últimos años.

La atmósfera es una mezcla de varios gases y partículas líquidas y sólidas que rodea a la geósfera, a la biósfera y a la hidrósfera. Su composición es en general homogénea, resultado de procesos de mezcla que en ella ocurren. El 50% de la masa en la atmósfera está concentrada por debajo de los 5 km sobre el nivel del mar y predominan dos gases: el nitrógeno y el oxígeno. Existen cantidades traza de otros gases variables como el argón, neón, helio, kriptón, hidrógeno, óxido nitroso y xenón; como gases permanentes y vapor de agua, bióxido de carbono, metano, monóxido de carbono, ozono, amoníaco, bióxido de nitrógeno, bióxido de azufre y ácido sulfhídrico, teniendo pequeñas variaciones en diferentes puntos de la Tierra ([http://cambio\\_climatico.ine.gob.mx/comprendercc](http://cambio_climatico.ine.gob.mx/comprendercc)).

Si en el aire se presentan otras partículas o gases que no son parte de su composición normal, entonces hablamos de “contaminación del aire” y a tales partículas o gases se denominan “contaminantes del aire” algunos de ellos son perceptibles a simple vista y otros son invisibles al ojo humano, lo que los hace más peligrosos para la salud humana (Molina 2005). En términos muy generales de acuerdo al glosario presentado en los Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México (SEMARNAT 2000), la contaminación se refiere a la presencia de materia o energía cuya naturaleza, ubicación o cantidad produce efectos ambientales indeseables. Un contaminante es cualquier materia o sus combinaciones de ella, derivados químicos o biológicos (desechos orgánicos, sedimentos, ácidos, bacterias y virus, nutrientes, aceite y grasa), 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 humana (SEMARNAT 2000). En específico un contaminante del aire es cualquier sustancia natural o artificial suspendida en él, que en determinada concentración daña al hombre, animales, vegetales y materiales.

Los contaminantes se encuentran en forma de partículas sólidas, líquidas y como gases que en conjunto forman el aerosol atmosférico. En general se clasifican en dos grandes grupos: 1) contaminantes primarios, los emitidos directamente por fuentes como la



combustión en vehículos, quema de basura, incendios y 2) contaminantes secundarios, los producidos en el aire por la interacción entre contaminantes primarios, con los agentes preexistentes en la atmósfera. Excluyendo al polen, la niebla y el polvo que son de origen natural, han sido identificados y clasificados otros componentes en las categorías siguientes: sólidos, componentes sulfurosos, orgánicos volátiles, compuestos nitrogenados, oxigenados, halógenos y radioactivos, así como los olores. (SEMARNAT 2000).

Algunos de los contaminantes se denominan “contaminantes criterio” por los efectos adversos para los humanos, las plantas y ciertos materiales, para los que han sido establecidas concentraciones límites aceptables, en las normas de calidad del aire, con la finalidad de proteger la salud y el bienestar público. En los Estados Unidos de América se definen siete contaminantes criterio, donde la “Environmental Protection Agency” (EPA) ha establecido normas ambientales nacionales para la calidad del aire en National Ambient Air Quality Standards for Particle Pollution (NAAQS).

En México se han adoptado estos siete contaminantes criterio: monóxido de carbono, plomo, bióxido de nitrógeno, bióxido de azufre, ozono, partículas suspendidas totales (PST),  $\text{PM}_{2.5}$  y  $\text{PM}_{10}$ , regulados por el gobierno con base en la información sobre salud (a través de estudios epidemiológicos) y efectos ambientales de cada uno (Molina 2005). Los efectos de los contaminantes atmosféricos en la salud son agudos y/o crónicos. Los primeros actúan de manera inmediata sobre un órgano específico o un punto de entrada en el cuerpo, siendo el sistema respiratorio, ojos y piel los principalmente afectados. Los efectos crónicos no se presentan de manera inmediata, sino hasta después de un continuo período de exposición. También es oportuno señalar que los efectos en los humanos dependen del tiempo de exposición, la intensidad y el estado de salud de la persona expuesta, considerando en este caso a los niños, adultos mayores y a las personas que sufren enfermedades respiratorias y cardiopulmonares, como los humanos más sensibles a la contaminación del aire (Molina 2005).



#### 4.1.2 Partículas suspendidas en el aire

Las partículas suspendidas comprenden todo el material sólido y líquido suspendido en la atmósfera, su origen puede ser primario o secundario y comprende todo un grupo de diversos tamaños. Las partículas tienen diferentes propiedades físicas y composición química, dependiendo de la fuente primaria que las origine, esta heterogeneidad hace complicado su estudio y los riesgos potenciales que representan para la salud, debido a que la naturaleza dinámica que las caracteriza, incrementa la posibilidad de transformación continua en la atmósfera (WHO 2005).

Las partículas en general están clasificadas por sus propiedades aerodinámicas, ya que esto determina los fenómenos de transporte, eliminación y sitios de depositación, tanto a través de la atmósfera, como en las vías respiratorias.

La clasificación de las partículas sólidas totales (PST) incluye a todas las partículas de diámetro aerodinámico inferior o igual a  $100 \mu\text{m}$ . El diámetro aerodinámico se utiliza para definir el tamaño de una partícula, de cualquier forma y densidad, que tiene la misma velocidad de asentamiento que el de una partícula esférica de densidad igual a  $1\text{g}/\text{cm}^3$ , es decir, que todas las partículas con la misma velocidad de sedimentación tendrán el mismo diámetro aerodinámico (Hinds 1999). Las partículas con más de  $100 \mu\text{m}$  tienden a depositarse rápidamente y no deben considerarse como emisiones de aire; en general, las partículas de diámetro entre  $30$  y  $100 \mu\text{m}$  también se sedimentan lentamente. De esta forma, las partículas suspendidas totales, son aquellas de diámetro inferior a  $30 \mu\text{m}$ , referida como PST. La denominación  $\text{PM}_{10}$  se refiere a las partículas de diámetro aerodinámico inferior o igual a  $10 \mu\text{m}$  y las  $\text{PM}_{2.5}$  a aquellas iguales o inferiores a  $2.5 \mu\text{m}$ . El tamaño pequeño de las  $\text{PM}_{2.5}$  les permite entrar fácilmente en los alvéolos pulmonares, donde al depositarse, causan efectos adversos a la salud (Hinds 1999). Las partículas pueden causar tos, jadeos, dificultad para respirar y cambios tanto en la función respiratoria, como en el mismo pulmón (Escamilla 2008). Se cree que el aumento en los niveles de partículas es el responsable del incremento en las tasas de mortalidad y de morbilidad, en individuos con condiciones cardiovasculares y/o respiratorias preexistentes (Borja 1997). La siguiente figura nos muestra la diferencia de tamaño de las partículas comparadas con un cabello humano.

*Diferencia de tamaño en las partículas*

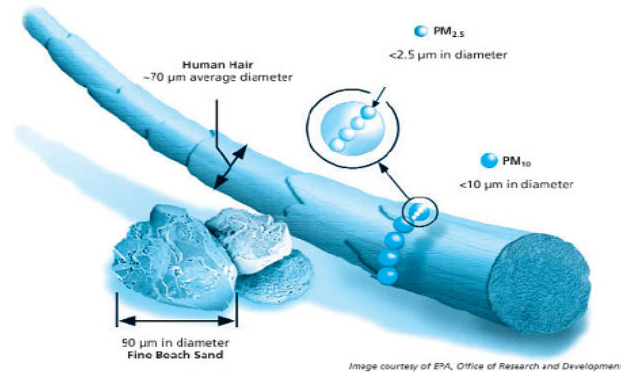
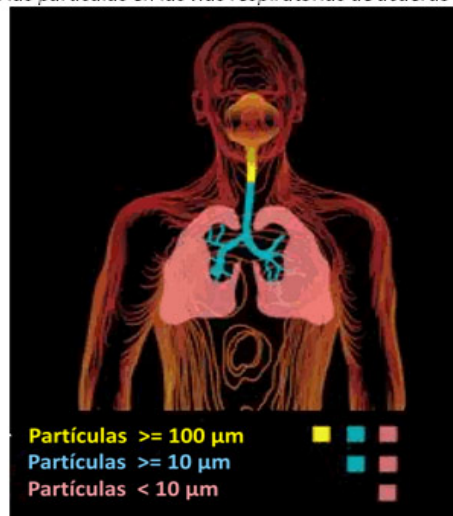


Figura1 Comparación del tamaño de las partículas suspendidas en el aire con el cabello humano.

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

Por otra parte las PM<sub>2,5</sub> afectan la visibilidad (SIMAT 2010). Por lo general, las partículas tienen más tiempo de vida en la atmósfera (días a semanas) que las partículas gruesas y tienden a ser más uniformes cuando se dispersan en un área urbana o región geográfica grande. Como en general las partículas más grandes se tienden a depositar más rápido que las más pequeñas, con frecuencia la masa total de partículas gruesas es menos uniforme en concentración que las finas en una región determinada (OMS 1999).

*Impacto de las partículas en las vías respiratorias de acuerdo a su tamaño*



(fuente: SKC Gulf Coast Inc.,)

Figura 2 Distribución de las partículas suspendidas en el tracto respiratorio en función de su tamaño

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



### 4.1.3 Gestión de la Calidad del Aire

La historia de la Humanidad es la historia de ésta con su ambiente. Se sabe que la atmósfera que nos rodea, forma parte de ese gran ecosistema que permite la vida en nuestro planeta. En este ecosistema natural tenemos interacciones a través de las cuales obtenemos alimento, abrigo y energía todos los seres que lo integramos. Cuando se da un desequilibrio en estas interacciones, se crea un problema ambiental.

Históricamente se establecen dos momentos trascendentales, que ocasionaron cambios ambientales fuertes:

- El descubrimiento del Nuevo Mundo que provocó cambios en el uso del suelo, por la interacción de ecosistemas diferentes para la adaptación de especies (alteración ecológica).
- La Revolución Industrial en la que se inició la explotación de recursos minerales y de combustibles fósiles (no renovables).

En el siglo XIII el carbón empezó a reemplazar a la madera para el calentamiento doméstico y uso industrial en Inglaterra. Desde ese entonces se señaló como perjudicial para la salud humana. En 1273 el rey Eduardo I realizó el primer intento de control de la calidad del aire respirable, al prohibir el uso del carbón marino –un carbón suave proveniente de las costas de Inglaterra- que producía mucho humo al ser quemado. El uso excesivo de la madera originó su escasez, sobre todo en las crecientes zonas urbanas, provocando el incremento en el uso del carbón y como medida de seguridad para la población se construyeron chimeneas más altas, para evitar la contaminación del aire en los centros urbanos. A finales del siglo XIX era más evidente que la industrialización y el transporte estaban contribuyendo a la contaminación del aire, por lo que se intentaron instituir controles sobre la emisión de humo y olores provenientes de las fábricas (Molina 2005).

La denominación de “smog” se debe al médico londinense H.A. Des Voeux que la empleó en un informe a la “Smoke Abatement League” en 1911 y que resulta de la combinación de las palabras *smoke* (humo) y *fog* (niebla). El informe indicaba que una combinación de humo, gases sulfurosos y niebla había cobrado más de 1 000 vidas en Glasgow y Edimburgo en 1909. Esta es la primera referencia formal, pero continuaron ocurriendo más, hasta llegar a 1952, año en el que se presentó la famosa “niebla asesina” que



ocasionó la pérdida de más de 4 000 vidas, por el empleo de carbón rico en azufre que liberó dióxido de azufre, que a su vez originó la formación de ácido sulfúrico. El gobierno de Gran Bretaña emitió el “Acta del aire limpio” para reducir emisiones, cuya observancia redujo el número de muertes por malas condiciones atmosféricas (Molina 2005). En Estados Unidos, durante el verano de 1943, California registró su primer caso de smog, la ocasión en la que la visibilidad sólo se distinguía a tres cuadras, los habitantes sufrieron irritación en los ojos, molestias respiratorias, náuseas y vómito, síntomas que persistieron aún después de haber clausurado una planta industrial que producía butadieno, hoy reconocido como probable cancerígeno.

Es en 1953, cuando Arie Haagen-Smit, profesor de bioquímica del Instituto de Tecnología de California descubrió las causas y la naturaleza del smog: demostró que el aire sintético contaminado -que contiene compuestos orgánicos volátiles (COV) y óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ )- expuesto a la luz del Sol, podría causar daños similares a los sufridos en Los Ángeles; efectos parecidos se obtuvieron al someter a la luz solar gases diluidos del escape de auto. Haagen-Smit y sus colaboradores, determinaron que el principal componente del smog es el ozono que surge de la combinación de COV (producto de la combustión, automóviles, calentadores, etc.) y  $\text{NO}_x$  (provenientes de la evaporación de gasolina y solventes usados en la fabricación de pinturas) en presencia de la luz solar (Molina 2005).

Después del suceso de 1943 las autoridades de California, presionadas por la población crearon en 1945 la Oficina de control de humo (Bureau of Smoke Control), como dependencia del Departamento de Salud pero pronto se dieron cuenta que el problema no era local, por lo que en 1947, el gobernador de California firmó el Acta de Control de contaminación del aire, con la creación de un distrito para cada condado. La mayor conscientización de los problemas ambientales entre 1950 y 1970 culminó con el establecimiento del Día de la Tierra en 1970 y el presidente Nixon estableció en ese mismo año, por decreto la Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency, EPA) para poner en vigor el Acta Federal de aire limpio (Federal Clean Air Act, FCAA). La EPA se dedicó a expedir normas y a exigir que cada estado elaborara y pusiera en práctica un plan para cumplirlas (Molina 2005).

La política ambiental en México no es muy anterior, el primer intento de diseño se dio en 1971 con la Ley Federal para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental (LFPCCA), pero su promulgación tuvo poco efecto, en 1982 se emitió una nueva ley que



fortaleciera la legislación ambiental y un año más tarde se creó la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), que después pasó a ser la Secretaria del Desarrollo Social (SEDESOL) dándole a la administración ambiental federal un carácter social.

En 1988, la ley de 1982 fue reemplazada por la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección del Ambiente (LGEEPA) donde se impusieron instrumentos de política basados en esquemas normativos alternos como “el que contamina paga”, la inclusión del análisis costo-beneficio en la definición de las políticas, ambas declaraciones se publicaron en el Diario Oficial de la Federación 1988 (DOF). Con la finalidad de tener a la población alerta e informada acerca de los índices de contaminación, a partir de 1989 la Secretaría del Ambiente crea el Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Cd. de México (SIMAT) y como uno de sus subsistemas a la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) para informar al público a través del Índice Metropolitano de calidad del aire (IMECA) que indica el nivel de contaminación basado en el contenido de ozono y los demás contaminantes criterio, entre ellos las partículas; la calidad del aire, de acuerdo a los valores informados, pueden o no generar un plan reacción para la población, que implica el reducir las emisiones contaminantes: a través de la reducción de actividades industriales, restricciones para la circulación de vehículos y reducción de actividades al aire libre (más adelante, en este trabajo, se retomarán estos controles).

En 1992, la administración federal, se dividió en dos oficinas: el Instituto Nacional de Ecología (INE) que se encarga de redactar normas ambientales, de gestión y protección del ambiente y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), cuya función es vigilar el cumplimiento de leyes y normas ambientales, que aplican a todos los sectores que pueden provocar alteraciones en el ambiente.

Las iniciativas a partir de los 90, fueron la eliminación de plomo en la gasolina (se disminuyó su presencia en atmósfera); se redujo el contenido de azufre en el diesel y combustible pesado y se consolidó el cierre de la Refinería 18 de Marzo en Azcapotzalco, que contaminaba mucho esta zona de la ciudad. Las concentraciones de CO han disminuido, ya que los autos nuevos tienen convertidores catalíticos y los programas de verificación, inspección y mantenimiento se han incrementado. Durante 1988 a 2000 la tendencia de contaminantes criterio como ozono y partículas fueron los límites que más se rebasaron en la ZMCM.

Se presenta la tendencia de niveles promedio para material particulado, en cinco estaciones RAMA: TLA, Tlanepantla; XAL, Xalostoc; MER, Merced; PED, Pedregal y CES, Cerro de la Estrella, representan cinco sectores del área urbana de la ZMCM:

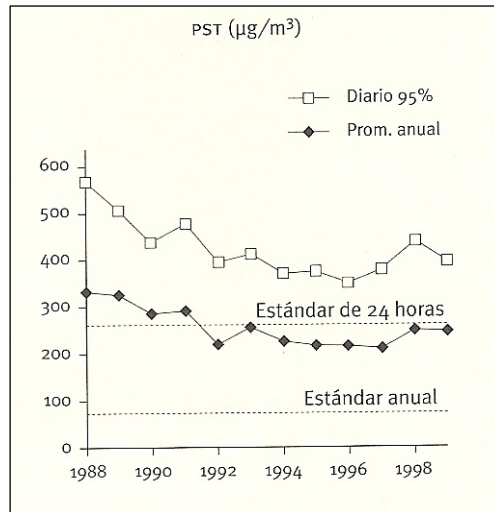


Figura 3 Tendencia de PST de 1988 a 1998.  
Fuente: *La Calidad del aire en la Megaciudad de México. Un enfoque integral.* Molina (2005), p. 67.

Las concentraciones promedio anual de  $\text{PM}_{10}$  en muestreo continuo fueron:

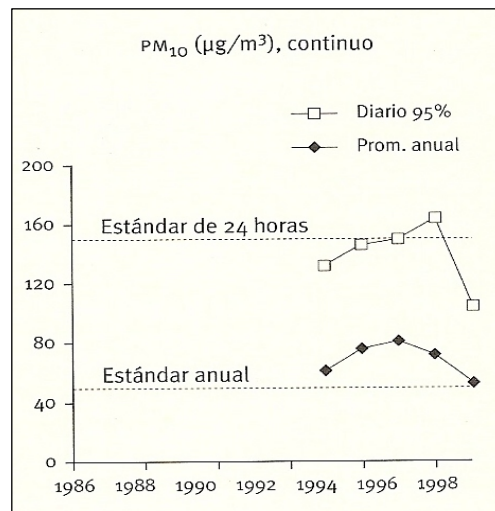


Figura 4 Tendencia de  $\text{PM}_{10}$  muestreo continuo de 1986 a 1998  
Fuente: *La Calidad del aire en la Megaciudad de México. Un enfoque integral.* Molina (2005), p. 66.

Las concentraciones promedio anuales de  $\text{PM}_{10}$  en muestreo manual fueron:

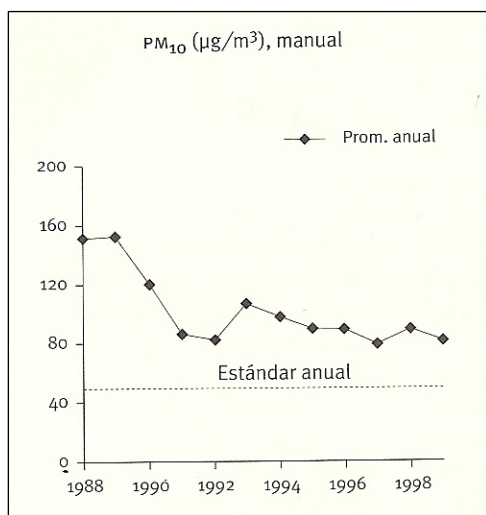


Figura 5 Tendencia de  $\text{PM}_{10}$  muestreo manual de 1988 a 1998  
Fuente: *La Calidad del aire en la Megaciudad de México. Un enfoque integral. Molina (2005), p. 66.*

Porcentaje de días por año en los que la norma se rebasó en cinco estaciones de la RAMA

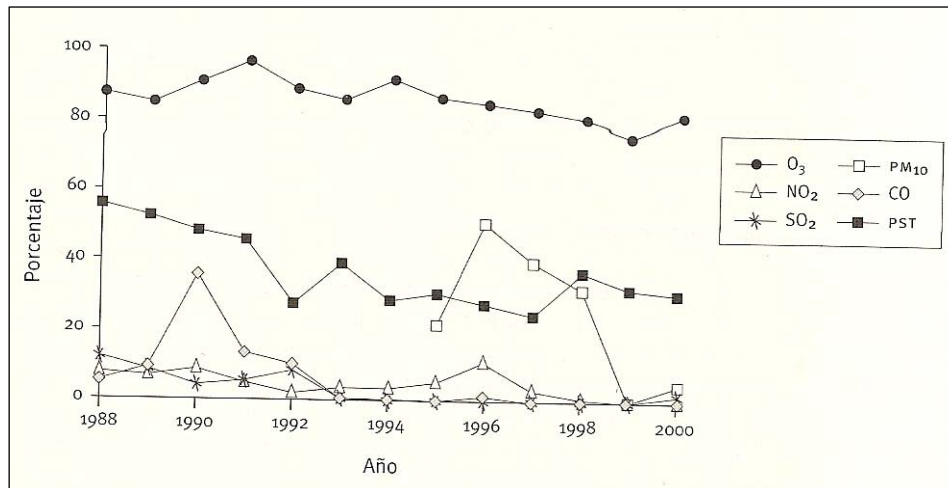


Figura 6 Tendencia en por ciento de fuera de especificaciones de algunos contaminantes criterio. Fuente: *La Calidad del aire en la Megaciudad de México. Un enfoque integral. Molina (2005), p. 67*

Durante 1997, 1998 y 1999 extralimitaron los valores normados (Molina 2005). Las figuras 3 a 6 y la tabla 1, nos muestran gráficamente como estas iniciativas se han reflejado en la reducción de la concentración de los contaminantes en la atmósfera de la ZMCM, aún



cuando los límites estuvieron fuera de especificaciones en 1999, para todos, excepto el  $\text{SO}_2$ .

**Tabla 1 Normas de calidad del aire y concentraciones pico en ZMCM DE 1997 a 1999**

Contaminante	Unidades	Norma de calidad del aire	Concentraciones pico		
			1997	1998	1999
Ozono (1 h)	ppm	0,11	0,318	0,309	0,321
CO (8 h)	ppm	11	16,4	14,9	12,8
NO <sub>2</sub> (1 h)	ppm	0,21	0,448	0,421	0,279
SO <sub>2</sub> (24h)	ppm	0,13	0,133	0,116	0,094
PM <sub>10</sub> (24 h)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	150	324	371	202
PST (24h)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	260	747	945	832

Fuente: INE, 2000b, *Almanaque de datos y tendencias de calidad del aire en ciudades mexicanas* Molina (2005) p. 67

Es hasta los 90 cuando se intensificó la exigencia de la regulación ambiental. No hay duda que tales exigencias hayan tenido relación con la presión que se tenía para la firma del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) en 1994 (Rhys 2008). Resulta evidente que la negociación económica de México con otros países tiende a exigir que la normatividad ambiental sea más rigurosa y obligue a fortalecer las normas mexicanas (Rhys 2008). En 1996 la LGEEPA se reformó con cinco reglamentos en materia de impacto ambiental, residuos peligrosos, control de contaminación atmosférica y cerca de 60 normas oficiales vigentes para la regulación de la industria. Parte importante del control de las empresas es la regulación directa basada en el cumplimiento de normas y requisitos de licencias y permisos, así como la vigilancia y la supervisión. La Licencia Ambiental Única (LAU) es un trámite en el que establecimientos particulares presentan su manifestación de impacto ambiental, estudios de riesgo y permisos para descarga de aguas residuales, antes de la fase constructiva y los permisos de residuos peligrosos, atmósfera y agua, en fases posteriores. Otro modelo de regulación voluntaria o autorregulación por parte de las empresas, es la iniciativa para coordinarse entre ellas o con organizaciones internacionales como la “Global Environmental Management Initiative” y la “Responsible Care”, que en México se hace por medio de la Asociación Nacional de

la Industria Química con el programa Responsabilidad Integral; ISO 14000 (Sistema de Gestión Ambiental para empresas); Enviro-Pro, etc.

Respecto a la ISO 14000 en México se ha trabajado básicamente en la promoción de dicha norma, referente a sistemas de administración ambiental, donde a la fecha hay cerca de 63 plantas industriales certificadas. Con respecto a la regulación, en México se ofrece el certificado de industria limpia, hasta abril de 1997 se habían otorgado 80 certificados y hasta 2000 ya sumaban cerca de 542 en el país (Rhys 2008).

Gubernamentalmente existen diversas dependencias ambientales: La Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) para el ámbito federal y las secretarías de Ecología para el Estado de México y del Medio Ambiente del Distrito Federal.

Desde 1996, el programa para mejorar la calidad denominado Proaire tuvo como objetivos: reducir la emisión de hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y emisión de partículas, además de intentar modificar la distribución general de las concentraciones de ozono, cumpliendo con las normas un mayor número de días. El más reciente programa del 2002-2010, ha enfatizado por primera vez la importancia en la salud, aportando datos de vigilancia epidemiológica y relacionando materiales particulados y mortalidad.

El deterioro ambiental en México está plasmado en el Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas de México (SEECM), donde se muestra de manera oficial, los costos de degradación (CD) y los costos de agotamiento (CA) de los recursos naturales al entorno económico. De la suma de ambos resultan los costos ambientales totales (CAT). Los CA reflejan las estimaciones monetarias que expresan el desgaste o pérdida de los recursos naturales (lo que equivale a una depreciación), como consecuencia de su utilización en el proceso productivo; por otro lado los CD son las estimaciones monetarias requeridas para restaurar el deterioro del ambiente ocasionado por las actividades económicas (Rhys 2008). El Sistema de Cuentas Nacionales (SCNM) es un modelo que incorpora estadísticas sobre los recursos naturales y el ambiente, permitiendo cuantificar el daño ecológico ocasionado. Está aprobado por la Organización Mundial de las Naciones Unidas (ONU), el Banco Mundial (BM), la Organización de Cooperación para el Desarrollo Económico (OCDE), el Fondo Monetario Internacional (FMI) y la Comisión de las Comunidades Europeas (EUROSAT) con aplicación en todos los países. Su información se deriva de los censos, las encuestas y los registros administrativos, además de seguir un modelo teórico-metodológico de validez y comparación internacional. De este sistema se obtiene el Producto Interno Neto Ecológico (PINE) que permite identificar el impacto



que tiene en el PIB, a través de la relación entre el acervo de capital fijo, con el agotamiento y deterioro de los recursos del medio ambiente, ocasionados por los procesos productivos. Es oportuno señalar que este PIB verde estuvo incluido en el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2001-2006 como uno de los indicadores para verificar el avance de la política económica (Sistema Cuentas Económicas y Ecológicas, Resumen General, INEGI 2003-2007).

Los sistemas de gestión del aire, se han diversificado ampliamente de acuerdo a las necesidades que han presentado tanto la población, como la naturaleza, de acuerdo al deterioro y efectos adversos en la salud. Los avances en la gestión de la calidad del aire en países en desarrollo, han logrado generar progresos en el creciente bienestar económico y social, al mejorar la salud pública. La Agenda 21 generada en 1992 como una gran recomendación y compromiso de los países participantes en la Cumbre de la Tierra convocada por la Organización de las Naciones Unidas para avanzar en un modelo de desarrollo sostenible, señala en el capítulo 6 (OMS 1999):

*En los programas de acción nacionales que reciben asistencia, apoyo y coordinación internacionales, se debería incluir cuando se requiera, lo siguiente:*

*(a) Contaminación del aire en zonas urbanas:*

*i) Desarrollo de la tecnología adecuada para combatir la contaminación, basada en la evaluación de riesgos e investigación epidemiológica, con miras a introducir procesos de producción ambientalmente racionales y un sistema de transporte de masas adecuado y seguro.*

*ii) Desarrollo de la capacidad de control de la contaminación del aire en las grandes ciudades, con énfasis en los programas de fiscalización y el uso de redes de vigilancia, donde sea apropiado.*

*b) Contaminación del aire en interiores (no incluida en este trabajo).*

En Europa las guías de calidad del aire surgen desde los años 50's pero no es hasta los 80's cuando la Oficina Regional para la OMS publica las primeras Guías para la Calidad del Aire actualizadas hasta 2005, como la más reciente. Las guías establecen límites permisibles de los contaminantes tanto los criterio o convencionales, como ya se ha expresado, denominados así por los efectos a la salud ( $\text{O}_3$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$ , PST,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ) y también los no convencionales, como diclorometano, tricloroetileno, tetracloroetileno, hollín, Pb, etc., que también afectan la salud, pero que no se pueden generalizar a todos los países y organizaciones. Sus efectos se focalizan por ciertas regiones, dependiendo de las actividades industriales que se desarrollen. Las guías no



son normas, son recomendaciones, de cada país donde se han realizado estudios para conocer la proporción de la población que es afectada, la definición de los efectos adversos, la relación exposición-respuesta, la caracterización de la exposición y conocer los costos financieros del control de la contaminación del aire y sus beneficios. Después de estas determinaciones, las guías se convierten en normas cuando son promulgadas por el gobierno, ofreciendo una base para proteger la salud pública a los efectos adversos de la contaminación y contribuir al bienestar humano.

La responsabilidad gubernamental de proteger a los habitantes a través del tiempo, remite este trabajo a 1971 en Estados Unidos, cuando la EPA dio a conocer los Estándares de Calidad del Aire Ambiental Nacional (NAAQS) por primera vez a nivel mundial, como límites oficiales, para materiales particulados primarios y secundarios establecidos en la sección 109 del Acta de Aire Limpio (Federal Register, 1971), se evaluaron partículas suspendidas totales (PST) con diámetro  $< 40 \mu\text{m}$ , reconocidas como estándar primario, con un nivel máximo de seguridad de  $260 \mu\text{g}\text{m}^{-3}$  en 24 h, sin excederlo en más de una vez al año; este parámetro se volvió a revisar hasta 1987, debido a que los estudios mostraron que las partículas de menor diámetro eran más dañinas, promoviendo así el indicador para las partículas inhalables a un tamaño menor o igual a los  $10 \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ); en 1997 EPA realizó otra revisión en la que limitó a las partículas más finas ( $\text{PM}_{2.5}$ ) debido a los incrementos de morbilidad en las personas, en las admisiones a hospitales y en las visitas a las salas de emergencia de pacientes con problemas cardíacos y del pulmón. En 2006, EPA revisó de nuevo sus normas de calidad del aire, siendo hasta hoy las vigentes (EPA 2006). Por otra parte el Código Federal de Regulaciones (“Code of Federal Regulations”, CFR) es una publicación oficial, que estableció el 14 de febrero de 2011(CFR 2011) los mismos límites para la concentración de partículas en aire, estas restricciones son establecidas para EPA y otros países, incluyendo México, los consideran para definir los propios. Los límites actuales establecidos por EPA se muestran en la siguiente tabla.



**Tabla 2 Estándares de calidad del aire ambiental por Contaminación de Partículas de acuerdo a EPA<sup>a</sup>**

Contaminante	Estándar primario	Tiempo promedio	Estándar Secundario
PM <sub>10</sub>	Revocado <sup>a</sup>	Anual (Media aritmética)	—
	150 $\mu\text{gm}^{-3}$	24 h <sup>b</sup>	Igual que el primario
PM <sub>2,5</sub>	15,0 $\mu\text{gm}^{-3}$	Anual <sup>c</sup> (Media aritmética)	Igual que el primario
	35 to 65 $\mu\text{gm}^{-3}$	24 h <sup>d</sup>	Igual que el primario

Fuente: EPA y NAAQS Septiembre 21, 2006

Las unidades de medida son microgramos por metro cúbico de aire ( $\mu\text{gm}^{-3}$ )

<sup>a</sup> Debido a la falta de evidencia ligada a problemas de salud por exposiciones prolongadas a contaminación por partículas gruesas, la agencia revocó el estándar anual para PM<sub>10</sub> en 2006 (efectiva Diciembre 17, 2006).

<sup>b</sup> No debe ser excedido más de una vez por año en un promedio de 3 años.

<sup>c</sup> Para alcanzar este estándar, no se debe exceder el promedio de 3 años la concentración anual de PM<sub>2,5</sub> a este valor fijado.

<sup>d</sup> Para alcanzar este estándar, el promedio de 3 años del 98 percentil por 24 horas no debe exceder el valor de la concentración fijada.

Algunos países, sobre todo los que están en vías de desarrollo, utilizan estándares de calidad de aire de la EPA para fijar sus valores máximos permisibles o en otros casos los valores de referencia recomendados por la OMS, ya que no cuentan con estudios epidemiológicos, económicos y técnicos, que les permitan generar sus propios valores máximos permisibles. México y Chile son los países de Latinoamérica que muestran un mayor avance al respecto (Normas de Calidad del Aire 2005).

Los métodos de medición, que se usan son aquellos elaborados por la EPA, sobre todo para el caso de contaminantes criterio, siendo prácticamente iguales para la mayoría de los países. La siguiente tabla muestra los análisis más empleados, dependiendo del contaminante.





**Tablas 3 Métodos de Análisis empleados para diferentes contaminantes**

Contaminante	Método
Ozono ( $\text{O}_3$ )	Quimiluminiscencia
Dióxido de Azufre ( $\text{SO}_2$ )	Pararrosalina
Dióxido de Nitrógeno ( $\text{NO}_2$ )	Quimiluminiscencia
Monóxido de Carbono ( $\text{CO}$ )	Espectrometría Infrarroja No Dispersiva
Partículas Totales en Suspensión (PST)	Alto Volumen
Partículas Inhalables ( $\text{PM}_{10}$ )	Gravimétrico

Fuente: *Normas de Calidad del Aire a Nivel Internacional (Julio 2005)*

Para el seguimiento y control del cumplimiento de los límites establecidos, se requiere del apoyo convencido del gobierno y del personal calificado. México, Chile y Estados Unidos son países comprometidos que cuentan en sus políticas de Calidad del aire con programas e indicadores, que admiten la participación de la población, para acceder al conocimiento de las condiciones atmosféricas en determinado lugar y momento (Normas de Calidad del Aire 2005).

La vigilancia de la calidad del aire que involucra el monitoreo de las variables de interés es fundamental para tomar decisiones respecto a la gestión y mejora del ambiente, ofrecer evidencia científica confiable con la que se pueden desarrollar políticas y estrategias, establecer objetivos y verificar el cumplimiento. Es oportuno reconocer las limitaciones del monitoreo, ya que ningún programa, por muy bien fundamentado y diseñado que esté, puede llegar a cuantificar totalmente los patrones de contaminación del aire en el espacio y tiempo, por tal motivo, el monitoreo debe usarse conjuntamente con otras técnicas de evaluación, como modelos, medición e inventarios de emisiones, interpolación y elaboración de mapas. Todas estas herramientas se pueden combinar para obtener una descripción más real de la calidad ambiental (OMS 1999).

El empleo de modelos para llevar a cabo interpolaciones y predicciones que permitan optimizar las estrategias de control, debe ser validado por datos reales medidos de acuerdo a las condiciones, fuentes y topografía locales, además de tener relación con la base de datos meteorológicos y emisiones disponibles. De acuerdo con las recomendaciones internacionales, los inventarios, se calculan a través de factores de emisión de fuentes específicas y se usan conjuntamente con estadísticas como densidad

de población, uso de combustibles, kilómetros recorridos por vehículo o producción industrial (OMS 1999). Para determinar cumplimiento de los límites de calidad del aire, se debe contar conjuntamente con la información que nos da el monitoreo, los modelos y la evaluación de emisiones. La parte de pronósticos, ha sido escasamente desarrollada en Latinoamérica, sin embargo en México y Chile, se viene realizando en la información que se da a la comunidad de estos datos (OMS 1999).

El monitoreo y seguimiento de los niveles de contaminación en México los proporciona el Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT) que representa el interés de las autoridades por conocer la concentración de los contaminantes atmosféricos en el Área Metropolitana de la Ciudad de México. Desde 1958 a 1967 se hicieron intentos por medir las concentraciones de dióxido de azufre (método peróxido de hidrógeno), partículas suspendidas (método de reflectometría) y polvo sedimentable (gravimetría) en diversas estaciones colocadas en sitios estratégicos, pero lamentablemente esta red suspendió actividades en 1972 por problemas técnicos fueron: interferencia en la medición del dióxido de azufre, falta de curvas de calibración en la medición de partículas suspendidas y ausencia de correlación con estudios de salud, en el caso del polvo sedimentable. En este mismo año inició actividades la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente, que depende de la Secretaría de Salubridad y Asistencia. Entre 1973 y 1977 el gobierno mexicano y el Programa de Naciones Unidas para el desarrollo, inician un programa conjunto de protección ambiental y se inicia gradualmente la adquisición de 22 equipos de alto volumen para medir partículas y reforzar los equipos para medir gases contaminantes, partículas, bióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y ozono. En estas fechas también se iniciaban las mediciones de parámetros meteorológicos como dirección y velocidad del viento, temperatura y humedad relativa. La red se denominó “Red Phillips”, pero desafortunadamente dejó de operar en 1976, ya que la información que reportaba, no fue confiable (SIMAT 2010).

En 1984 el Plan Nacional de Desarrollo estableció que se debía contar con sistemas de monitoreo de contaminación atmosférica, por lo que entró en operación la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) con 25 estaciones, 19 en el Distrito Federal y 6 en el Estado de México. El SIMAT dependía organizacionalmente de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE). Los contaminantes que monitorea son: monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, ozono, partículas menores a 10 micrómetros, partículas suspendidas totales y plomo. La RAMA en 1991 amplió su servicio a 32 estaciones remotas y una móvil, además de medir parámetros



meteorológicos. En 1993 se instalan equipos automáticos para registrar partículas menores a  $10 \mu\text{m}$  (SIMAT 2010).

Durante estas fechas la administración federal ambiental se separó en dos oficinas: el Instituto Nacional de Ecología (INE) encargado de redactar normas ambientales, de gestión, de protección al ambiente y recursos naturales; y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), encargada de vigilar el comportamiento y cumplimiento a las leyes y normas ambientales. Esta última ofrece servicios de análisis del ambiente en materia de residuos, suelos y otras matrices ambientales, pero no de la composición de las partículas del aire. También en esta época, la SEDUE fue reorganizada, denominándose Secretaria de Desarrollo Social (SEDESOL), logrando con esto integrar los problemas ambientales a los problemas urbanos, adquiriendo así un carácter socioeconómico.

Entre 1995 y 1997 se incluye en la RAMA la medición de precipitaciones ácidas y la radiación solar ultravioleta. Formalmente en Diciembre de 2000 la Secretaria del Medioambiente del Gobierno del Distrito Federal, a través de la Dirección General de Gestión Ambiental del Aire, inicia la integración del SIMAT para la Ciudad de México, con la finalidad de unificar las mediciones de contaminantes atmosféricos y parámetros meteorológicos. Se analiza la inclusión de la medición de partículas menores a  $2.5 \mu\text{m}$  e hidrocarburos, el acceso a la base de datos y la difusión por medio de publicaciones e indicadores ambientales. El SIMAT se apoya también en un Comité Consultivo integrado por reconocidos especialistas en gestión ambiental. En 2001, el SIMAT activa en 4 estaciones de medición la radiación fotosintéticamente activa. En Agosto de 2003 se inicia la recepción de  $\text{PM}_{2.5}$  después de la conclusión del proyecto para el diseño de una red de monitoreo. Los resultados de este proceso se han visto reflejados en la obtención eficiente de información de las estaciones y la que también proporcionan para el Índice Mexicano de Calidad del Aire (IMECA) o para el Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas. La medición de la contaminación se realiza con instrumentos automáticos colocados en las diferentes estaciones de monitoreo distribuidas en la ZMCM, en donde los datos analizados y procesados cada minuto se transmiten vía telefónica hasta en Centro de Información de la Calidad del Aire (CICA) por el que se difunde el IMECA en la página de internet.

El índice de contaminación del aire permite transformar datos de concentraciones de contaminante, a un valor numérico que representa la calidad del aire en una región determinada. El IMECA es un algoritmo matemático que incluye en un valor numérico la



combinación de cinco contaminantes: partículas menores a  $10 \mu\text{m}$  (fracción respirable); dióxido de azufre; dióxido de nitrógeno; ozono y monóxido de carbono. El índice es de 0 a más de 200, entre mayor sea, existe más riesgo para la salud de la población. Valores  $\leq 100$  indica que la calidad del aire es satisfactoria, entre 101 y 150, la calidad del aire no es adecuada para grupos sensibles (niños, embarazadas y ancianos); de 151 a 200, no es adecuada para la población en general, con molestias leves pero, para la parte sensible, los efectos son graves; arriba de 200 se considera grave. El IMECA también se indica con colores: 0 a 50 verde, condición ambiental buena; 51 a 100 amarillo, regular; 101-150 naranja, mala; 151-200 rojo, muy mala y  $> 201$  morado, extremadamente mala. Cuando se tiene 160 o 170 (niveles altos de ozono y/o partículas en aire) se anuncia “precontingencia” y con niveles más altos contingencia, lo que indica que las medidas indicadas por las autoridades son más extremas, reduciendo la circulación de vehículos, algunas actividades industriales y restringiendo la exposición de la población sensible al aire exterior (SIMAT 2010).

La RAMA realiza mediciones continuas y permanentes de los contaminantes criterio en 36 estaciones de monitoreo (24 en el Distrito Federal y 12 en el Estado de México). La información que proporciona esta red es primordial para la evaluación de la calidad del aire en la ZMCM y su difusión a través del IMECA en la página de internet. Los equipos de medición con que cuenta, son analizadores de gases específicos, que realizan mediciones cada minuto, las 24 horas los 365 días del año, la información se procesa y valida para generar promedios de una hora.

A continuación se presentan los puntos de monitoreo de la ZMCM que cuentan con muestreadores de partículas y el estado de su operación.

**Tabla 4 Período de operación de los equipos que conforman las estaciones de monitoreo que cuentan con muestreadores de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>**

Zona	Delegación/ Municipio	Estación	Clave	Activa	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>
Noroeste (NO)	Azcapotzalco	Camarones	CAM	Sí	—	2003-actual
	Naucalpan	ENEP Acatlán	EAC	Sí	2000-actual	—
	Tlanepantla	Tlanepantla	TLA	Sí	1995-actual	2003-actual
	Tultitlán	Tultitlán	TLI	Sí	1995-actual	—
Noreste (NE)	Acolman Neza.	Acolman	ACO	Sí	—	2007-actual
	Gustavo A. Madero	La Villa	LVI	No	1995-2011	—
	Nezahualcóyotl	Nezahualcóyotl	NET	No	1995-2000	—
	Nezahualcóyotl	La Perla	PER	Sí	—	2003-actual
	Ecatepec de Morelos	San Agustín	SAG	Sí	2000-actual	2003-actual
	Gustavo A. Madero	San Juan de Aragón	SJA	Sí	—	2003-actual
	Coacalco	Villa de las Flores	VIF	Sí	1995-actual	—
Centro	Ecatepec de Morelos	Xalostoc	XAL	Sí	1995-actual	—
	Venustiano Carranza	Hangares	HAN	No	2000-2006	—
	Iztacalco	Iztacalco	IZT	Sí	2007-actual	—
Suroeste (SO)	Venustiano Carranza	Merced	MER	Sí	1995-actual	2003-actual
	Coyoacán	Coyoacán	COY	Sí	—	2003-actual
	Álvaro Obregón	Pedregal	PED	Sí	1995-actual	—
	Álvaro Obregón	Plateros	PLA	No	2000-2009	—
Sureste (SE)	Coyoacán	Santa Úrsula	SUR	Sí	2000-actual	—
	Iztapalapa	Cerro de la Estrella	CES	No	1995-2011	—
	Xochimilco	Tláhuac	TAH	Sí	1995-actual	—
	Coyoacán	Taxqueña	TAX	No	2000-2011	—
	Iztapalapa	UAM Iztapalapa	UIZ	Sí	—	2005-actual

Fuente: Sistema de Monitoreo atmosférico (SIMAT 2010)

En diciembre del 2001, el Fideicomiso Ambiental de la Comisión Ambiental Metropolitana aprobó para la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal un monto de 9.5 millones de pesos para el diseño de la red de monitoreo de partículas finas para 15 estaciones; a partir de 2003 iniciaron actividades, pero sólo 9 están en funcionamiento a partir de ese año y no fue hasta 2005 que fueron normadas, ver tabla 4 (SIMAT 2010).



En las estaciones de la Red Manual de Monitoreo Atmosférico (REDMA), los equipos de medición cuentan con muestreadores semiautomáticos, dispone de 14 estaciones: 9 ubicadas en el Distrito Federal y 5 en el Estado de México, las evaluaciones que realiza son para PST,  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$  y operan de la siguiente forma:

**Tabla 5 Principio y método de análisis en las estaciones para PST,  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$**

Contaminante	Principio de operación	Método de Análisis
PST	Muestreadores de Alto Volumen	Gravimetría
$\text{PM}_{10}$	Muestreadores de Alto Volumen con cabezal de separación	Gravimetría
$\text{PM}_{2.5}$	Muestreadores de Bajo Volumen	Gravimetría

Fuente: Sistema de Monitoreo atmosférico (SIMAT 2010)

El IMECA para partículas sólo informa la concentración de  $\text{PM}_{10}$  en la atmósfera, las concentraciones de  $\text{PM}_{2.5}$  aparecen en SIMAT en el informe de visibilidad atmosférica, como un factor que influye en la disminución de la visibilidad, junto con otros agentes como el alto contenido de humedad en el aire, la formación de niebla, neblina y la presencia de nubes bajas. La información disponible en la página de internet, indica que estas partículas finas tienen cinco tipos de componentes que contribuyen a la disminución de la visibilidad: sulfatos, nitratos, carbono orgánico, carbono elemental y el polvo del suelo, aquí se hace evidente la parte orgánica e inorgánica que las constituyen, pero en ningún apartado se hace referencia a los HAP integrados a la parte orgánica (SIMAT 2010).

En cuanto a la determinación de algunas especies de hidrocarburos, el SIMAT cuenta con 3 equipos denominados DOAS (Diferential Optical Absorption System) y con cinco instrumentos para la medición continua de los hidrocarburos totales.

En México existe una norma técnica que establece el método de medición y el procedimiento para calibrar los equipos de medición de las PST, es la NOM-035-SEMARNAT-1993 "Que establece los Métodos de Medición para Determinar la Concentración de Partículas Suspendidas Totales en el Ambiente y el Procedimiento para la Calibración de los Equipos de Medición". Pero para las  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$  no hay ninguna norma oficial de análisis, por lo que las técnicas y métodos que se emplean están basados con la USEPA.

En la actualidad aún se presentan concentraciones de PST que rebasan los límites permisibles, no obstante es evidente el decremento de este contaminante en la ZMVM. La tendencia de partículas, de acuerdo a los archivos de SIMAT se presenta de la siguiente figura:

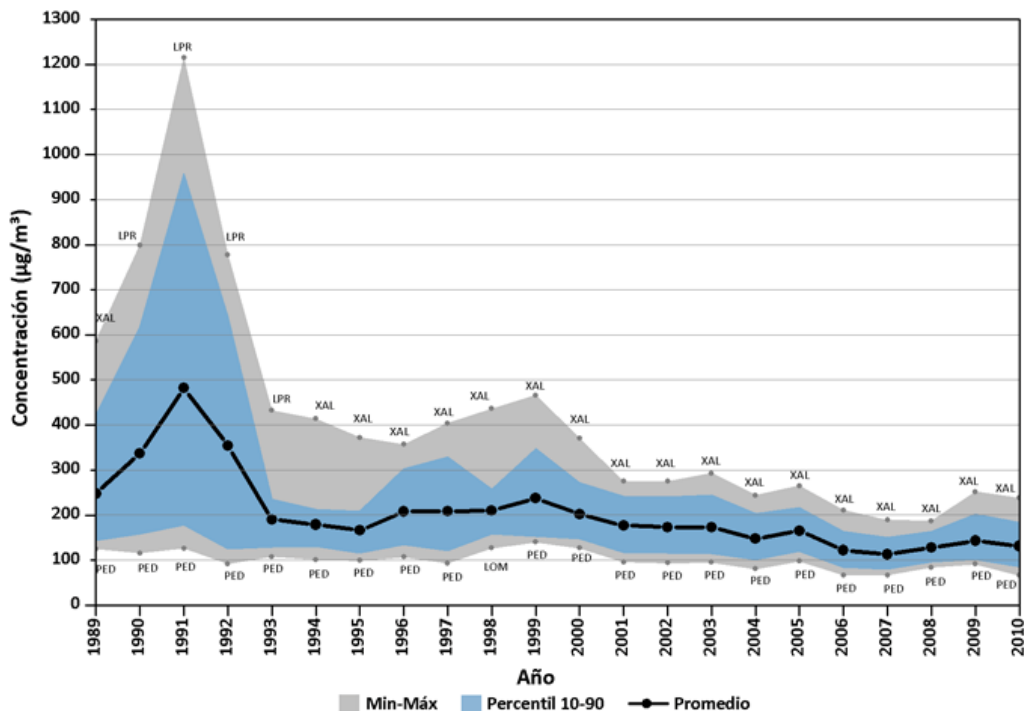


Figura 7 Gráfica de tendencia promedio de PST con datos superiores e inferiores de estaciones de muestreo RAMA.

Fuente: *página internet SIMAT-Recursos Técnicos-Monitoreo-Situación de las partículas en la ZMCM (imagen de 2011)*

En el año 2007 se registraron las concentraciones más bajas alcanzadas en los últimos años. Los niveles más altos en los últimos años fueron en la estación de Xalostoc y los mínimos en la del Pedregal. La norma de referencia para todo el material particulado es la Modificación a la NOM-025-SSA1-1993 publicada el 26 de septiembre de 2005, que aplica a PST,  $\text{PM}_{10}$  e incluye  $\text{PM}_{2.5}$ .

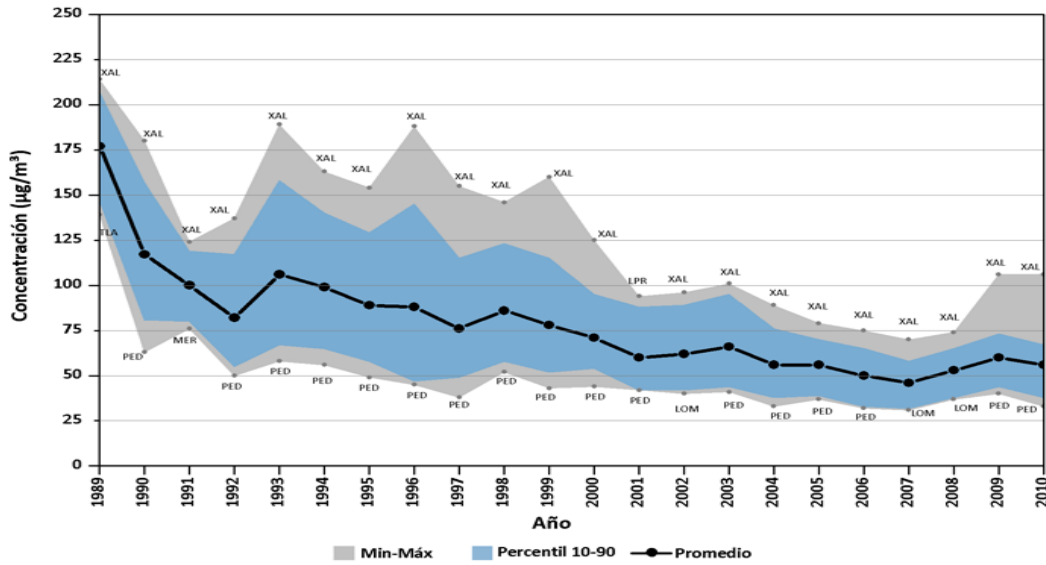


Figura 8 Gráfica de tendencia promedio de PM<sub>10</sub> con datos superiores e inferiores de estaciones de muestreo RAMA.  
Fuente: página internet SIMAT-Recursos Técnicos-Monitoreo-Situación de las partículas en la ZMCM (imagen de 2011)

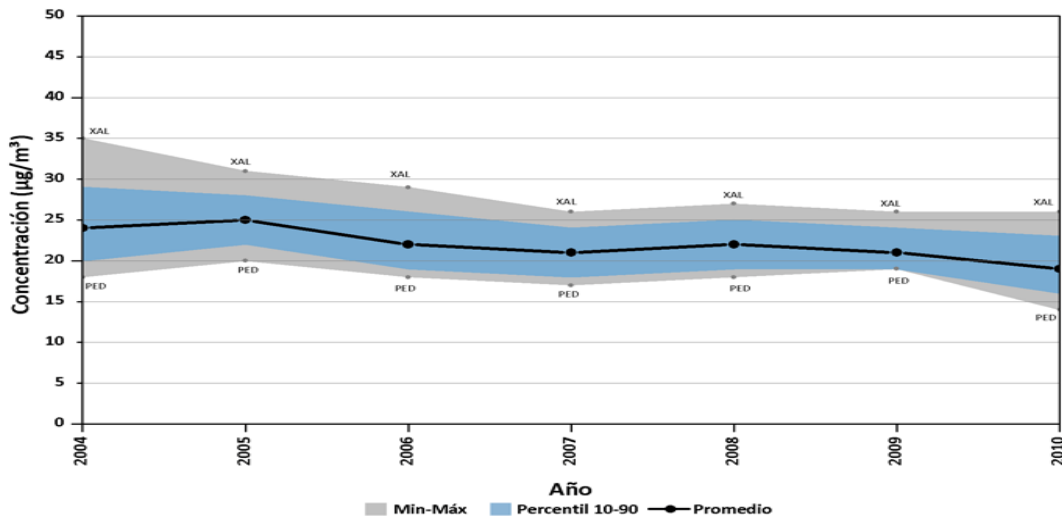


Figura 9 Gráfica de tendencia promedio de PM<sub>2.5</sub> con datos superiores e inferiores de estaciones de muestreo RAMA.  
Fuente: página internet SIMAT-Recursos Técnicos-Monitoreo-Situación de las partículas en la ZMCM (imagen de 2011)

Las PM<sub>2.5</sub> registradas desde el 2004, se encuentran por encima de los valores seguros para proteger a la población.





## 4.2 Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos

Existe una gran variedad de sustancias químicas que se emiten o se forman en la atmósfera. Entre ellas, se encuentran los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), los compuestos orgánicos volátiles (COV), las dioxinas, los bifenilos, los bencenos clorados y metales como Pb, Cd y Hg. La mayoría de estas sustancias son persistentes (resisten a la degradación del ambiente), bioacumulables (se acumulan en los tejidos de organismos vivos) y tóxicas, lo que representa un riesgo a la población expuesta, que además tienen un posible riesgo carcinogénico, alteran el sistema hormonal y se asocian a los trastornos del sistema respiratorio (Translation Localization Globalization, 2011).

En 1999 la Organización Mundial de la Salud instauró en Europa un grupo de trabajo para evaluar los riesgos a la salud que representan los contaminantes orgánicos persistentes en la atmósfera, que representan un problema a largo plazo. Estos se conocen por sus siglas en inglés como “Persistent Organic Pollutants” (POP), son contaminantes orgánicos de origen antropogénico, resistentes a la degradación y acumulación en la cadena alimenticia. Pueden transportarse por largas distancias extendidas a través de la Tierra, incluyendo regiones donde nunca se han usado, con la característica ineludible de tener alta toxicidad. A nivel internacional se consideran trece grupos de estos POP de los cuales se mencionan entre otros a: pentaclorofenol, DDT, hexaclorociclohexanos, hexaclorobencenos, heptacloro, dibenzo-p-dioxinas policloradas y dibenzofuranos, bifenilos policlorados, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), terfenilos policlorados, etc. La evaluación de estudios científicos permite ponderar los riesgos a la salud que representan estos contaminantes en la atmósfera (WHO 2003).

La presente tesis destaca el estudio de los HAP en la atmósfera, enfatizando el compromiso que adquieren los estudios epidemiológicos basados en la exposición por inhalación y trabajo ocupacional (Föster 2008), indicando un riesgo y perjuicio a la salud, resaltando cáncer en el pulmón (Boogaard 2008).

Los HAP son un grupo de compuestos formados de dos o más anillos aromáticos (fusionados) producidos cuando la materia orgánica, con carbono e hidrógeno, se expone a temperaturas que exceden los  $700^{\circ}\text{C}$ , como los procesos pirolíticos y de combustión incompleta. Los HAP cancerígenos en la atmósfera están asociados principalmente al material particulado, sin embargo también se pueden presentar en la fase gaseosa (WHO 2003). La presencia de estos compuestos puede ser a nivel rural, urbano, intra y



extramuros. Los incendios forestales y los volcanes originan de manera natural los HAP en el aire. A nivel mundial, la quema de madera en casas es el más amplio origen de los HAP en la atmósfera; pero otro importante origen antropogénico fijo incluye la generación industrial, la incineración, la producción de asfalto, carbón, coque, desintegración o “cracking” del petróleo, la producción de aluminio (WHO 2003). La presencia de HAP, por origen móvil, la tenemos en los escapes de vehículos con motores que funcionan con gasolina y diesel. Las fuentes de emisión estacionarias de origen humano representan el 80% de las emisiones y el resto de origen móvil. La emisión de los HAP durante los procesos y producción industrial, en los países desarrollados, no es tan importante en comparación con la liberación de los HAP a partir de la combustión incompleta, de los sistemas cerrados y proceso de reciclado. La contaminación por los HAP puede variar en la atmósfera de país a país y no se tiene estimado de tendencia de emisión en muchos países a la fecha. En países europeos la emisión disminuyó desde hace 30 o 40 años debido a la sustitución del uso de leña por aceite y gas (WHO 2003).

Las propiedades fisicoquímicas de los HAP varían individualmente. Algunas de sus propiedades y su clasificación por número de clase tomando en cuenta el promedio de vida media expresada en horas, de acuerdo a su presencia en aire, agua, suelo y sedimento, como espacios en el ambiente, se presentan en las tablas 1 y 2.

Mientras que las propiedades fisicoquímicas de los HAP pueden variar de un compuesto a otro, la propiedad semi-volátil los hace altamente móviles a través del ambiente transportándose largas distancias y distribuyéndose entre el aire, el suelo y el agua.

Los HAP de dos y tres anillos (naftaleno, acenafteno, antraceno, fluoreno y fenantreno) están presentes en la fase vapor. Los HAP que tienen cuatro anillos (fluoranteno, pireno) existen tanto en el vapor, como en la parte particulada y los HAP con cinco o más anillos (BaP, benzo[*ghi*]perileno, benzo[*c*]fenantreno, criseno, benzo[*b*]fluoreno, etc. ) están principalmente en la fase particulada. Cerca del 90-95% de los HAP que se encuentran en la fase particulada, están asociados a las partículas con diámetros aerodinámicos  $<3,3 \mu\text{m}$  (WHO 2003).

**Tabla 6 Propiedades fisicoquímicas de los hidrocarburos aromáticos policíclicos**

Compuesto	Punto de fusión (°C)	Punto de ebullición (°C)	Presión de vapor (Pa a 25°C)	n-Octanol:agua coeficiente de partición (log Ko/a)	Solubilidad en agua a 25°C ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Constante de Henry a 25°C (kPa)
Acenaftileno	92-93	279	$8,9 \times 10^{-1}$	4,07	-	$1,14 \times 10^{-3}$
Acenafteno	95	295	$2,9 \times 10^{-1}$	3,92	$3,93 \times 10^3$	$1,48 \times 10^{-2}$
Fluoreno	115-116	340	$8,0 \times 10^{-2}$	4,18	$1,98 \times 10^3$	$1,01 \times 10^{-2}$
Fenantreno	100,5	342	$1,6 \times 10^{-2}$	4,6	$1,29 \times 10^3$	$3,98 \times 10^{-3}$
Antraceno	216,4	375	$8,0 \times 10^{-4}$	4,5	73	$7,3 \times 10^{-2}$
Fluoranteno	108,8	393	$1,2 \times 10^{-3}$	5,22	260	$6,5 \times 10^{-4}$
Pireno	150,4	400	$6,0 \times 10^{-4}$	5,18	135	$1,1 \times 10^{-3}$
Benzo[a]antraceno	160,7	448	$2,8 \times 10^{-5}$	5,61	14	-
Criseno	253,8	481	$8,4 \times 10^{-5}$	5,91	2,0	-
Benzo[b]fluoranteno	168,3	480	$6,7 \times 10^{-5}$	6,12	1,2(20°C)	$5,1 \times 10^{-5}$
Benzo[j]fluoranteno	165,4	480	$2,0 \times 10^{-6}$	6,12	2,5	-
Benzo[k]fluoranteno	215,7	496	$1,3 \times 10^{-8}$	6,84	0,76	$4,4 \times 10^{-5}$ (20°C)
Benzo[a]pireno	178,1	536	$7,3 \times 10^{-7}$	6,50	3,8	$3,4 \times 10^{-5}$
Indeno[1,2,3-cd]pireno	163,6	524	$1,3 \times 10^{-8}$	6,58	62	$2,9 \times 10^{-5}$ (20°C)
Dibenzo[ah]antraceno	266,6	594	$1,3 \times 10^{-8}$	6,50	0,5(27°C)	$7 \times 10^{-6}$
Dibenzo[a]pireno	282	525	$3,2 \times 10^{-10}$	7,30	0,17	$4,31 \times 10^{-6}$
Coroneno	439	-	$2 \times 10^{-10}$	-	5,4	0,14

Fuente: Original WHO 1998, WHO Europe, Chap. 8 p. 145 (2003)



**Tabla 7 Clases por vida media sugeridas para los HAP en diferentes sitios**

Contaminante	Categorías de vida media			
	Aire	Agua	Suelo	Sedimento
<b>Acenaftileno</b>	2	4	6	7
<b>Acenafteno</b>	-	-	-	-
<b>Fluoreno</b>	2	4	6	7
<b>Fenantreno</b>	2	4	6	7
<b>Antraceno</b>	2	4	6	7
<b>Fluoranteno</b>	3	5	7	8
<b>Pireno</b>	3	5	7	8
<b>Benzo[a]antraceno</b>	3	5	7	8
<b>Criseno</b>	3	5	7	8
<b>Benzo[b]fluoranteno</b>	-	-	-	-
<b>Benzo[j]fluoranteno</b>	-	-	-	-
<b>Benzo[k]fluoranteno</b>	3	5	7	8
<b>Benzo[a]pireno</b>	3	5	7	8
<b>Indeno[1,2,3-cd]pireno</b>	-	-	-	-
<b>Dibenzo[ah]antraceno</b>	3	5	7	8
<b>Dibenzo[a]pireno</b>	-	-	-	-
<b>Coroneno</b>	-	-	-	-

Clase	Vida Media (h)		Clase	Vida Media (h)	
	Promedio	Rango		Promedio	Rango
1	17	10-30	5	1 700	1000-3 000
2	55	30-100	6	5 500	3 000-10 000
3	170	100-300	7	17 000	10 000-30 000
4	550	300-1000	8	55 000	>30 000

Fuente: Original WHO 1998, WHO Europe, Chap. 8 p. 145 (2003)



Las partículas con diámetro entre 0,1 y 3  $\mu\text{m}$  contienen la mayoría de los HAP y tienen tiempos de residencia atmosférica hasta por algunos días, por lo que alcanzan largas distancias, además su degradación en la atmósfera no es fácil, ya que al estar dentro o sobre la superficie de las partículas, la degradación debida por radicales libres como el OH, no es significativa (WHO 2003).

Hay dos tipos de reacciones de los HAP ad y/o absorbidos a las partículas, los gases oxidantes como  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$  y  $\text{SO}_3$  que actúan con los HAP y el otro tipo es la oxidación de los HAP por efecto de la radiación solar. (WHO 2003). La formación de los nitro-HAP se da a partir de las reacciones en la fase gaseosa del fluoranteno y pireno con el radical libre OH en presencia de  $\text{NO}_x$ . A partir de la segunda mitad de la década de los 70 fueron confiables los resultados de medición de estos compuestos, ya que antes había muchas diferencias en el muestreo y procedimientos de análisis. El tiempo de vida media de los HAP puede ser de pocos minutos o prolongarse por una semana, siendo esto más común en invierno (WHO 2003).

Considerando que no se han estudiado ampliamente muchos de los HAP, es común sustentar la toxicidad relacionada con el benzo[a]pireno (BaP), siendo a la fecha el hidrocarburo aromático policíclico más estudiado y dado que es representativo de efectos para los compuestos de este grupo, se acostumbra expresar los impactos ocasionados por los HAP en términos de equivalencia tóxica con el BaP.

Teniendo en cuenta el tiempo de vida media y el transporte de los HAP, se asumió que en Europa la concentración promedio anual de BaP en la mayoría de los países europeos, puede estar en  $0,1 \text{ ngm}^{-3}$  en un área que incluye del este de Francia a los Urales y del sur de Escandinavia hasta Grecia y Sicilia. Niveles altos de  $0,5\text{-}6 \text{ ngm}^{-3}$  se encuentran en áreas de alta emisión. La suma de todos los HAP en Europa se estableció como promedio en  $50 \text{ ngm}^{-3}$  para el año 1999 (WHO, 2003). La EPA no ha publicado un valor de potencia definitivo para el BaP, por lo que se tiene una estimación provisional de riesgo por inhalación de  $2,1 \text{ ngm}^{-3}$  y se estima que para México se tiene una potencia de  $0,3 \text{ ngm}^{-3}$ , si se considera que la mezcla de HAP en la ZMCM es similar a los Estados Unidos. A partir de los estudios de HAP adheridos a partículas en la ZMCM es admisible una concentración promedio de la suma de todos, de  $50 \text{ ngm}^{-3}$ , tal vez con un margen de error entre 4 y 6 por ciento (Molina 2005).

El ilimitado alcance que tiene la contaminación del aire a través de su trayectoria, deriva en un alto grado de exposición a los humanos; los alimentos primarios (sin ser procesados durante su elaboración) no contienen altos niveles de HAP, sólo tienen índices similares a los que contiene el suelo donde se constituyeron, sin embargo los HAP son generados cuando se someten a procesos de rostizado, asado, dorado y horneado. Los niveles de HAP individuales en carne, pescado, productos lácteos, grasa animal y vegetal y aceites se encuentran entre  $0,01-10 \mu\text{gkg}^{-1}$ . Concentraciones arriba de  $100 \mu\text{gkg}^{-1}$  y  $96 \mu\text{gkg}^{-1}$  se encuentran en carne ahumada y pescado ahumado respectivamente (WHO 2003).

#### 4.2.1 Evidencias de Riesgos a la Salud

Los HAP son altamente liposolubles, como muchas otras sustancias xenobióticas (se dice a compuestos con estructura química poco frecuente o inexistente) son transportadas a través de las membranas internas, constituidas por lipoproteínas en las células de los mamíferos. La toxicocinética de los HAP en el organismo, incluye las fases de absorción, distribución, metabolismo y excreción. En los humanos la mayoría de las rutas de ingestión de los HAP es a través de pulmones y tracto respiratorio, después de la inhalación con el aerosol; pero también se ingieren en tracto gastrointestinal después de la ingestión de alimentos o agua contaminada y en la piel como resultado del contacto con materiales con HAP. Sin embargo los HAP son principalmente absorbidos con las partículas, después de la depositación en los conductos aéreos del tracto respiratorio, las partículas más grandes pueden ser eliminadas de los bronquios, con la colaboración de los cilios que se encuentran en la mucosa, y evitan que entren partículas extrañas a los pulmones; pero los HAP adheridos a las partículas más pequeñas no son removidos durante su transporte a través de la mucosa ciliada, penetrando al epitelio bronquial, donde son metabolizados (Calderón 1998). Independientemente de la ruta de administración, los HAP se distribuyen rápida y extensamente en el organismo; la distribución seguida de la inhalación es muy similar, para los diferentes HAP, depositándose en los intestinos ciego y delgado, tráquea, riñones y estómago, como lo han demostrado estudios realizados en ratas, después de una exposición por inhalación a  $4,8 \text{mgm}^{-3}$  de BaP, por espacio de 3 h a 4 semanas. El metabolismo de los HAP ocurre en todos los tejidos, la estructura similar de los HAP contribuye a que su biotransformación sea semejante. El metabolismo del BaP se puede usar como modelo para otros HAP como el benzo[a]antraceno, criseno y dibenzo[ah]antraceno y el metabolismo del



benzo[*b*]fluoranteno como modelo para benzo[*k*]fluoranteno, benzo[*j*]fluoranteno e indeno[1,3,3-*cd*]pireno, debido a la semejanza de estructura química entre ellos (WHO 2003). Los HAP se metabolizan inicialmente por el citocromo microsomal P-450 y su enzima CYP1A1 parece ser la única para metabolizar una amplia variedad de HAP, produciendo epóxidos, que espontáneamente se transforman a fenoles, hidratados a dihidrodioles en una reacción catalizada por la epoxi-hidrolasa, que a su vez los transforma a epoxi dihidrodioles, siendo los más comunes el 1 y el 5 hidroxiderivados. La mayoría de los metabolitos de los HAP se excretan por las heces y la orina, aunque no se descarta que una pequeña cantidad, de una dosis administrada de un hidrocarburo sin sustituir, pueda aparecer como bióxido de carbono en el aire exhalado (WHO, 2003).

Los efectos en la salud humana se han estudiado a partir del trabajo con personas voluntarias expuestas al ambiente o a los centros de trabajo donde laboran expuestos a los HAP, generalmente también con voluntarios. Con respecto a exposiciones laborales, en las plantas procesadoras de aluminio, los trabajadores expuestos muestran síntomas como asma, funciones anormales del pulmón y bronquitis crónica. Los trabajadores de plantas de coque, se ha encontrado presentan decremento en los niveles de suero-inmunoglobulinas y en la función inmune (WHO, 2003).

El efecto tóxico de la mayoría de las exposiciones a HAP es cáncer, sobre todo en el pulmón. La exposición ocupacional al hollín como causante de cáncer escrotal, se detectó por vez primera en 1775. Los HAP inducen cáncer de piel, pero este efecto disminuyó a través de la historia, al mejorar los hábitos de higiene personal (WHO, 2003).

### Metabolismo general de los HAP

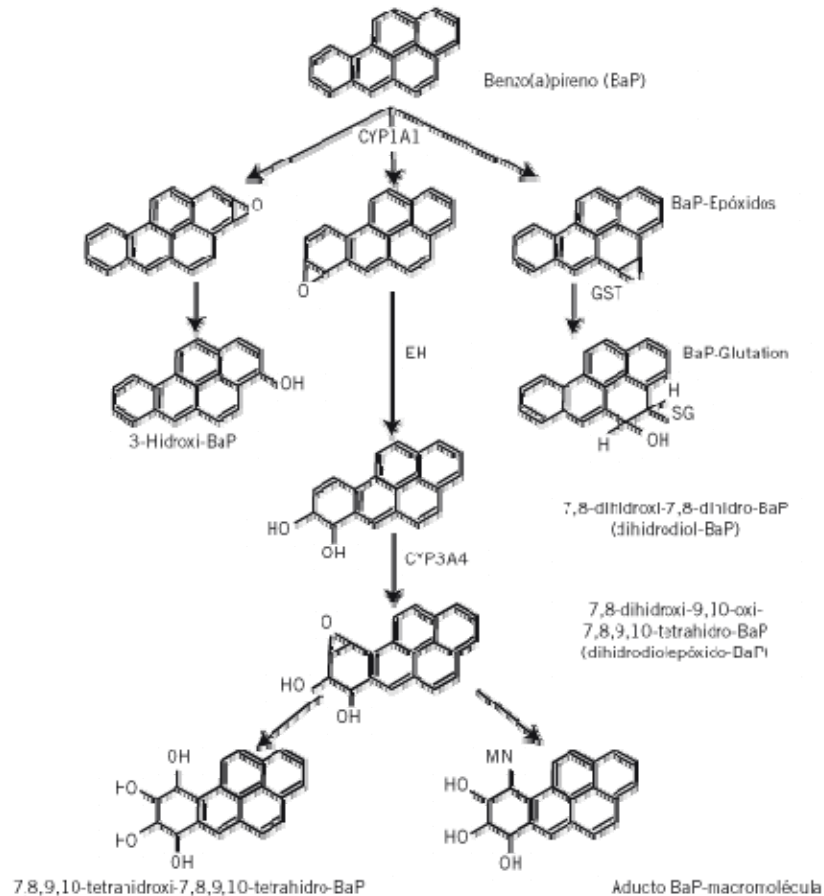


Figura 10 Representación esquemática del metabolismo del benzo(a)pireno en humanos . EH: Epóxido hidrolasa. GST: Glutacion-S-Transferasa (Mastandrea 2005)

En principio, la evaluación de los riesgos de cáncer por HAP en el aire pueden ser desarrollados desde dos enfoques: uno es evaluar los riesgos de un HAP individual determinado en experimentos con animales y el otro enfoque es usar el BaP como indicador de una mezcla de HAP cancerígenos en aire y observar la relación dosis-respuesta en estudios epidemiológicos. Se debe tener plena conciencia que las combinaciones de los HAP en el ambiente son mezclas complejas, lo que hace necesario establecer factores de potencia y equivalencia tóxica (Potential Equivalency Factor, PEF, por sus siglas en inglés) para los HAP. La Tabla 3 muestra los PEF-ajustados, en donde se determina el riesgo de cáncer a través de la concentración medida y el PEF asignado a cada HAP (WHO 2003).



**Tabla 8 Aplicación de PEF a HAP datos de Riverside, California**

HAP	Concentración medida ( $\text{pgm}^{-3}$ )	PEF	PEF-concentración ajustada ( $\text{pgm}^{-3}$ )
Benzo[a]pireno	36,0	1,0	36
Benzo[a]antraceno	39,0	0,1	3,9
Benzo[b+j+k]fluorantenos	360,0	0,1	36,0
Dibenzo[ae]pireno	1,7	1,0	1,7
Dibenzo[ah]pireno	$<0,5$ <sup>a</sup>	10,0	$<5$
Dibenzo[ai]pireno	$<0,5$ <sup>a</sup>	10,0	$<5$
Dibenzo[a]pireno	18,0	10,0	180,0
Indeno[1,2,3-cd]pireno	87,0	0,1	8,7
Criseno	61,0	0,01	0,61
Dibenzo[a,h+a,c]antraceno	8,2	0,1 <sup>b</sup>	0,82
1-Nitropireno	4,4	0,1	0,44
2-Nitrofluoranteno	36,0	0,01	0,36
2-Nitrofluoreno	0	0,01	0
<b>Total HAP cancerígenos</b>	<b>651,3</b>		<b>268,53</b>

<sup>a</sup> No incluido<sup>b</sup> Se asume PEF igual para ambos dibenzoantracenosFuente original Collins *et al.*(1998). Presentada en *WHO Europe (2003)*, Cap. 8 pág. 168

Desafortunadamente no se tienen datos de PEF para todos los HAP. Se debe considerar que la potencia relativa depende de la ruta de inhalación y de exposición.

Los efectos en humanos de los contaminantes cancerígenos del aire, se evalúan por la determinación de valores guía, en el que se considera una evaluación cuantitativa y otra cualitativa. La primera aplica el modelo Unidad de Riesgo, que es el riesgo adicional de cáncer, durante la vida de una persona en una población hipotética, cuyos individuos estén expuestos continuamente desde su nacimiento, a una concentración de  $1 \text{ ngm}^{-3}$  del contaminante. Las unidades de riesgo permiten comparar el potencial cancerígeno de



diferentes contaminantes. Los valores guía recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para contaminantes cancerígenos del aire son:

**Tabla 9 Valores guía recomendados por la OMS para contaminantes cancerígenos del aire**

Contaminante	Efectos sobre la salud	Unidad de riesgo ( $\text{mgm}^{-3}\text{-}^{-1}$ )	Clasificación IARC
<b>Acrilonitrilo</b>	Cáncer en pulmón en trabajadores	$2 \times 10^{-5}$	2A
<b>Arsénico</b>	Cáncer al pulmón en humanos	$2 \times 10^{-5}$	1
<b>Benceno</b>	Leucemia en trabajadores expuestos	$(4,4-7,5) \times 10^{-6}$	1
<b>Benzo[a]pireno</b>	Cáncer al pulmón en humanos	$8,7 \times 10^{-2}$	2A
<b>Escape de motores Diesel</b>	Cáncer al pulmón en ratas	$(1,6-7,1) \times 10^{-5}$	2A
<b>Humo tabaco</b>	Cáncer al pulmón en humanos	$10^{-3}$	

Fuente: <http://organización mundial de la salud>. Valores de Calidad del Aire Parte 2 Niveles Guía, consulta abril, 2011.

La Tabla 9 nos permite ver que la unidad de riesgo para el benzo[a]pireno es grande si la comparamos con el humo de tabaco y el escape de motores que utilizan diesel. La evaluación cualitativa, hace referencia al grado de probabilidad de que el contaminante sea cancerígeno humano. Los criterios de clasificación de acuerdo a IARC (Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer) dividen a los contaminantes en 3 grupos:

- Grupo 1: comprobados cancerígenos en humanos



- Grupo 2: probables cancerígenos en humanos
  - Grupo 2A: evidencia limitada de carcinogenicidad en humanos
  - Grupo 2B: evidencia insuficiente de carcinogenicidad en humanos
- Grupo 3: productos químicos no clasificados como cancerígenos

Es importante señalar que no hay estudios epidemiológicos que demuestren que la exposición al benzo[a]pireno, tiene efectos cancerígenos en humanos, pero si hay evidencia que la brea de carbón, que lo contiene, sí es cancerígena (WHO 2003). Las similitudes del metabolismo del benzo[a]pireno en humanos y en células de ratón *in vitro* han sido investigadas (Martin 2007), sin embargo los riesgos en humanos no han sido completamente evaluados. La relevancia de estos hallazgos para valorar el riesgo en humanos no ha podido aún estar completamente evaluada. De acuerdo a la clasificación general que tiene la IARC (1998), este compuesto está clasificado dentro del grupo 2A y 2B para EPA, lo que significa que es probablemente cancerígeno para humanos. Esta categoría es usada cuando hay evidencia limitada de que provoque cáncer en humanos y evidencia suficiente de ser cancerígeno en animales experimentales. Además, entre los efectos para humanos/mamíferos de que son cancerígenos, algunos HAP incluso ejercen también efectos mutagénicos (IARC 1998). En mezclas que contienen los HAP, como el hollín, se clasifica claramente cancerígenos (grupo 1), la siguiente tabla muestra esta clasificación establecida por IARC.



**Tabla 10 IARC agrupaciones de HAP, mezclas de HAP y derivados de HAP**

Grupo 1	Grupo 2A	Grupo 2B
Carbón-tar-campos	Benzo[a]antraceno	Benzo[b]fluoranteno
Carbón-tars	Benzo[a]pireno	Benzo[j]fluoranteno
Producción de coke	Creosotas	Benzo[k]fluoranteno
Aceites minerales	Dibenzo[ah]antraceno	Extractos de carbón negro
Aceites de esquisto		Dibenzo[ah]acridino
Hollín		Dibenzo[a]acridino
Humo tabaco		7H-Dibenzo[cg]carbazol
		Dibenzo[ae]pireno
		Dibenzo[ah]pireno
		Dibenzo[a]pireno
		Dibenzo[a]pireno
		Indenol[1,2,3-cd]pireno
		5-Metilcriseno
		5-Nitroacenafteno
		1-Nitropireno
		4-Nitropireno
		1,6-Dinitropireno
		1,8-Dinitropireno
		6-Nitrocriseno
		2-Nitrofluoreno

Fuente: Collins *et al.* (1998). Presentada en WHO Europe (2003). Cap. 8 p. 170

En un análisis de la EPA sobre riesgos de cáncer por tóxicos atmosféricos, utilizando el enfoque de equivalencia toxicológica, se estimó la potencia de los HAP atmosféricos en Estados Unidos igual a 16% de la potencia de benzo[a]pireno (Molina 2005).



Existen varios métodos que evalúan los niveles de exposición ambiental u ocupacional a los HAP. Uno de los más usados es la determinación de sus metabolitos, siendo el 1-hidroxipireno (1-HP), en orina el más ampliamente analizado .

Los efectos genotóxicos de los HAP han sido determinados en pruebas para mutagenicidad, en orina y heces. Además se detectan por formación de micronúcleos, aductos de BaP con DNA en linfocitos periféricos y otros tejidos y con proteínas tales como albúmina (WHO 2003).

Los metabolitos en la orina como el 1-HP, introducido como un biomarcador de exposición a los HAP por Jongeneelen *et. al* (1986) tiene la ventaja de que el pireno está presente en todas las mezclas de los HAP en relativamente altas concentraciones y al metabolizar puede detectarse en la orina. El 1-HP se usa como biomarcador por ser sensible a niveles bajos, además una gran ventaja es que la determinación es fácil y rápida, por lo que se usa en estudios epidemiológicos. El contenido mutagénico en orina para las personas expuestas a HAP ha sido ensayada por la Prueba de Ames, aunque esta prueba no es muy sensible cuando los niveles de HAP son bajos. La Prueba de Ames utiliza cepas de *Salmonella Typhimurium* construidas por ingeniería genética, capaces de detectar compuestos que causan mutaciones genéticas por dislocamiento del cuadro de lectura (frameshift, su denominación en inglés) o por sustitución de pares de ADN (WHO, 2003).

Los aductos de ADN son complejos que se forman cuando un compuesto químico, se une a una molécula biológica como el ADN o a proteínas, esto es lo que permite medir la exposición a sustancias extrañas. Aductos de ADN con metabolitos reactivos (principalmente diol-epóxidos) de BaP y otros HAP se han identificado en numerosos estudios. Por ejemplo los fumadores de cigarrillos tienen altos niveles de aductos con HAP en sus pulmones, en comparación con los no fumadores. Este método permite la identificación de personas susceptibles a que su ADN se altere por los HAP y por lo tanto estén predispuestos a padecer cáncer en pulmón. Los grupos de trabajo mexicanos, están contribuyendo de manera significativa con las investigaciones que se están haciendo a nivel internacional sobre el tema de la contaminación, material particulado en el aire, compuestos orgánicos adheridos a él, además de todos los riesgos y efectos que representan para la población y ambiente. La siguiente tabla resume algunos estudios realizados a partir de 1995, que muestran hallazgos significativos que refuerzan y resaltan la importancia de incluir a la materia orgánica extraída y a los HAP adheridos a las partículas del aire.



**Tabla 11 Algunos estudios realizados desde 1995 sobre material particulado**

Referencia	Hallazgos
<p>Título: <b>Effects of Air Pollution on the Respiratory Health of Asthmatic Children Living in Mexico City</b></p> <p>Estudio: <b>Epidemiológico</b></p> <p>Autor: <b>Romieu <i>et al.</i> (1996)</b></p>	<p>El efecto del aumento de <math>\text{PM}_{10}</math> y <math>\text{PM}_{2.5}</math> en el aire disminuyó la salud de niños escolares (5 a 7 años), con casos ligeros de asma en Norte de la Ciudad de México (Xalostoc). Se les midió la velocidad máxima de flujo respiratorio y presentaron síntomas de tos, flemas y dificultad para respirar. Durante el estudio los niveles permitidos de partículas fueron excedidos frecuentemente.</p>
<p>Título: <b>Assessing the Health Benefits of Reducing Particulate Matter Air Pollution in the United States</b></p> <p>Estudio: <b>Estadístico y económico</b></p> <p>Autor: <b>Ostro, B. <i>et al.</i> (1998)</b></p>	<p>Análisis de los costos-beneficios que representó la reducción anual de <math>\text{PM}_{10}</math> y <math>\text{PM}_{2.5}</math> en EUA durante 1994-1996. La metodología para evaluar los beneficios en la salud tuvo cuatro componentes: la relación cuantitativa entre concentración-ambiente y respuesta-salud; el tamaño e identificación de la población susceptible; el cambio proyectado entre “actual-objetivo” de concentración de contaminantes y el valor económico de los efectos de la reducción en la salud, reflejados en disminución de visitas a sala emergencia, mortalidad, incidencia de enfermedades crónicas, etc.</p>
<p>Título : <b>Ozone, Suspended Particulates, and Daily Mortality in Mexico City</b></p> <p>Estudio: <b>Epidemiológico</b></p> <p>Autor: <b>Borja-Aburto <i>et al.</i> (1997)</b></p>	<p>Estudio de los efectos del ozono y de las partículas suspendidas presentes en la Ciudad de México durante 1990-1992 con las enfermedades respiratorias y la mortalidad. Se modeló simultáneamente el efecto de todos los contaminantes y sólo las partículas suspendidas tuvieron un efecto significativo con incremento del 6% de mortalidad por el aumento <math>100 \mu\text{g}/\text{m}^3</math> en partículas <math>\text{PM}_{10}</math>. Esta relación fue consistente en toda la ciudad.</p>
<p>Título : <b>Nasal Epithelium as a Sentinel for Airborne Environmental Pollution</b></p> <p>Estudio: <b>Toxicológico</b></p> <p>Autor: <b>Calderón-Garcidueñas <i>et al.</i> (1998)</b></p>	<p>Partiendo del que el sur de la Ciudad de México está sometido a niveles significativos de partículas en el aire, HAP e hidrocarburos alcanos. La nariz es el primer contacto del tracto respiratorio con el ambiente al momento de inspirar, representando esto un riesgo para cambios patológicos, inclusive cáncer. Los resultados del estudio sugieren que las lesiones nasales en los residentes de la ciudad son resultado de muchos contaminantes potencialmente tóxicos y/o cancerígenos. El epitelio nasal es un “valioso centinela” a la exposición de todas las sustancias que puede ser fácilmente monitoreado y por tanto detectar a tiempo cualquier alteración en su tejido.</p>



<p>Título :</p> <p><b>Chemical Composition of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> in Mexico City during Winter 1997</b></p> <p>Estudio:</p> <p><b>Químico ambiental</b></p> <p>Autor:</p> <p><b>Chow et al. (2001)</b></p>	<p>Las PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> fueron muestreadas por intervalos de 24 h en 6 sitios y 25 sitios satélites alrededor de la ciudad del 23 de febrero al 22 de marzo de 1997. Los lugares intentaron representar porciones de área rural, central, comercial, residencial e industrial de la ciudad. Se determinaron en todas las muestras, concentraciones de masa y transmisión de luz; en 2/3 de las muestras se midieron sólo elementos, iones y carbono. La mayoría de la masa del MP estuvo compuesta de carbono, sulfato, nitrato de amonio y componentes terrestres en varias proporciones. La composición de las PM<sub>2.5</sub> fue ~50% aerosol carbonoso, ~30% aerosol inorgánico y ~15% material geológico. Para las PM<sub>10</sub> el material geológico es el mayor componente ~50%, seguido por el aerosol carbonoso ~32% y ~17% del aerosol inorgánico.</p>
<p>Título :</p> <p><b>Comparison of different methods for measuring dry deposition fluxes of particulate matter and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH<sub>s</sub>) in the ambient air</b></p> <p>Estudio:</p> <p><b>Atmosférico ambiental</b></p> <p>Autor:</p> <p><b>Shannigrahi et al. (2004)</b></p>	<p>Partículas del ambiente fueron colectadas usando un muestreador de aire de alto volumen, para medir los flujos de depositación atmosférica por tres métodos diferentes (cubeta, placa y recipiente de agua) y también a tres diferentes alturas. Para estimar las distribuciones en el tamaño de las partículas y los niveles de HAP se empleó un impactador de cascada de baja presión. Lo relevante fue comprobar que en la depositación seca de las partículas más pequeñas predominan los niveles de HAP</p>
<p>Título :</p> <p><b>Particulate size distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in motorcycle exhaust emissions</b></p> <p>Estudio:</p> <p><b>Atmosférico ambiental</b></p> <p>Autor:</p> <p><b>His-Hsien et al. (2005)</b></p>	<p>Estudio sobre la distribución y tamaño de 21 HAP en las emisiones de una motocicleta de “dos golpes”. Se encontró que en las PM<sub>2.5</sub> del total de las partículas recolectadas, se encuentran el 88,9% de HAP en cuanto a tamaño y el 89,6% en cuanto a masa. La evaluación de carcinogenicidad de los HAP se calculó a través de TEF (factor de toxicidad equivalente) con BaP equivalente encontrando que 90,3% y 92,3% de cancerogenicidad son atribuibles a las partículas más pequeñas (las que están entre 1,0 y 2,5 <math>\mu\text{m}</math> respectivamente). Los más tóxicos resultaron: Benzo[a]pireno, Indeno[1,2,3-cd]pireno y dibenzo[a,h]antraceno. De acuerdo a resultados se observa un aparente dominio del peligro que representan las partículas finas y como se sabe que son las que entran a lo más profundo del tracto respiratorio, es imperativo el control de las emisiones de las motocicletas, para aminorar los peligros a la salud.</p>
<p>Título :</p> <p><b>Mutagenicity and polycyclic aromatic hydrocarbons associated with extractable organic matter from airborne particles <math>\leq 10 \mu\text{m}</math> in the southwest Mexico City</b></p> <p>Estudio:</p> <p><b>Atmosférico ambiental</b></p> <p>Autor:</p> <p><b>Villalobos et al. (2006)</b></p>	<p>Durante 1998 fueron colectadas muestras de aire en el suroeste de la Ciudad de México para evaluar química y mutagénicamente a 17 HAP. En este estudio coincidió que se presentaran el fenómeno del “niño” e incendios, sin embargo se comprobó una alta correlación entre la cantidad de PM<sub>10</sub> y su materia orgánica extraída (MOE). Los análisis químicos fueron por CG-EM y la mutagenicidad con <i>Salmonella Typhimurium</i> cepa TA98. Los HAP más abundantes fueron: Benzo[ghi]perileno, caroneno e indeno[1,2,3-cd]pireno, lo que permitió afirmar que el principal origen de emisión para estos compuestos en esta zona fueron los vehículos de combustión con gasolina y diesel, y no los incendios por madera que hubo en esa temporada.</p>



<p>Título :</p> <p><b>Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH<sub>s</sub>) in environmental samples: a critical review of gas chromatographic (GC) methods</b></p> <p>Estudio:</p> <p><b>Análisis bioquímicos</b></p> <p>Autor:</p> <p><b>Poster <i>et al.</i> (2006)</b></p>	<p>Es un amplio estudio donde se evidencia la importancia de determinar los HAP en la atmósfera, en tejidos, sedimentos, etc., debido a los efectos adversos que tienen en la salud y la ecología. Muestra como la técnica de CG es más recomendable que otras, por ofrecer una mejor selectividad, resolución y sensibilidad, recomendando que se emplee acoplado a EM para mejores resultados. El estudio incluye tablas comparativas de los HAP analizados y sus efectos genotóxicos y cancerígenos, además sugiere materiales de referencia usados según la muestra.</p>
<p>Título :</p> <p><b>Characterization and biological effect of Buenos Aires urban air particles on mice lungs</b></p> <p>Estudio:</p> <p><b>Atmosférico Ambiental</b></p> <p>Autor:</p> <p><b>Martin <i>et al.</i> (2007)</b></p>	<p>Se evaluó la respuesta inflamatoria al instalar en conductos intranasales de ratones, partículas del aire urbano del centro de Buenos Aires, por períodos cortos de exposición. La morfología se estudio con microscopía electrónica y la composición química de las partículas por Rayos X y CG capilar. Histológicamente las partículas ambientales indujeron el reclutamiento de fagocitos, una reducción en los espacios de aire, incremento de mucosidad y debilitamiento en las fibras elásticas, causaron efectos biológicos adversos en el tracto respiratorio generando inflamación, que después produjo tejidos dañados o disfunción de órgano, pudiendo contribuir a patogénesis y enfermedades del pulmón. Se encontró que también tienen efectos citotóxicos e influencia en la producción de citoquina en células inmunológicas.</p>
<p>Título :</p> <p><b>Gas chromatographic analysis of polyaromatic hydrocarbons</b></p> <p>Estudio:</p> <p><b>Atmosférico Ambiental</b></p> <p>Autor:</p> <p><b>Tran <i>et al.</i> (2007)</b></p>	<p>Amplio estudio de caracterización de 33 HAP, incluye características, procedencia, métodos de extracción, muestreo y análisis por CG-EM (confirma las ventajas en cuanto a selectividad, resolución y sensibilidad, con respecto a HPLC) y uso de estándares en la determinación. Como se clasifican los HAP de acuerdo a efectos cancerígenos, mutagénicos y genotóxicos, coincidiendo en informar estos efectos de acuerdo a la presencia de benzo[a]pireno, por ser el más ampliamente estudiado y considerado el marcador total de los HAP.</p>
<p>Título :</p> <p><b>3-Hydroxibenzo[a]pyrene in the urine of workers with occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in different industries</b></p> <p>Estudio:</p> <p><b>Médico ocupacional</b></p> <p>Autor:</p> <p><b>Föster <i>et al.</i> (2007)</b></p>	<p>El estudio se realizó con 225 trabajadores de diferentes tipos de industrias. Hubo exposición externa e interna a los HAP. La exposición externa fue por muestreo y análisis del aire personal (se evaluaron 16 HAP). La exposición interna se examinó a través de los metabolitos urinarios: 3OH-B[a]P, 1-hidroxipireno y monohidroxiladofenantreno. El estudio propone al 3OH-B[a]P, que es un metabolito del B[a]P, como un biomarcador diagnósticamente específico y sensible para la determinación interna por exposición, se sugiere el uso de HPLC para obtener mayor sensibilidad. En los resultados finales hubo una escasa correlación entre la concentración de 3OH-B[a]P en la orina y la concentración en el aire. Esta discrepancia es causada por el posible atrapamiento de los HAP por rutas diferentes a la inhalación, como por ejemplo la piel o la boca.</p>





<p>Título : <b>Traffic-related air pollution and respiratory symptoms among asthmatic children, resident in Mexico City: the EVA cohort study</b></p> <p>Estudio: <b>Epidemiológico</b></p> <p>Autor: <b>Escamilla et al. (2008)</b></p>	<p>Síntomas respiratorios en niños asmáticos fueron asociados significativamente con la exposición al tránsito (escape de los autos) especialmente de gas natural y diesel. Se hizo un estudio “longitudinal prospectivo” para evaluar los efectos que tienen las PM<sub>2,5</sub> y el NO<sub>2</sub>, en los síntomas respiratorios entre niños asmáticos y sanos residentes del SE de la Ciudad de México. Se confirmó que los síntomas adversos como tos, dificultad para respirar y uso de broncodilatador, se incrementan con la presencia de PM<sub>2,5</sub> en el ambiente. También se observó en este estudio que los niveles permitidos por las normas mexicanas del aire para las PM<sub>2,5</sub> fueron excedidas en un 48,1% durante las 22 semanas que duró el estudio.</p>
<p>Título : <b>Urinary biomarkers in the risk assessment of PAHs</b></p> <p>Estudio: <b>Médico ocupacional</b></p> <p>Autor: <b>Boogaard (2008)</b></p>	<p>Estudio que muestra que el 3-hidroxibenzo[a]pireno, principal metabolito del benzo[a]pireno, puede ser determinado con alto nivel de confianza, en trabajadores con exposición potencial a los PAH por alimentos, aire y trabajo. La exposición externa se evaluó para series de 10 a 20 HAP incluyendo B[a]P en aire, polvo, alimentos, en las rutas o conductos donde pasa o se depositan. La exposición interna (carga corporal) se determinó en orina como 1- hidroxipireno, primer metabolito del pireno, por tener alta estabilidad termodinámica, ser muy simétrico y fácil de detectar. Sin embargo para la mayoría de las exposiciones a HAP el B[a]P y 3OH-B[a]P son mejores indicadores de potencia cancerígena.</p>
<p>Título : <b>Aliphatic, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Nitrated-Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in PM<sub>10</sub> in Southwestern Mexico City</b></p> <p>Estudio: <b>Químico Atmosférico</b></p> <p>Autor: <b>Saldarriaga et al. (2008)</b></p>	<p>Este trabajo comprueba lo que los estudios epidemiológicos han demostrado: el incremento de las partículas en el aire con diámetro aerodinámico <math>\leq 10 \mu\text{m}</math> en la atmósfera provoca un incremento en las enfermedades respiratorias, debilitamiento en el sistema inmune y daño en el tejido pulmonar. Además en estas partículas, en su parte orgánica (MOE) que representa ~13% de su masa, se han detectado HAP, nitroHAP y alcanos, que han sido considerados como probables cancerígenos para humanos. Se analiza también la relación entre contaminantes y condiciones ambientales. El artículo detalla la técnica empleada para evaluar estos compuestos, remarcando la importancia que representa su estudio, dado el alto grado de riesgo que representan para la salud humana.</p>
<p>Título : <b>Different immunomodulatory effects associated with submicrometer particles in ambient air from rural, urban and industrial areas</b></p> <p>Estudio: <b>Toxicológico</b></p> <p>Autor: <b>Wichmann et al. (2009)</b></p>	<p>Estudio de efectos inmunomodulatorios de químicos adsorbidos a partículas con diámetros aerodinámicos debajo de <math>0,49 \mu\text{m}</math> (PM<sub>0,5</sub>) colectados en invierno de 2001 en La Plata, Argentina. Los compuestos adsorbidos a las partículas fueron extractados con hexano. Para las investigaciones inmunológicas, linfocitos de la sangre periférica en humanos, fueron activados con “fitohemaglutinina” y expuestos a extractos de diluciones de sulfóxido de PM<sub>0,5</sub> por 24 h. Las partículas de menos de <math>1 \mu\text{m}</math> provienen de la combustión y procesos a altas temperaturas, son responsables en gran medida del desarrollo de alergias y cáncer, por lo que se confirma que deben ser reducidas al máximo, para alcanzar niveles mínimos posibles de exposición ambiental y por lo tanto evitar o al menos reducir los efectos adversos en la salud humana.</p>



<p>Título :</p> <p><b>Dietary intake, lung function and airway inflammation in Mexico City school children exposed to air pollutants</b></p> <p>Estudio:</p> <p><b>Epidemiológica</b></p> <p>Autor:</p> <p><b>Romieu <i>et al.</i> (2009)</b></p>	<p>En este estudio se evaluó el impacto y el potencial efecto modulador que tiene la ingestión de una dieta rica en vegetales y frutas, combinadas con dieta mediterránea en el funcionamiento del pulmón y vías respiratorias. Hubo un efecto protector en la inflamación pulmonar de niños escolares de la Ciudad de México. Se muestra que la exposición a <math>\text{PM}_{2.5}</math> y <math>\text{O}_3</math> provoca inflamación aguda de las vías respiratorias y decaimiento en la función del pulmón tanto de niños asmáticos como no asmáticos.</p>
<p>Título :</p> <p><b>Temporal variation of nitro-polycyclic aromatic hydrocarbons in <math>\text{PM}_{10}</math> and <math>\text{PM}_{2.5}</math> collected in Northern Mexico City</b></p> <p>Estudio:</p> <p><b>Atmosférico Ambiental</b></p> <p>Autor:</p> <p><b>Valle-Hernández <i>et al.</i> (2010)</b></p>	<p>Se estudió la parte orgánica de las <math>\text{PM}_{10}</math> y <math>\text{PM}_{2.5}</math> en el ambiente del Norte de la Cd. México durante 10 meses (abril 2006 a febrero 2007). La concentración de las partículas varía con la estación del año y el tamaño de la partícula. Se midieron 8 nitro-HAP y la mayor concentración fue de 9-nitroantraceno en los dos tamaños de partículas, presentándose durante la estación fría-seca. Los nitro-HAP se emiten a la atmósfera por la combustión incompleta en motores que trabajan con diesel y también se forman en la atmósfera a través de reacciones entre los HAP durante el día con radicales OH y durante la noche con <math>\text{NO}_3</math> en presencia de <math>\text{NO}_2</math>. El conocimiento de las concentraciones de estos compuestos en la atmósfera puede ayudar para la vigilancia de enfermedades cardiovasculares y riesgos de cáncer. Se ha encontrado que la potencia de los nitro-HAP, como mutágenos y cancerígenos es mayor que los HAP.</p>
<p>Título :</p> <p><b>Selective Separation of Oxy-PAH from n-Alkanes and PAH in Complex Organic Mixtures Extracted from Airborne <math>\text{PM}_{2.5}</math></b></p> <p>Estudio:</p> <p><b>Químico Ambiental</b></p> <p>Autor:</p> <p><b>Murillo <i>et al.</i> (2010)</b></p>	<p>Presenta un rápido y simple método de fraccionamiento, optimizado para separar selectivamente oxi-HAP a partir de HAP y n-alcános, contenidos en materia orgánica extraída a partir de <math>\text{PM}_{2.5}</math>. El análisis se justifica ya que los oxi-HAP y los nitro-HAP han sido reportados más tóxicos que los HAP, por tener potencia mutagénica distinta a menores concentraciones. Los oxi-HAP son emitidos por los procesos de combustión y formados en la atmósfera por reacciones fotoquímicas entre HAP y oxidantes atmosféricos (OH y <math>\text{O}_3</math>), se pueden encontrar tanto en la fase gaseosa, como en la fase particulada (<math>\text{PM}_{2.5}</math>) del aerosol atmosférico. Los n-alcános también se encuentran abundantemente en la materia orgánica, pero aunque no se han encontrado con efectos adversos a los humanos, se emplean como marcadores en emisiones biogénicas y antropogénicas.</p>
<p>Título :</p> <p><b>Influence of Traffic Emissions on the Carcinogenic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Outdoor Breathable Particles</b></p> <p>Estudio:</p> <p><b>Químico Ambiental</b></p> <p>Autor:</p> <p><b>Slezakova <i>et al.</i> (2010)</b></p>	<p>Se estudio el impacto que tienen las emisiones del tránsito sobre los HAP cancerígenos en partículas respirables en exteriores, se consideró su composición y concentración. Las muestras se tomaron en sitio con tránsito y otro de referencia, se cuantificaron 17 HAP, de los cuales 9 eran cancerígenos. Los resultados reflejaron valores de concentración de ~390% más altas que los datos de referencia, y la mayor concentración de los cancerígenos se encontró en las <math>\text{PM}_{2.5}</math>. También se encontró que los 9 HAP se incrementaron por 2400 y 3000% en <math>\text{PM}_{10}</math> y <math>\text{PM}_{2.5}</math> respectivamente, siendo que originalmente representan el 68 y 74% del total de HAP para las <math>\text{PM}_{10}</math> y <math>\text{PM}_{2.5}</math>.</p>



<p>Título : <b>Organic Compounds in Airborne Particles and their Genotoxic Effects in Mexico City</b></p> <p>Estudio: <b>Químico Ambiental</b></p> <p>Autor: <b>Villalobos-Pietrini <i>et al.</i> (2011)</b></p>	<p>Estudio de los compuestos orgánicos de origen primario y secundario que conforman el aerosol (mezcla de gases y partículas suspendidas) atmosférico de la ZMCM. Su composición es de relevante importancia debido a su impacto en el clima, procesos químicos y físicos, además de su impacto en la salud humana, con respecto a efectos mutagénicos y cancerígenos. Los HAP muestran heterogeneidad espacial alrededor de la ZMCM en mediciones “en tiempo real” y “fuera de tiempo real”. El Benzo[gh]perileno, de acuerdo a todos los estudios es el más abundante. La estación fría-seca (Noviembre-Febrero) presentó la más alta concentración de contaminantes orgánicos y la estación de lluvia (Noviembre-Febrero) mostró la menor. Actividades mutagénicas indirectas en la prueba de Ames, han mostrado correlación significativa de los HAP cuando no están mezclados con otros compuestos, sugiriendo un gran riesgo para las personas expuestas a emisiones directas fuertes.</p>
--	---

La Tabla 11 sólo muestra una parte de las investigaciones que se están realizando para evidenciar los riesgos de las personas, cuando permanecen expuestas a las  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$ , junto con la materia orgánica que se asocia a ellas (HAP, oxi-HAP y nitro-HAP). Es importante resaltar que el cumplimiento a los límites normados fue excedido durante gran parte de los estudios. Estas investigaciones demuestran los daños que causan en las células que entran en contacto con las partículas, provocando efectos irreversibles y se resaltan además, los avances tan significativos en lo que se refiere a su análisis y selectividad.

Los estudios epidemiológicos bajo condiciones ocupacionales o por exposición al ambiente, sugieren que existe una asociación entre cáncer en pulmón y exposición a HAP. La más importante ruta para contraerlo es por inhalación. La OMS considera que indicar la concentración de BaP en el aire es un buen índice del potencial cancerígeno de la fracción total. Una unidad de riesgo de BaP (tiempo de vida de exposición a una mezcla representada por  $1\text{ng}/\text{m}^3$  BaP) se estima en  $8,7 \times 10^{-5} (\text{mgm}^{-3})^{-1}$ .

Revalorando el tema general de la contaminación y sus consecuencias, es claro que este problema se hace evidente debido a que las grandes urbes como la Ciudad de México, cuentan con elevada densidad de población. Algunos de los países emergentes respaldan su gradual desarrollo económico y social en los logros obtenidos en la gestión (organización y control) de la calidad del aire y se ha comprobado que ésta, realizada eficazmente, mejora la salud pública de la población, puesto que a la contaminación se le asocia con el incremento de pacientes ambulatorios, de los ingresos a hospitales y de



mortalidad debido a enfermedades respiratorias y cardiovasculares. La OMS informó que el aumento de mortalidad prematura entre el 4 y el 8% se debe a la exposición a partículas en ambientes extra e intramuros. Es innegable que sin aire limpio, el desarrollo económico no es viable y los conflictos sociales, inevitables (OMS 1999).

Los habitantes de nuestra ciudad, así como los de algunas otras zonas metropolitanas del país, han sido víctimas del problema ambiental, desde el momento en que empiezan a notar efectos adversos sobre todo en su salud, al permanecer expuestos a niveles de contaminación que como han demostrado los estudios realizados rebasan los límites establecidos por las normas nacionales e internacionales.

Es importante señalar que a nivel mundial ha habido avances en los planes de acción para mejorar la calidad del aire en zonas urbanas, y la razón de esto es porque actualmente un considerable número de personas, aproximadamente el 25% de la población mundial, vive en zonas urbanas y por tanto está expuesta a altas concentraciones de compuestos gaseosos y partículas en el aire. Se pronostica que en este siglo, el mayor crecimiento de la población ocurrirá en los países de bajos ingresos. El proceso de urbanización continuará, de tal manera que la proporción de la población mundial que vive en las ciudades aumentará de 45% a 62% en el 2025, lo cual creará densos centros de emisiones antrópicas (OMS 1999).

El sector gubernamental debe tener un compromiso político con el sector social, apoyándose en otros sectores interesados como la academia, la industria y las organizaciones sociales, para lograr el establecimiento, el cumplimiento y el seguimiento de normas de calidad del aire, cimentadas en estudios toxicológicos, epidemiológicos, ambientales y químicos, que permitan asegurar la salud de la población. La información científica, debe apoyar la adquisición de criterios a las personas que toman decisiones, para establecer controles ambientales, que estén sustentados en estudios nacionales, acordes a los realizados en otras partes del mundo, puesto que la calidad del aire es un problema global.

### 4.3 Marco jurídico para regulación de normas

El régimen jurídico de un país aplica a aspectos político, social, jurídico, económico y religioso y compete a toda la sociedad. El régimen jurídico alude al conjunto de normas que regulan la conducta de las personas físicas y jurídicas del Estado. En los estados democráticos como México, el ordenamiento jurídico está formado por el conjunto de normas, por las que se rige nuestra sociedad. La administración pública es un término, que comprende el conjunto de organizaciones públicas que realizan la función administrativa y de gestión del Estado y de otros entes públicos con personalidad jurídica, ya sean de ámbito regional o local ([www.ordenjuridico.gob.mx](http://www.ordenjuridico.gob.mx)). La Administración Pública Federal es *el poder público que emana del pueblo, por el cual ejerce su soberanía nacional y representa jurídicamente a la nación*.

De acuerdo a la Ley Orgánica de la Administración Pública, la organización del gobierno en nuestro país está constituida, para el ejercicio del poder público, por los Poderes de la Unión. Los poderes son el Poder Legislativo integrado por las Cámaras de Diputados y Senadores y la Comisión Permanente del Congreso de la Unión. El Poder Judicial integrado por la Suprema Corte de Justicia, Tribunales y Juzgados. El Poder Ejecutivo representado por el Presidente Constitucional apoyándose en dos tipos de administración: la Administración pública centralizada, conformada por la Presidencia de la República, las Secretarías de Estado, la Consejería Jurídica del Ejecutivo y la Procuraduría General de la República y la Administración pública paraestatal, conformada por los Organismos Descentralizados, las Empresas de Participación Estatal, los Fideicomisos Públicos y las Instituciones Nacionales de Crédito.

Formalmente, el artículo primero de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal establece las bases de la Administración Pública Federal Centralizada y Paraestatal en:

- La Presidencia de la República
- Las Secretarías de Estado
- Departamentos Administrativos
- Consejería Jurídica del Ejecutivo Federal

En México las Secretarías son: Gobernación; Relaciones Exteriores; Defensa Nacional; Marina; Seguridad Pública; Hacienda y Crédito Público; Desarrollo Social; Medio Ambiente y Recursos Naturales; Energía; Economía; Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación; Comunicaciones y Transportes; Función Pública; Educación Pública; Salud; Trabajo y Previsión Social; Reforma Agraria y Turismo.



La Ley General de la Administración Pública indica en el Libro Primero lo relacionado al Régimen Jurídico en cuyo Título Primero de Principios Generales, establece en el Capítulo Único entre otros artículos lo siguiente:

Artículo 1. *La Administración Pública estará constituida por el Estado y los demás entes públicos, cada uno con personalidad jurídica y capacidad de derecho público y privado.*

Artículo 5. *La Administración Pública tendrá por objeto promover las condiciones que sean más favorables para el desarrollo nacional sobre una base de justicia social, procurando el equilibrio entre sus actuaciones y los derechos e intereses legítimos de los particulares.*

Artículo 6. *La jerarquía de las fuentes de ordenamiento jurídico administrativo se sujetará al siguiente orden:*

- a) *La Constitución Política*
- b) *Los Tratados Internacionales y las normas de la Comunidad Centroamericana*
- c) *Las Leyes y los demás actos con valor de ley*
- d) *Los decretos del Poder Ejecutivo que reglamentan las leyes, las de otros supremos poderes en la materia de su competencia*
- e) *Los demás reglamentos del Poder Ejecutivo, los estatutos y los reglamentos de los entes descentralizados; y*
- f) *Las demás normas subordinadas a los reglamentos, centrales y descentralizadas.*

La importancia de dar un orden a los documentos que regulan las interacciones políticas, económicas y sociales, permite también delimitar obligaciones y responsabilidades. De acuerdo a Hans Kelsen (jurista checo: 1881-1973) en su Teoría Pura del Derecho propone que la validez de cualquier norma, se sustenta por otra de rango superior y así sucesivamente. Esta teoría se expresa gráficamente con una Pirámide de Kelsen donde se coloca en la cúspide el instrumento jurídico más importante y hacia abajo los demás instrumentos de normalización. De acuerdo a la Ley General de la Administración Pública se tendría lo siguiente:



Figura 11 Jerarquía jurídica  
Fuente: *Ley General de la Administración Pública*

La Constitución Política es el ordenamiento normativo supremo que establece la organización y funcionamiento del poder político y los derechos fundamentales de los gobernados. Del artículo 1 al 29 establece las garantías individuales o derechos fundamentales de los gobernados y del 30 al 136, se refiere a las normas relativas al establecimiento de los órganos encargados del poder público del estado, su funcionamiento y su organización.

Dentro de las funciones relevantes que ejercen las Secretarías, relacionadas al presente trabajo de tesis, se tiene:

La **Secretaría de Gobernación** se obliga entre otros a:

II. Publicar las leyes y decretos del Congreso de la Unión, alguna de las dos Cámaras o la Comisión Permanente y los reglamentos que expida el Presidente de la República....

III. Administrar y publicar el Diario Oficial de la Federación (DOF)....

XXXI. Compilar y sistematizar las leyes, tratados internacionales, reglamentos, decretos, acuerdos y disposiciones federales, estatales y municipales.

La **Secretaría de Economía** se obliga entre otros a:

I. Formular y conducir las políticas generales de industria, comercio exterior, interior, abasto y precios del país.



II. Regular, promover y vigilar la comercialización, distribución, consumo de los bienes y servicios.

La **Secretaría de Salud** se obliga entre otros a:

I. Establecer y conducir la política nacional en materia de asistencia social, servicios médicos y salubridad general.

Las medidas de salud e higiene en nuestro país, hasta los años ochenta, esta referida en el Código Sanitario vigente, pero a partir del 1° de julio de 1984 se publicada en México la Ley General de Salud. A partir de esa fecha y en diferentes años ha sido sometida a reformas, adiciones y modificaciones, en su contenido resaltan estos artículos que competen al presente trabajo

### Ley General de Salud

Artículo 1o.	La presente ley reglamenta el derecho a la protección de la salud que tiene toda persona en los términos del Artículo 4° de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, establece las bases y modalidades para el acceso a los servicios de salud y la concurrencia de la Federación y las entidades federativas en materia de salubridad general . Es de aplicación en toda la República y sus disposiciones son de orden público e interés social.
Artículo 2o.	El derecho a la protección de la salud, tiene las siguientes finalidades:  I. El bienestar físico y mental del hombre, para contribuir al ejercicio pleno de sus capacidades;  II. La prolongación y mejoramiento de la calidad de la vida humana;  III. La protección y acrecentamiento de los valores que coadyuven a la creación, conservación y disfrute de condiciones de salud que contribuyan al desarrollo social....  VII. El desarrollo de la enseñanza y la investigación científica y tecnológica para la salud
Artículo 3º.	En los términos de esta Ley, es materia de salubridad general....  XV. La prevención y el control de los efectos nocivos de los factores ambientales en la salud del hombre....
Artículo 5o.	El Sistema Nacional de Salud está constituido por las dependencias y entidades de la Administración Pública, tanto federal como local y las personas físicas o morales de los sectores social y privado que presten servicios de salud, así como los mecanismos de coordinación de acciones y tiene por objeto dar cumplimiento al derecho a la protección de la salud.
Artículo 116.	Las autoridades sanitarias establecerán las normas, tomarán las medidas y realizarán las actividades a que se refiere esta Ley tendientes a la protección de la salud humana ante los riesgos y daños dependientes de las condiciones del ambiente.





Artículo 117.	La formulación y conducción de la política de saneamiento ambiental corresponde a la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, en coordinación con la Secretaría de Salud, en lo referente a la salud humana.
Artículo 118.	Corresponde a la Secretaría de Salud:  I. Determinar los valores de concentración máxima permisible para el ser humano de contaminantes en el ambiente....

Fuente: *Ley General de Salud (LGS 2010)*.

Con estas referencias queda claro que es la Secretaría de Salud la encargada de emitir las normas que involucren algún riesgo para la salud, pero el proceso de emisión de estas debe estar acorde a los lineamientos que se establecen en el régimen jurídico.

La normalización es un proceso mediante el cual se regulan las actividades desempeñadas por los sectores tanto privado, como público en materia de salud, ambiente, seguridad al usuario, prácticas de comercio, industrial y laboral a través del cual se establecen la terminología, la clasificación, las directrices, las especificaciones, los atributos, las características, los métodos de prueba o las prescripciones aplicables a un producto, proceso o servicio. En un sentido más informal y amplio, se entiende como una regla a la cual se somete voluntariamente una actividad. También se incluye en el término normalización al proceso que incluye la elaboración, aplicación y mejora de las normas. De todas las Secretarías que hay en el gobierno actualmente sólo 11 emiten normas.

La mejora regulatoria (o de normas en el contexto empleado) es una política pública que tiene por objeto promover la transparencia en la elaboración y aplicación de las regulaciones, buscando que estas generen beneficios para la sociedad. Con la inclusión de México al GATT (Acuerdo General sobre Aranceles y Comercio), durante los ochenta, se tuvo apertura al comercio exterior, ciertos sectores económicos se privatizaron y por tanto se separaron del Estado, intentando con esto tener un mayor auge a mercados externos, consiguiendo también una reestructuración de ciertos sectores económicos. En este contexto se emitió en 1989 un Acuerdo Presidencial en el DOF, que instruyó llevar a cabo una revisión del marco regulatorio de la actividad económica nacional, creándose la Unidad de Desregulación Económica (UDE) dependiente de la entonces Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI) como la encargada del programa de desregulación económica. Como resultado de este proceso se crearon leyes que hoy en día rigen mercados relevantes de la economía del país como: la Ley Federal de Cinematografía de 1992, la Ley Federal sobre Metrología y Normalización (LFMN) de 1992, la Ley Federal de Competencia Económica de 1992, la Ley de Caminos, Puentes y



Autotransportes Federales de 1993, la Ley de Comercio Exterior de 1993, por citar algunas (COFEMER 2010).

Para 1995, México tuvo mayor apertura comercial y la mejora regulatoria era importante para el desarrollo económico, por lo que en 1997, el Ejecutivo Federal promovió reformas a la LFMN a fin de establecer la manifestación del impacto regulatorio (Artículo 45 de la LFMN) como requisito para emitir o modificar normas oficiales mexicanas. De esta forma, para la emisión de estos instrumentos jurídicos se requiere de una explicación que incluya la finalidad de la norma, de las medidas propuestas, una comparación de estas con los antecedentes regulatorios, así como una descripción general de las ventajas, desventajas y de la factibilidad técnica para la comprobación del cumplimiento con la norma. En 2000 se reformó la Ley Federal de Procedimiento Administrativo (LFPA), incluyendo el Título Tercero A en el que se institucionalizaba la política de mejora regulatoria con la creación de la Comisión Federal de Mejora Regulatoria (COFEMER), actividad que venía realizando la UDE (COFEMER 2010). De acuerdo a la LFPA en el artículo 4, indica que los *actos administrativos de carácter general, tales como reglamentos, decretos, acuerdos, normas oficiales mexicanas, circulares, formatos, así como los lineamientos, criterios, metodologías, instructivos, directivas, reglas, manuales, disposiciones que tengan por objeto establecer obligaciones específicas cuando no existan condiciones de competencia y cualesquiera de naturaleza análoga a los actos anteriores que expidan las dependencias y organismos descentralizados de la administración pública federal, deberán publicarse en el DOF para que produzca efectos jurídicos* (LFPA 2010).

La LFMN instruye sobre la elaboración de normas oficiales mexicanas de carácter obligatorio para productos y procesos cuando estos puedan constituir un riesgo para la seguridad de las personas o dañar la salud humana, animal o vegetal, el medio ambiente general y laboral, o para la preservación de los recursos naturales. La elaboración de normas involucra un proceso de concertación entre diferentes sectores de la sociedad – público, privado, académico, sociedad civil, etc. – inmersos o interesados en un determinado tema.



## Ley Federal de Metrología y Normalización

Artículo 38.	Corresponde a las dependencias según su ámbito de competencia:  I. Contribuir en la integración del Programa Nacional de Normalización con las propuestas de normas oficiales mexicanas;  II. Expedir normas oficiales mexicanas en las materias relacionadas con sus atribuciones y determinar su fecha de entrada en vigor....  V. Certificar, verificar e inspeccionar que los productos, procesos, métodos, instalaciones, servicios o actividades cumplan con las normas oficiales mexicanas
Artículo 40.	Las normas oficiales mexicanas tendrán como finalidad establecer:  I. Las características y/o especificaciones que deban reunir los productos y procesos cuando estos puedan constituir un riesgo para la seguridad de las personas o dañar la salud humana, animal, vegetal, el ambiente general y laboral, o para la preservación de los recursos naturales....  X. Las características y/o especificaciones, criterios y procedimientos que permitan proteger y promover el mejoramiento del ambiente y los ecosistemas, así como la preservación de los recursos naturales...  XIII. Las características y/o especificaciones que deban reunir los equipos, materiales, dispositivos e instalaciones industriales, comerciales, de servicios y domésticos para fines sanitarios, acuícolas, agrícolas, pecuarios, ecológicos, de comunicaciones, de seguridad o de calidad y particularmente cuando sean peligrosos;
Artículo 51.	Las normas oficiales mexicanas deberán ser revisadas cada cinco años a partir de la fecha de su entrada en vigor

Fuente: *Ley Federal de Metrología y Normalización (LFMN 2009)*.

Los principios básicos en el proceso de normalización son la representatividad, consenso, consulta pública, modificación y actualización. Este proceso se lleva a cabo mediante la elaboración, expedición y difusión a nivel nacional de las normas que pueden ser de tres tipos principalmente:

- a) Norma Oficial Mexicana (NOM): regulación técnica de observancia obligatoria expedida por las dependencias normalizadoras competentes a través de Comités Consultivos Nacionales de Normalización de conformidad con las finalidades establecidas en el artículo 40 de la LFMN.
- b) Norma mexicana (NMX): que elabora un organismo nacional de normalización, o la Secretaría de Economía (SE) en ausencia de ellos de conformidad con lo dispuesto por el artículo 54 de la LFMN.

Artículo 54.

Las normas mexicanas, constituirán referencia para determinar la calidad de los productos y servicios de que se trate, particularmente para la protección y orientación de los consumidores. Dichas normas en ningún caso podrán contener especificaciones inferiores a las establecidas en las normas oficiales mexicanas

Fuente: *Ley Federal de Metrología y Normalización (LFMN 2009)*.

c) Normas de referencia: las elaboran entidades de administración pública de conformidad con lo dispuesto por el artículo 67 de la LFMN para aplicarse a bienes y servicios, cuando las normas mexicanas o internacionales no cubran los requisitos de las mismas o sus especificaciones resulten obsoletas o inaplicables.

La elaboración de una NOM es un acto jurídico realizado por el órgano emisor, que se caracteriza por ser general, abstracta y obligatoria, creada por la administración pública y sometida a evaluación por la Comisión Nacional de Normalización.

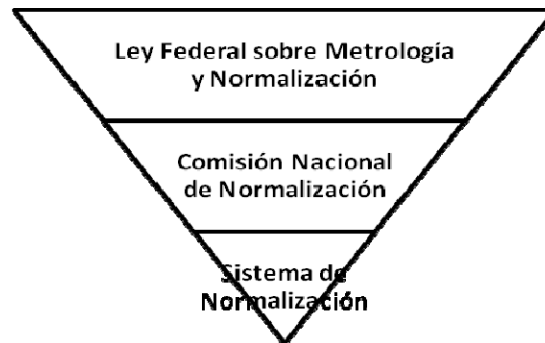


Figura 12 La Normalización Nacional: Fundamento Legal

Fuente: *Ley Federal de Metrología y Normalización (LFMN 2009)*.

El Título Tercero de la LFMN corresponde a Normalización, este apartado comprende del artículo 38 al 67, en ellos se establece lo que compete a las normas oficiales mexicanas, con carácter de obligatorio, a las normas mexicanas de carácter voluntario e incluye a las normas de referencia y las de emergencia. El Reglamento de la LFMN comprende del artículo 26 al 70, en el se especifican las obligaciones y los mecanismos para dar cumplimiento a la LFMN.

La elaboración de normas la realiza la dependencia a quién corresponde la regulación, preparando primero un anteproyecto para después someterlo a revisión con los comités consultivos nacionales de normalización. El anteproyecto debe contener para una NOM lo establecido en el artículo 41



Artículo 41.

Las normas oficiales mexicanas deberán contener:

- I. La denominación de la norma y su clave o código, así como las finalidades de la misma conforme al artículo 40;
- II. La identificación del producto, servicio, método, proceso, instalación o, en su caso, del objeto de la norma conforme a lo dispuesto en el artículo precedente;
- III. Las especificaciones y características que corresponden al producto, servicio, método, proceso, instalación o establecimientos que se establezcan en la norma en razón de su finalidad;
- IV. Los métodos de prueba aplicables en relación con la norma y en su caso, los de muestreo;
- V. Los datos y demás información que deban contener los productos o, en su defecto, sus envases o empaques, así como el tamaño y características de las diversas indicaciones;
- VI. El grado de concordancia con normas y lineamientos internacionales y con las normas mexicanas tomadas como base para su elaboración;
- VII. La bibliografía que corresponda a la norma;
- VIII. La mención de la o las dependencias que vigilarán el cumplimiento de las normas cuando exista concurrencia de competencias; y
- IX. Las otras menciones que consideren convenientes para la debida comprensión y alcance de la norma.

Fuente: *Ley Federal de Metrología y Normalización (LFMN 2009)*.

Dentro del proceso de normalización, para la elaboración de las NOM se consultan las normas o lineamientos internacionales y normas extranjeras, entendiéndose como tales:

- d) Norma o lineamiento internacional o documento normativo, lo emite un organismo internacional de normalización u otro relacionado con la materia, reconocido por el gobierno mexicano en los términos del derecho internacional.
- e) Norma extranjera, es la que emite un organismo o dependencia de normalización público o privado reconocido oficialmente por un país (Huerta, 2010).

En general el procedimiento de elaboración contempla las siguientes etapas:

- Elaboración del anteproyecto
- Elaboración de la Manifestación de Impacto Regulatorio (MIR) y presentación a la COFEMER
- Son sujetas a Consulta Pública, se revisan los comentarios recibidos y se publican los comentarios
- Se publica la NOM definitiva y se sujetan a procesos de revisión.

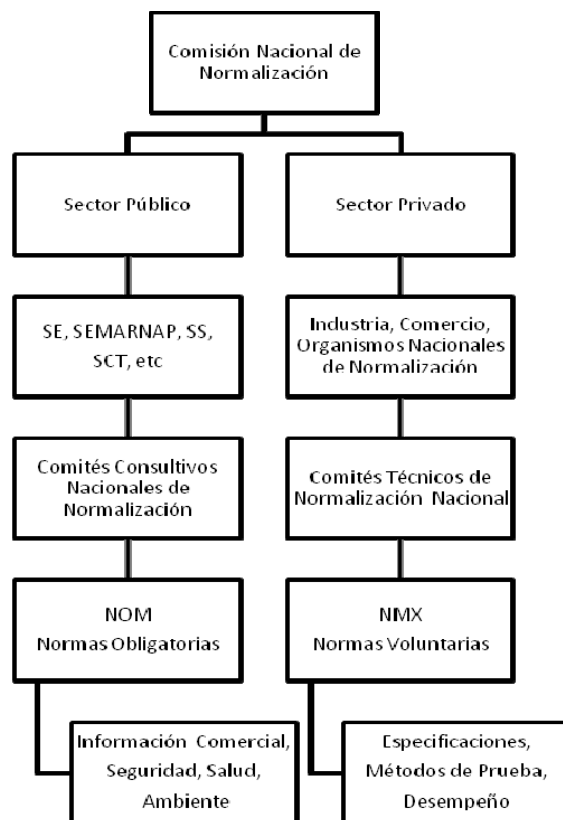


Figura 13 Proceso general de elaboración de normas  
Fuente: *Ley Federal de Metrología y Normalización (LFMN 2009)*.

La Comisión Nacional de Normalización es un órgano creado con el fin de colaborar con la política de normalización y la coordinación de las actividades de elaboración de normas y elige quienes participan para la realización de normas. Es un órgano que se reúne periódicamente, al menos cada tres meses. Entre sus funciones también tiene la de aprobar el programa anual de normalización; establecer reglas de coordinación entre las dependencias y entidades de la administración pública federal y las organizaciones privadas para la elaboración; difusión y cumplimiento de las normas; resolver discrepancias en los comités consultivos nacionales de normalización y opinar sobre la acreditación de organismos nacionales de normalización. La Comisión cuenta con un secretario técnico a cargo y un consejo técnico para el desempeño de sus funciones, la presidencia es rotativa por un año en el orden que establece la fracción I del artículo 59 de la LFMN (Huerta 2010).



Artículo 59.	Integrarán la Comisión Nacional de Normalización  I. Los subsecretarios correspondientes de las Secretarías de Desarrollo Social; Ambiente y Recursos Naturales; Energía; Economía; Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación; Comunicaciones y Transportes; Salud; Trabajo y Previsión Social, y Turismo ...
--------------	--

Fuente: *Ley Federal de Metrología y Normalización (LFMN 2009)*.

Los comités consultivos nacionales de normalización son órganos cuya función es elaborar las NOM y promover su cumplimiento, están integrados por miembros del sector público y el privado, en el artículo 62 de la ley enuncia quienes pueden participar.

Artículo 62.	Los comités consultivos nacionales de normalización son órganos para la elaboración de normas oficiales mexicanas y la promoción de su cumplimiento. Estarán integrados por personal técnico de las dependencias competentes, según la materia que corresponda al comité, organizaciones de industriales, prestadores de servicios, comerciantes, productores agropecuarios, forestales o pesqueros; centros de investigación científica o tecnológica, colegios de profesionales y consumidores.  Las dependencias competentes, en coordinación con el secretariado técnico de la Comisión Nacional de Normalización determinarán qué organizaciones de las mencionadas en el párrafo anterior, deberán integrar el comité consultivo de que se trate, así como en el caso de los comités que deban constituirse para participar en actividades de normalización internacional.
--------------	--

Fuente: *Ley Federal de Metrología y Normalización (LFMN 2009)*.

La LFMN contempla la participación de cualquier persona interesada para presentar propuestas de anteproyectos, no es tan específica al indicar que si es una o varias, personas físicas o morales, y el interés no necesita ser directo, puede tratarse de un sector interesado, comprometido en preservar el ambiente o la salud o la equidad de manera genérica.

Artículo 44.	Corresponde a las dependencias elaborar los anteproyectos de normas oficiales mexicanas y someterlos a los comités consultivos nacionales de normalización ... Los comités consultivos nacionales de normalización, con base en los anteproyectos mencionados, elaborarán a su vez los proyectos de normas oficiales mexicanas, de conformidad con lo dispuesto en el presente capítulo. ... Las personas interesadas podrán presentar a las dependencias, propuestas de normas oficiales mexicanas, las cuales harán la evaluación correspondiente y en su caso, presentarán al comité respectivo el anteproyecto de que se trate.
--------------	---

Fuente: *Ley Federal de Metrología y Normalización (LFMN 2009)*.

Los anteproyectos se presentaban anteriormente únicamente con un análisis de factibilidad que fue sustituido por la Manifestación de Impacto Regulatorio (MIR) que se encuentra regulada en la LFPA con el fin no solamente de sustentar la necesidad



científica y económicamente a las NOM, sino principalmente desde la perspectiva regulatoria, en virtud de lo cual la MIR deberá contener una explicación clara de la finalidad y contenido de la norma (Artículo 45).

Artículo 45.	<p>Los anteproyectos que se presenten en los comités para discusión se acompañarán de una manifestación de impacto regulatorio, en la forma que determine la Secretaría, que deberá contener una explicación sucinta de la finalidad de la norma, de las medidas propuestas, de las alternativas consideradas y de las razones por las que fueron desechadas, una comparación de dichas medidas con los antecedentes regulatorios, así como una descripción general de las ventajas y desventajas y de la factibilidad técnica de la comprobación del cumplimiento con la norma. Para efectos de lo dispuesto en el artículo 4A de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo, la manifestación debe presentarse a la Secretaría en la misma fecha que al comité.....</p> <p>Cuando el análisis mencionado no sea satisfactorio a juicio del comité o de la Secretaría, éstos podrán solicitar a la dependencia que efectúe la designación de un experto....</p>
--------------	--

Fuente: *Ley Federal de Metrología y Normalización (LFMN 2009)*.

La MIR presenta simultáneamente a la SE y al comité evaluador la necesidad y oportunidad de la normatividad. Sin embargo uno de los principales problemas que en ocasiones se presentan, es la falta de recursos y personal capacitado para evaluar los estudios presentados, principalmente el análisis costo-beneficio, que implica la evaluación del anteproyecto y de las alternativas consideradas. En los casos en los que el análisis no sea presentado, SE o el comité podrán solicitarlo dentro de los 15 días siguientes a la presentación de la manifestación, en cuyo caso se suspende el plazo para formulación de las observaciones.

Si SE o el comité considera que el análisis presentado no es satisfactorio, podrá solicitar a la dependencia correspondiente que designe un experto que deberá ser aprobado por SE y la Comisión Nacional de Normalización. Los costos de la contratación del mismo, serán cubiertos por la dependencia o el interesado en su caso. La revisión de los análisis y comentarios se hará dentro de los 60 días naturales siguientes a la contratación de los expertos, pasado este tiempo, se iniciará el plazo para el estudio de los comentarios y la modificación del proyecto, si aplica.





Las reglas de elaboración y modificación de las normas se encuentran previstas en el artículo 46.

Artículo 46.	La elaboración y modificación de normas oficiales mexicanas se sujetará a las siguientes reglas: I. Los anteproyectos a que se refiere el artículo 44, se presentarán directamente al comité consultivo nacional de normalización respectivo, para que en un plazo que no excederá los 75 días naturales, formule observaciones; y II. La dependencia u organismo que elaboró el anteproyecto de norma, contestará fundamentada las observaciones presentadas por el Comité en un plazo no mayor de 30 días naturales contado a partir de la fecha en que le fueron presentadas y, en su caso, hará las modificaciones correspondientes. Cuando la dependencia que presentó el proyecto, no considere justificadas las observaciones presentadas por el Comité, podrá solicitar a la presidencia de éste, sin modificar su anteproyecto, ordene la publicación como proyecto, en el <b>Diario Oficial de la Federación</b> .
--------------	--

Fuente: *Ley Federal de Metrología y Normalización (LFMN 2009)*.

Avanzada esta primera parte del procedimiento, el anteproyecto de norma se convierte en proyecto y deberá ajustarse para su elaboración a lo previsto en el artículo 47, que de forma más sintetizada establece:

I. Una vez publicado íntegramente el proyecto, los “interesados “ podrán entregar sus comentarios al comité consultivo correspondiente dentro de un plazo no mayor a 60 días naturales (antes de la reforma del 20 de mayo de 1997 eran 90 días naturales). Durante ese plazo la MIR (antes el análisis) permanece a disposición del público para su consulta en el comité.

II. El comité estudiará y podrá si así lo considera pertinente, realizar modificaciones al proyecto en un plazo no mayor a 45 días naturales.

III. La dependencia correspondiente deberá ordenar la publicación de las respuestas a los comentarios recibidos cuando menos 15 días antes de la publicación de la NOM.

IV. Una vez aprobada por el comité de normalización respectivo, la dependencia competente expide y ordena la publicación de la NOM.

Cabe señalar que para evitar conflictos, el artículo 47 dispone que en los casos en que más de una dependencia sea competente, será el presidente del comité quien ordene la publicación de la NOM (Huerta 2011).

Con relación a las normas jurídicas, es regla general entender que su expedición es por tiempo indefinido, las NOM no tienen una vigencia temporal, salvo las de emergencia que si la tiene de acuerdo a la LFMN. Sin embargo, sus contenidos y aplicación son de orden técnico, al igual que sus especificaciones y metodología, deben estar sujetas a la dinámica propia del método científico, por lo tanto, están sujetas a cambios. El artículo 49



prevé un mecanismo de renovación del sistema jurídico, que permite, posterior a un exhaustivo estudio, la utilización de técnicas, materiales, equipos, procesos, etc. alternativos a la propuesta original. Pero es con el artículo 51 donde se establece que se deben respetar los lineamientos de creación, para realizar una modificación o cancelación, salvo en los casos en los que se creen nuevos requisitos más estrictos. Como parte de la reforma de 1997 a la ley, se establece la necesidad de actualizar las NOM a través de la revisión periódica cada cinco años. Es importante señalar que los términos empleados son modificar y no decir reformar, así como cancelar la NOM no derogarla, aunque en términos jurídicos, los efectos sean los mismos (Huerta 2011).

Artículo 51.	<p>Para la modificación de las normas oficiales mexicanas deberá cumplirse con el procedimiento para su elaboración.</p> <p>Cuando no subsistan las causas que motivaron la expedición de una norma oficial mexicana, las dependencias competentes, a Iniciativa propia o a solicitud de la Comisión Nacional de Normalización, de la Secretaría o de los miembros del comité consultivo nacional de normalización correspondiente, podrán modificar o cancelar la norma de que se trate sin seguir el procedimiento para su elaboración.</p> <p>Lo dispuesto en el párrafo anterior no es aplicable cuando se pretendan crear nuevos requisitos o procedimientos, o bien incorporar especificaciones más estrictas, en cuyo caso deberá seguirse el procedimiento para la elaboración de las normas oficiales mexicanas.</p> <p>Las normas oficiales mexicanas deberán ser revisadas cada 5 años a partir de la fecha de su entrada en vigor, debiendo notificarse al secretariado técnico de la Comisión Nacional de Normalización los resultados de la revisión, dentro de los 60 días naturales posteriores a la terminación del período quinquenal correspondiente. De no hacerse la notificación, las normas perderán su vigencia y las dependencias que las hubieren expedido deberán publicar su cancelación en el <b>Diario Oficial de la Federación</b>. La Comisión podrá solicitar a la dependencia dicha cancelación.</p> <p>Sin perjuicio de lo anterior, dentro del año siguiente a la entrada en vigor de la norma, el comité consultivo nacional de normalización o la Secretaría podrán solicitar a las dependencias que se analice su aplicación, efectos y observancia a fin de determinar las acciones que mejoren su aplicación y si procede o no su modificación o cancelación.</p>
--------------	--

Fuente: *Ley Federal de Metrología y Normalización (LFMN 2009)*.

Las propuestas de modificación a las NOM deberán ser redactadas de acuerdo a lo establecido en el artículo 28 fracción III y artículo 42, ambos del Reglamento de la LFMN, que para el caso de normas nacionales se deben sujetar a lo que indica la NMX-Z-013/1-1997: Guía para la redacción, estructuración y presentación de las normas mexicanas, documento que a su vez se alinea a las Guías ISO para la presentación de normas. Elaborada la modificación se siguen las reglas ya referidas en el artículo 46 de la LFMN.



La Ley no indica que cualquier persona pueda presentar de manera extemporánea una propuesta de modificación, lo que sí establece en el artículo 51 es que durante o después de la revisión quinquenal, es la Comisión Nacional de Normalización la que en un principio realiza la revisión y la propuesta de modificación, pero también se señala que en caso de crear nuevos requisitos o incorporar especificaciones más estrictas, se debe seguir el procedimiento de modificación como lo indican los artículos 44 y 46 de la Ley. Para presentar la propuesta de modificación a la NOM-025-SSA1 con la inclusión de la determinación gravimétrica de los HAP, siguiendo los lineamientos indicados en el art. 46, se deberá entregar directamente al Comité Consultivo Nacional de Normalización, de la dependencia responsable, para después se realice el seguimiento protocolario.

El artículo 51-B de la LFMN indica que la SE (Secretaría de Economía) o a solicitud de las dependencias, podrá expedir normas en áreas no cubiertas por los organismos nacionales de normalización. Por lo que se podrán incluir nuevos temas en el programa Nacional de Normalización, justificar su conveniencia y demostrar el grupo de la dependencia interesado, que cuenta con la capacidad de coordinar un comité consultivo de normalización. En el artículo 47 del Reglamento indica que para los efectos del artículo 51-B de la Ley:

Artículo 51-B	La Secretaría, por sí o a solicitud de las dependencias, podrá expedir normas mexicanas en las áreas no cubiertas por los organismos nacionales de normalización, o cuando se demuestre a la Comisión Nacional de Normalización que las normas expedidas por dichos organismos no reflejan los intereses de los sectores involucrados. Para ello, los temas propuestos como normas mexicanas se deberán incluir en el Programa Nacional de Normalización, justificar su conveniencia y, en su caso, la dependencia que lo solicite deberá también demostrar que cuenta con la capacidad para coordinar los comités de normalización correspondientes. En todo caso, tales normas deberán cumplir con lo dispuesto en esta Sección.
---------------	--

Fuente: *Ley Federal de Metrología y Normalización (LFMN 2009)*.

Los comités estarán estructurados, organizados y funcionando de acuerdo a las disposiciones del Capítulo V del Título Tercero de la Ley y de la Sección I del Capítulo V del Título Tercero del artículo 65 del Reglamento, ambos indican que los comités pueden estar integrados por personal técnico de las dependencias competentes, según la materia que corresponde al comité, organizaciones de industriales, comunidad científica, etc.

Título Tercero Normalización, Capítulo V de los Comités Consultivos Nacionales de Normalización



Artículo 62	Los comités consultivos nacionales de normalización son órganos para la elaboración de normas oficiales mexicanas y la promoción de su cumplimiento. Estarán integrados por personal técnico de las dependencias competentes, según la materia que corresponda al comité, organizaciones de industriales, prestadores de servicios, comerciantes, productores agropecuarios, forestales o pesqueros; centros de investigación científica o tecnológica, colegios de profesionales y consumidores. ...
-------------	--

Fuente: *Ley Federal de Metrología y Normalización (LFMN 2009)*.

### Sección I del Capítulo V del artículo 65 del Reglamento

Artículo 65	En los comités, subcomités y grupos de trabajo podrán participar dependencias y entidades de la administración pública federal, organismos nacionales de normalización, cámaras, empresas, asociaciones, escuelas e instituciones de educación superior e investigación, que lleven a cabo acciones en la materia o que manifiesten interés en el tema de que se trate. Igualmente estarán abiertos a la participación de asociaciones, grupos o personas que representen los intereses de los consumidores o usuarios de los servicios. La Secretaría para la integración de los comités, subcomités y grupos de trabajo se coordinará con las dependencias competentes.
-------------	---

Fuente: *Ley Federal de Metrología y Normalización (LFMN 2009)*.

Respecto a la observancia de las NOM establecida en el artículo 91, la Ley establece la obligatoriedad de las mismas, faculta a las dependencias competentes para realizar visitas de verificación y faculta al personal autorizado para recabar los documentos, evidencia o muestras necesarias.

Artículo 91	<p>Las dependencias competentes podrán realizar visitas de verificación con el objeto de vigilar el cumplimiento de esta Ley y demás disposiciones aplicables, independientemente de los procedimientos para la evaluación de la conformidad que hubieren establecido. Al efecto, el personal autorizado por las dependencias podrá recabar los documentos o la evidencia necesaria para ello, así como las muestras conforme a lo dispuesto en el artículo 101.</p> <p>Cuando para comprobar el cumplimiento con una norma oficial mexicana se requieran mediciones o pruebas de laboratorio, la verificación correspondiente se efectuará únicamente en laboratorios acreditados y aprobados, salvo que éstos no existan para la medición o prueba específica, en cuyo caso, la prueba se podrá realizar en otros laboratorios, preferentemente acreditados.</p> <p>Los gastos que se originen por las verificaciones por actos de evaluación de la conformidad serán a cargo de la persona a quien se efectúe ésta.</p>
-------------	--

Fuente: *Ley Federal de Metrología y Normalización (LFMN 2009)*.

En caso de que se haga visita de verificación u otro medio que permita determinar el incumplimiento a una NOM las disposiciones de la LFMN determinan las sanciones administrativas correspondientes, que van desde multas, clausura parcial o total, arresto, suspensión o cancelación, etc. El artículo 112-A de la Ley delimita los criterios para asignar las multas.



Las sanciones que establece la Ley, para algunos casos parecen resultar muy severas, tomando en cuenta que en muchas ocasiones, sobre todo a nivel comercial, las NOM se exceden en los contenidos regulados. Tal situación se contempla en el artículo 57 de la Ley, que establece la posibilidad de que se prohíba la comercialización de un producto o servicio, o se impida su uso en caso de incumplimiento de las NOM.

Para el caso del cumplimiento a los límites permisibles de los contaminantes criterio y en especial del material particulado que compete en el presente trabajo, la Ley no parece clara, ya que en caso de sancionar con multa, clausura o cancelación, en este caso, a quién debe aplicar: a las industrias, los automóviles, los comerciantes que emiten partículas al ambiente, las amas de casa que cocinan, barren, etc. Es decir, no existe un responsable individual. Para tal caso es interesante señalar que la LFMN establece en el artículo 57 la obligación de los medios de comunicación para informar sobre incumplimiento que es lo que valdría en este caso, tomando en cuenta los efectos del incumplimiento.

Artículo 57	<p>Cuando los productos o los servicios sujetos al cumplimiento de determinada norma oficial mexicana, no reúnan las especificaciones correspondientes, la autoridad competente prohibirá de inmediato su comercialización, inmovilizando los productos, hasta en tanto se acondicionen, reprocesen, reparen o substituyan. De no ser esto posible, se tomarán las providencias necesarias para que no se usen o presten para el fin a que se destinarían de cumplir dichas especificaciones.</p> <p>Si el producto o servicio se encuentra en el comercio, los comerciantes o prestadores tendrán la obligación de abstenerse de su enajenación o prestación a partir de la fecha en que se les notifique la resolución o se publique en el <b>Diario Oficial de la Federación</b>. Cuando el incumplimiento de la norma pueda dañar significativamente la salud de las personas, animales, plantas, ambiente o ecosistemas, los comerciantes se abstendrán de enajenar los productos o prestar los servicios desde el momento en que se haga de su conocimiento. Los medios de comunicación masiva deberán difundir tales hechos de manera inmediata a solicitud de la dependencia competente.</p> <p>.....</p>
-------------	---

Fuente: *Ley Federal de Metrología y Normalización (LFMN 2009)*.

La Ley no es clara en cuanto a los medios masivos de comunicación se refiere, cuál es el alcance de esta obligación, ni quién asumirá los costos de dicha difusión. La dificultad de la implementación masiva de este precepto hace evidente la poca eficacia que puede tener (Huerta 2011).

Los estándares para PST y PM<sub>10</sub> fueron adoptados en México y publicados en el Diario Oficial de la Federación del 23 de diciembre de 1994 en las normas NOM-024-SSA1-1993 y NOM-025-SSA1-1993 respectivamente. En 2005 fueron modificadas para quedar sólo como NOM-025-SSA1-1993, en las que se incluyó a las PM<sub>2,5</sub>, cuyas concentraciones



máximas en 24 h para PST,  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$  fueron establecidas en 210, 120 y  $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente (SIMAT 2010)

En México la dependencia gubernamental que se encarga de emitir la norma que da origen al presente trabajo, es la Secretaría de Salud y es la que actúa como autoridad reguladora, acoplada a los proyectos gubernamentales; la OMS recomienda que una norma de calidad del aire incorpore información adicional sobre la forma de exposición (en exteriores), vigilancia para evaluar el cumplimiento de la norma, métodos de análisis de datos y requisitos para el aseguramiento y control de la calidad. Otros factores que deben considerarse cuando se establece la norma de calidad del aire incluyen la naturaleza de los efectos de la contaminación, los efectos adversos sobre la salud y los riesgos de determinados grupos de población, todos estos aspectos permiten alinear a esta norma nacional con las internacionales (OMS 1999).

Es importante señalar que para la emisión y revisión de las normas oficiales mexicanas, la LFMN es clara en cuanto a los períodos que establece, en caso de la NOM-025-SSA1-1993 no se ha cumplido con los períodos establecidos y más aún no refleja las exigencias actuales, con respecto a los requisitos en los que se debe fundamentar la emisión de una norma oficial mexicana; la norma vigente no indica las sanciones o los lineamientos que se deben seguir para la protección del ambiente, y además como instrumento de regulación directa, no señala de manera efectiva, los mecanismos de vigilancia y evaluación de la calidad del aire.

Las normas publicadas para la salud pública, tienen como fin alertar y proteger la salud de la población, sobre todo la de los grupos más susceptibles como son los niños, los ancianos y las personas con enfermedades respiratorias crónicas. Sin embargo el artículo 57 de la Ley indica que en caso de incumplimiento a las especificaciones establecidas, se debe dar información a la población cuando su salud y seguridad este en riesgo, actualmente la página electrónica del SIMAT ofrece información, pero desafortunadamente el uso del internet en un gran porcentaje de nuestra población está utilizado en redes sociales y aún en personas que la usan para trabajo no ingresan a la página. Es necesario que el gobierno considerara otras vías de información en cuanto a las condiciones de calidad del aire como por ejemplo en las estaciones del metro, en transporte público y en letreros electrónicos en las avenidas, probablemente se pensaría que crearía pánico, pero a la vez y lo más importante es el de adquirir conciencia ambiental.



Las Normas Oficiales Mexicanas sobre Calidad del Aire publicadas por La Secretaría de Salud en el Diario Oficial de La Federación el 23 de diciembre de 1994 en coordinación con La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y con la participación de representantes de la academia, de los sectores productivos y de grupos ambientalistas, establece como parámetros de calidad para las partículas las siguientes especificaciones:

**Tabla 12 Valores normados para los contaminantes del aire en México <sup>a</sup>**

Contaminante	Valores límite			Normas Oficiales Mexicanas
	Exposición aguda		Exposición crónica (Para protección de la salud de la población susceptible)	
	Concentración y tiempo promedio	Frecuencia máxima aceptable		
Partículas suspendidas totales (PST)	210 $\mu\text{g}\text{m}^{-3}$ (percentil 98 promedio de 24 horas)	24 horas	—	NOM-024-SSA1-1993 <sup>(a)</sup>
Partículas con diámetro menor a 10 $\mu\text{m}$ (PM <sub>10</sub> )	120 $\mu\text{g}\text{m}^{-3}$ (percentil 98 promedio de 24 horas)	24 horas	50 $\mu\text{g}\text{m}^{-3}$ (promedio aritmético anual)	NOM-025-SSA1-1993 <sup>(a)</sup>
Partículas con diámetro menor a 2,5 $\mu\text{m}$ (PM <sub>2,5</sub> )	65 $\mu\text{g}\text{m}^{-3}$ (percentil 98 promedio de 24 horas)	24 horas	15 $\mu\text{g}\text{m}^{-3}$ (promedio aritmético anual)	NOM-025-SSA1-1993 <sup>(a)</sup>

Fuente: <sup>(a)</sup> *Diario Oficial de la Federación del 26 de septiembre del 2005*

Estos valores son los establecidos a nivel internacional, aunque desafortunadamente no se cumplen mayor parte de los días del año (ver gráficas de RAMA al final del apartado 5.2 de este trabajo), es necesaria mayor concientización por las autoridades, para reivindicar su compromiso de ayudar a mejorar el nivel de vida y salud de la población.

A continuación se presenta un compendio de las especificaciones de PST, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>.

**Tabla 13 Valores máximos permitidos (Material particulado) en diferentes países y organizaciones del mundo. Unidades  $\mu\text{gm}^{-3}$** 

<b>País/Organización</b>	<b>Período de Tiempo</b>	<b>PST</b>	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>PM<sub>2,5</sub></b>
Argentina*	24 horas	—	150	—
	1 año	—	50	—
Bolivia* (a)	24 horas	150	150	—
	1 año (media geométrica)	—	50	—
Brasil* (d)	24 horas	240 <sup>(b)</sup> 150 <sup>(c)</sup>	150 <sup>(c)</sup>	—
	1 año (media geométrica)	240 <sup>(b)</sup> 150 <sup>(c)</sup>	50 <sup>(c)</sup>	—
Costa Rica*	24 horas	240	150	—
	1 año (promedio aritmético)	90	50	—
Ecuador* (e)	24 horas	250 <sup>(f)</sup>	150 <sup>(f)</sup>	65 <sup>(f)</sup>
	1 año (promedio aritmético)	80 <sup>(f)</sup>	50	15
China* (g)	24 horas	120(I), 300 (II), 500 (III)	50(I), 150 (II), 250 (III)	—
	1 año (promedio aritmético)	80(I), 200 (II), 300 (III)	40(I), 100 (II), 150 (III)	—
México* (h)	24 horas	210	120	65
	1 año (promedio aritmético)	—	50	15
Estados Unidos* (i)	24 horas	—	150	65
	1 año (promedio aritmético)	—	50	15
Japón*	1 hora	—	200	—
	24 horas	—	100	—
Chile*	24 horas	—	120 <sup>(j)</sup>	—
	1 año	—	50	—
Colombia*	24 horas	400 <sup>(k)</sup>	—	—
	1 año	100 <sup>(k)</sup>	—	—
Venezuela**	24 horas	75 a 260	—	—
Alemania**	24 horas	—	50 <sup>(l)</sup>	—
	1 año	—	40	—
Madrid**	24 horas	—	—	50
Australia**	24 horas	—	50 <sup>(m)</sup>	25
	1 año	—	—	8
París**	24 horas	—	50 <sup>(m)</sup>	—
Gran Bretaña**	24 horas	—	50	—

\* Fuente: *Normas de Calidad del Aire a Nivel Internacional (Julio 2005)*

\*\* Fuente: *Sistema de Monitoreo atmosférico (SIMAT) Redes de Monitoreo en otros países, 2010*





Notas:

- (a) Los valores admiten +10%
- (b) Norma secundaria.
- (c) Norma primaria.
- (d) Brasil también tiene una norma para hollín con un valor límite de  $150 \mu\text{g m}^{-3}$  para un tiempo promedio de 24 horas que no debe superarse en más de una ocasión por año y un valor límite de  $60 \mu\text{g m}^{-3}$  para un tiempo promedio de muestreo de 1 año (promedio aritmético anual) que no debe superarse en ninguna ocasión.
- (e) Partículas sedimentables.- La máxima concentración de una muestra, colectada durante 30 días de forma continua, será de un miligramo por centímetro cuadrado ( $1 \text{mg cm}^{-2} \times 30\text{d}$ ).
- (f) Valor que no podrá ser excedido más de dos veces en un año.
- (g) (I) Áreas sensibles de protección especial; (II) áreas urbanas y rurales típicas y (III) áreas industriales especiales.
- (h) Diario Oficial de la Federación del 26 de septiembre del 2005.
- (i) EPA, NAAQS for Particle Pollution September 21, 2006.
- (j) La norma se considera superada, si antes que concluya el primer período anual de mediciones se registren mediciones sobre el valor de  $120 \mu\text{g/m}^3$ .
- (k) No puede ser superado más de una vez por año.
- (l) No debe exceder 30 veces al año.
- (m) La concentración no debe exceder más de 5 días.

Después de ver esta tabla nos damos cuenta que a nivel internacional son pocos los países que norman a las  $\text{PM}_{2.5}$ , prácticamente todos las  $\text{PM}_{10}$  y una proporción intermedia evalúa PST.

Con respecto a los HAP y de acuerdo a los datos en Europa, la concentración promedio anual de BaP se ha estimado en  $0,1 \text{ng m}^{-3}$  (WHO 2003). El nivel de emisión y concentración en el aire decrece cuando han sido modificados los combustibles que se usan para los sistemas de calentamiento y calefacción. En Londres los niveles de concentración son semejantes al resto de Europa, sólo en la parte central y al Este, los niveles ascienden a  $1 \text{ng m}^{-3}$ . Durante 1991 los niveles de BaP se encontraban en  $1,1 \text{ng m}^{-3}$ , con el mejoramiento de combustibles se logró disminuir a  $0,3 \text{ng m}^{-3}$  en 1999 y la suma de grupo representativo de HAP disminuyó de  $140 \text{ng m}^{-3}$  en 1991 a cerca de  $50 \text{ng m}^{-3}$  en 1999 (European Commission, 2001 en WHO 2003), donde se puede considerar este último valor como representativo de la zona europea (WHO 2003). Para poder aproximar las concentraciones de los HAP en México, se han hecho comparaciones con otros países. En un estudio realizado en el Suroeste de la Ciudad de México con  $\text{PM}_{10}$  durante 1998, mostró los siguientes resultados comparados con otros sitios (Amador 2003).

**Tabla 14 Concentración de algunos HAP en aire establecido para diversos sitios**

HAP	Límite en el aire ambiente ( $\text{ngm}^{-3}$ ) (anual)	Lugar	Suroeste de la Ciudad de México ( $\text{ng/m}^3$ )(anual)
Fenantreno	1 300,00	Vermont	$0,52 \pm 0,24^1 \pm 0,02^2$
	0,85-1,0*	Río de Janeiro, Brasil <sup>3</sup>	
Fluoranteno	60,00	Louisiana	$0,82 \pm 0,41^1 \pm 0,03^2$
	0,15 – 1,65*	Río de Janeiro, Brasil <sup>3</sup>	
Pireno	3 400,00	Vermont	$1,33 \pm 0,66^1 \pm 0,05^2$
	0,18 – 3,39*	Río de Janeiro, Brasil <sup>3</sup>	
Benzo(a)antraceno	0,57	Arizona	$0,64 \pm 0,31^1 \pm 0,03^2$
	1,10	Florida-Pinella	
	0,073 -2,01*	Río de Janeiro, Brasil <sup>3</sup>	
Criseno	50,00	Texas	$1,20 \pm 0,63^1 \pm 0,05^2$
Benzo(a)pireno	0,57	Arizona	$1,19 \pm 0,59^1 \pm 0,05^2$
	0,70	Pensilvania	
	0,30	Florida – Pinella	
	0,60	Indiana	
	0,30	Kansas	
	3,00	Texas	
	10,00	Agencia Ambiental Federal Alemana <sup>4</sup>	
	0,2 – 0,35*	Flanders, Bélgica <sup>5</sup>	
	1,2*	Okayama y Tokio, Japón <sup>6</sup>	
	2,8 *	Taichung, China <sup>7</sup>	
	2,6 *	Atenas, Grecia <sup>8</sup>	
0,88 -10,7 *	Río de Janeiro, Brasil <sup>3</sup>		
Dibenzo(a,h)antraceno	0,57	Arizona	i.l.c.
	0,071	Florida - Pinella	

 Fuente: Tabla reproducida con autorización de autor de tesis pág. 113 de *Amador (2003)*
<sup>1</sup> Desviación estándar anual

<sup>2</sup> Incertidumbre asociada al método analítico

\* Valores determinados en el correspondiente estudio, sin ser considerados como límites ambientales.

<sup>3,4,5,6,7</sup> Valores encontrados en estudios de diferentes autores, se encuentran citados en la bibliografía original y no consultada de nuevo para este trabajo.

i.l.c. inferior al límite de cuantificación del método.

Los datos anteriores muestran que para el caso del BaP los niveles cuantificados son comparables con las dos ciudades de Japón y con Río de Janeiro, lo que parece

congruente considerando el tamaño de la ciudad de México similar al de ellas. Sin embargo, la propuesta de este trabajo es la de evaluar la suma de varios HAP que se consideren representativos de ZMCM o de los que ya se hayan estudiado (Amador 2003).

**Tabla 15 Suma de 15 HAP\* comparados con los encontrados en el suroeste de la Ciudad de México**

Sitio de observación	Concentración (ngm <sup>-3</sup> )	Características del sitio de medición
Suroeste de la Ciudad de México	208	Enero a diciembre de 1998. Presente sólo en la fase particulada (PM <sub>10</sub> ). Zona rural – urbana. Casas habitación y zonas verdes aledañas. Moderada influencia vehicular.
Londres, Reino Unido <sup>1</sup>	166 121	1991. Suma de la fase particulada (PST) y gaseosa 1992
Stevenage, Reino Unido <sup>1</sup>	94 80	1991. Suma de la fase particulada (PST) y gaseosa 1992. Zona Industrial
Manchester, Reino Unido <sup>1</sup>	135 76	1991. Suma de la fase particulada (PST) y gaseosa 1992 .
Cardiff, Reino Unido <sup>1</sup>	96 59	1991. Suma de la fase particulada (PST) y gaseosa 1992. Zona cercana a la costa
Columbia, Denver	56	Junio 1981 a junio 1982 Suma de la fase particulada (PST) y gaseosa. El sitio de muestreo se encontró entre 10 y 30 m, cerca de avenida de gran afluencia vehicular.
Viena , Austria	412	Suma de la fase particulada y la fase gaseosa. La zona de muestreo fue a nivel de piso, cerca de una avenida con gran afluencia vehicular.

Fuente: Tabla reproducida con autorización de autor de tesis p. 113-114 de *Amador, (2003)*

\*HAP: Acenafteno, fluoreno, fenantreno, antraceno, fluoranteno, pireno, benzo[a]antraceno, criseno, benzo[b]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno, benzo[a]pireno, indeno[1,2,3-cd]pireno, dibenzo[ah]antraceno, benzo[gh]perileno y coroneno.

<sup>1,2,3</sup> Diferentes autores que se encuentran citados en la bibliografía original, no han sido consultados nuevamente para este trabajo.



A nivel internacional aún no hay restricciones que limiten el total de HAP en el aire y la EPA tampoco lo ha considerado como un dato que aún se deba normar, sin embargo para intentar definir límites, se pueden considerar los resultados de trabajos realizados en dos ciudades de EUA, Las Vegas y Denver con concentraciones promedio extramuros de HAP cancerígenos de  $15 \text{ ngm}^{-3}$  y  $50 \text{ ngm}^{-3}$  respectivamente (Molina 2005), la ZMCM tiene una densidad vehicular mayor que estas ciudades, si de toma en cuenta lo mencionado para Europa y los datos de EUA, se podría considerar para la ZMCM un valor razonable de concentración promedio de HAP asociados a las partículas de  $50 \text{ ngm}^{-3}$ , con un margen de error de entre 4 y 6 por ciento (Molina 2005).

## 5. IMPACTO SOCIAL Y AMBIENTAL QUE OCASIONA LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR PARTÍCULAS Y LOS HAP QUE CONTIENEN.

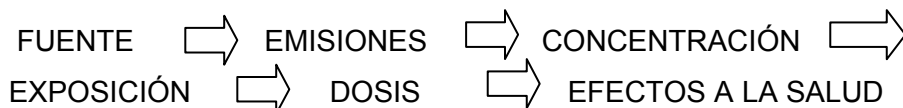
### 5.1 Impacto Social

Las políticas para reducir la contaminación del aire deben fundamentarse en el mejor conocimiento científico y tecnológico disponible. De manera natural, la Cd. de México tiene una situación geográfica adversa, que contribuye a la disminución de la calidad del aire. La altitud que tiene (~2 240 m) afecta de dos maneras:

- El aire contiene alrededor de 23 % menos oxígeno en la Cd. de México que en el nivel del mar, la consecuencia es que los motores de combustión interna se deben afinar a la proporción correcta oxígeno/combustible, si no se realiza eficientemente se provoca una combustión ineficiente y al aumento en las emisiones tóxicas.
- La otra consecuencia tiene repercusiones directas sobre las vías respiratorias, debido a que a una mayor altitud, debe inhalarse más aire para obtener una cantidad equivalente de oxígeno y por tanto se inhala una cantidad mayor de contaminantes. De esta forma, las personas que viven en altitudes elevadas necesitan más aire y si este está contaminado, se incrementa el riesgo de contraer enfermedades respiratorias, más frecuentemente (Molina 2005).

En el presente trabajo se pretende incidir en la asignación de la determinación de los HAP mejorar la salud pública y mitigar el deterioro ambiental. Al hablar de reducir el impacto que tiene la presencia de HAP adheridos a las partículas del aire, en la salud de la población, significa estimar disminuciones en la morbilidad y mortalidad de la población. Es importante señalar que las condiciones meteorológicas (humedad, temperatura, velocidad del viento), el tipo de población (edad, nivel socioeconómico) y el estado de salud de los habitantes influyen en los efectos de la contaminación.

Al hablar de impacto de los HAP y por tanto de las partículas a las que están asociados, es pertinente definir el concepto exposición como: *el evento de una persona en contacto con un contaminante a cierta concentración durante un período de tiempo, determinado a un proceso dado por:*





La palabra exposición debe ser separada de concentración, este último es un término cuantitativo que indica la cantidad de contaminante dentro de un ambiente dado. Altas concentraciones de contaminación, no necesariamente indican altas exposiciones.

Por ejemplo, si existen elevadas concentraciones de contaminantes cerca de una fábrica, altas exposiciones sólo ocurrirán si la población pasa mucho tiempo cerca de la fábrica; además, exposición no es lo mismo que dosis, ya que esta última se refiere a la cantidad de contaminante que realmente cruza las barreras del cuerpo. La dosis será definida por las características de la exposición, así como por factores como la solubilidad del contaminante, forma de depositación en el pulmón o por factores fisiológicos como nivel de actividad de la persona, edad, etc. Diversos estudios de los efectos a la salud por partículas suspendidas, están enfocadas a los efectos en vías respiratorias y/o cardiovasculares, que se presentan después de la inhalación; pero es pertinente señalar, que aunque este trabajo está dirigido en esta vía de acceso del contaminante, no se debe omitir que la piel y los ojos también se encuentran expuestos y son afectados (WHO 2005).

Los efectos adversos a la salud que produce la contaminación por material particulado en función del tipo de exposición se puede clasificar en las siguientes categorías.

**Tabla 16 Efectos a la salud por la contaminación**

Efectos atribuidos a exposiciones a corto plazo

- Mortalidad diaria
- Admisiones al hospital por problemas respiratorios y cardiovasculares
- Visitas de emergencia por problemas respiratorios y cardiovasculares
- Visitas de atención primaria por problemas respiratorios y cardiovasculares
- Uso de medicamentos por problemas respiratorios y cardiovasculares
- Días de actividad restringida
- Ausentismo laboral
- Ausentismo escolar
- Síntomas agudos como sonidos silbantes al respirar, flemas, tos, infecciones respiratorias
- Cambios fisiológicos (ejemplo función del pulmón)

Efectos atribuidos a exposiciones a largo plazo

- Mortalidad debida a enfermedades respiratorias y cardiovasculares
- Incidencia y prevalencia de enfermedades crónicas respiratorias (asma, enfermedad crónica por obstrucción pulmonar, cambios crónicos patológicos)
- Cambios crónicos en condiciones fisiológicas
- Cáncer de pulmón
- Enfermedades crónicas cardiovasculares
- Restricción de crecimiento intrauterino (bajo peso al nacimiento, retardo en el crecimiento intrauterino, pequeños para la edad gestacional)

Fuente: WHO Europe (2005), Air Quality Guidelines, p. 89

De acuerdo con la tabla es notorio que los efectos varían con el tiempo de exposición, siendo desde tan sólo uso de medicamentos, hasta la muerte. Considerando el promedio diario de las concentraciones de una población entera en un área geográfica establecida, la frecuencia de los efectos en la salud asociados a la exposición a material particulado, está inversamente relacionada con su severidad. La proporción de la población afectada con efectos leves, es mayor que con los efectos severos en presencia de los contaminantes, es decir efectos sutiles y subclínicos como deficiencia temporal en el funcionamiento del pulmón o inflamación pulmonar, resulta ser mucho más común que los casos de mortalidad, que son menos frecuentes (WHO 2005). Aunque la mayoría de los casos no son por mortalidad, es importante señalar que el incremento de efectos leves, son muchas las personas afectadas, que a la larga probablemente generen otras consecuencias a través de su vida (WHO 2005).



Figura 14 Pirámide de efectos a la salud asociados con la contaminación por Material Particulado  
Fuente: WHO Europe (2005), Air Quality Guidelines, p. 91

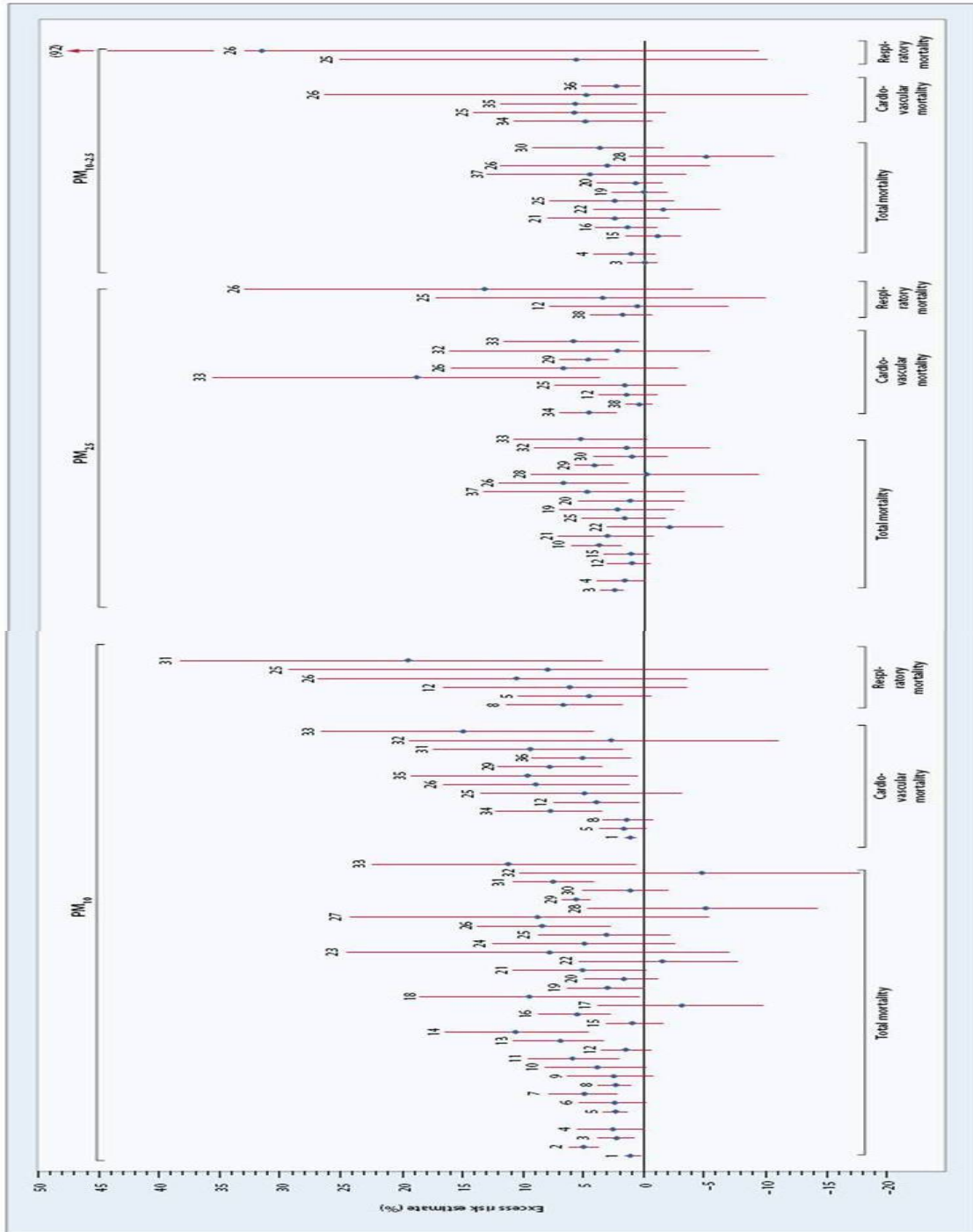
Desafortunadamente, las investigaciones realizadas a nivel mundial, generalmente muestran una constante relación que se da entre el “status” socioeconómico y los efectos en la salud. Un gran número de estudios epidemiológicos han mostrado que los riesgos de mortalidad y morbilidad se incrementan en la población con niveles socioeconómicos bajos y estudios que se realizan a largo plazo, revelan riesgos de mortalidad por exposición a material particulado en la población de menos ingresos, porque estas personas generalmente viven en las zonas más pobladas, o en lugares cercanos a carreteras, fábricas o sitios que generan muchos contaminantes, representando esto más



factores de riesgo, aunado a esto el restringido acceso a los servicios de salud, a una buena nutrición y a mejores condiciones sanitarias. Existe además una interrelación entre estas características de susceptibilidad y el nivel socioeconómico, ya que el tener una enfermedad crónica, conduce a la persona a no ser apta para trabajar normalmente. La WHO realizó en 2002 (WHO 2005) un taller de trabajo donde se comprobaron estas hipótesis. Los estudios de series de tiempo muestran una relación entre la concentración de PM con el riesgo de morbilidad y mortalidad, la siguiente figura nos lo muestra, está tomada de los documentos de USEPA en el que se recopilan datos de ciudades de EUA y Canadá. Los números en cada línea son las referencias bibliográficas de los responsables de las investigaciones y se pueden consultar en el documento original.



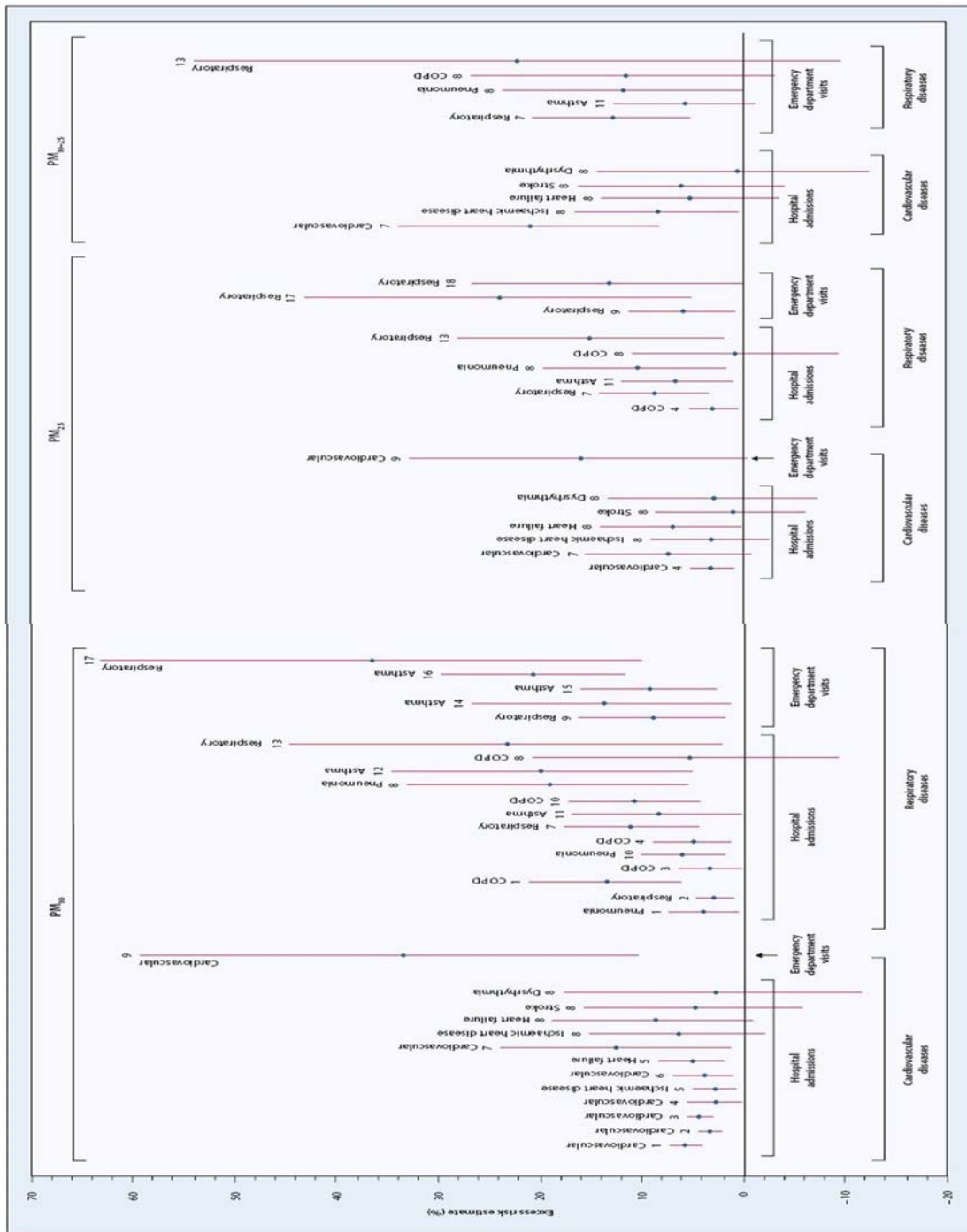
**Gráfica 1 Estimaciones de riesgo excesivo para mortalidad total, no accidental, por causas cardiovasculares y por respiratorias empleado en modelos con multi-contaminantes (No. 1-4 abajo) y un solo contaminante en estudios en EUA y Canadá**



Fuente : WHO Europe (2005), Air Quality Guidelines, p. 258-259,

Nota original: Los incrementos de PM fueron:  $50 \mu\text{g m}^{-3}$  para PM<sub>10</sub> y  $25 \mu\text{g m}^{-3}$  para PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10-2.5</sub>. Resultados presentados de estudios de series de tiempo que no utilizaron un modelo aditivo generalizado (GAM) o fueron realizados usando un modelo lineal generalizado (GLM). Fuente original US Environmental Protection Agency.

**Gráfica 2 Estimaciones de riesgo excesivo por admisión a hospitales y a emergencias por enfermedades cardiovasculares y respiratorias en modelos con un solo contaminante para ciudades de EUA y Canadá, incluyendo los resultados globales de un estudio multicuidad.**



Fuente : WHO Air Quality Guidelines, p. 266-267, Europe (2005)

Nota original: Los incrementos de PM fueron:  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $PM_{10}$  y  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10-2.5}$ . Resultados presentados de estudios de series de tiempo que no utilizaron un modelo aditivo generalizado (GAM) o fueron realizados usando un modelo lineal generalizado (GLM). Fuente original US Environmental Protection Agency.



El análisis considera todas las causas de mortalidad; en general las figuras muestran que las afecciones respiratorias y cardiovasculares son las que representan mayor incidencia de muerte entre los habitantes. La USEPA también ofreció una recopilación de las estimaciones del efecto que tiene el aumento en las afecciones cardiovasculares y respiratorias, con respecto al acceso a servicios hospitalarios y admisiones a salas de emergencia.

De manera general cuando se estudia la relación entre contaminación del aire y mortalidad prematura, aplican dos tipos de investigación: los estudios por cohorte y los estudios cronológicos. Los estudios por cohorte se llevan a cabo dando seguimiento a los individuos por muchos años, a fin de evaluar si una exposición de largo plazo, tiene relación con la tasa de mortalidad, al hacer estos estudios se toman en cuenta factores propios del individuo como afición al tabaco, ocupación, etc. Por otro lado, los estudios cronológicos rastrean los cambios en la contaminación del aire y los correlacionan con el número de muestras diarias en la población. Se encuentran en la literatura (Molina 2005) tres estudios por cohorte sobre mortalidad prematura en EUA provocada por la exposición a períodos prolongados a material particulado, llamados: Six Cities (1993), American Cancer Society (1995) y Adventist Health Study of smog (1999). El resumen de los tres es el que sigue:



Six Cities Study	Se le dió seguimiento por 15 a 17 años a más de 8 000 adultos blancos en seis ciudades de EUA. Se midieron concentraciones de $\text{PM}_{10}$ , $\text{PM}_{2.5}$ , sulfatos y gases contaminantes, en estaciones de monitoreo ubicadas en el centro de cada comunidad. Se controlaron factores de confusión como tabaquismo, educación, obesidad y exposición ocupacional. Por cada $\mu\text{g}\text{m}^{-3}$ de incremento en promedio anual de $\text{PM}_{2.5}$ , las tasas de mortalidad aumentan aproximadamente 1,3%. El riesgo relativo de mortalidad cardiopulmonar (representa 54% de las muestras totales) fue ligeramente mayor que el de mortalidad total. Estos resultados fueron corregidos por factores de confusión.
American Cancer Society	Fue una ampliación del trabajo anterior, se extendió a 552 138 individuos (94% de raza blanca y con menos de 30 años de edad al momento de iniciar el estudio), en 151 áreas metropolitanas en los 50 estados de EUA. El estudio se enfocó en el desarrollo de cáncer, consideró más covariables (consumo de alcohol y tabaquismo pasivo); para estimar la exposición se hizo coincidir a los individuos con los monitoreos ambientales más cercanos. Las exposiciones se evaluaron a partir de los datos iniciales del estudio (1979-1983) para $\text{PM}_{2.5}$ , con el supuesto que no cambiarían durante el período de investigación. Se observó que el aumento de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la concentración promedio anual de $\text{PM}_{2.5}$ se asoció al incremento de 0,5% en la tasa de mortalidad.
Adventist Health Study	Se observaron a 6 338 residentes no fumadores de California, EUA pertenecientes a la comunidad adventista del séptimo día (abstinentes de fumar, beber alcohol y consumir drogas), el estudio se concentra en el riesgo relativo de mortalidad prematura en relación con el número de días que exceden una concentración fija de contaminación, el análisis de esta población elimina algunas variables confusoras potenciales pero sus resultados no permiten hacer extrapolaciones a poblaciones heterogéneas,

Fuente: Molina 2005.

Para el caso de estudios de mortalidad en series cronológicas, no implica la consideración de muchas variables, ya que se realizan en las ciudades y a lo largo del tiempo, en estos las variables más influyentes son el clima y los contaminantes particulados.

Se presenta la siguiente tabla con el resumen de cinco estudios en series cronológicas, que revelan la relación significativa de la mortalidad total, con el incremento de  $10\mu\text{g}\text{m}^{-3}$  en  $\text{PM}_{10}$ , también es importante notar que los valores no son significativamente más altos para la población de adultos mayores y la infantil.

**TABLA 17 Estudios de mortalidad en series cronológicas para la ZMCM (los coeficientes representan incrementos porcentuales en la mortalidad por cada  $10 \mu\text{g}\text{m}^{-3}$  de aumento en  $\text{PM}_{10}$ )**

Estudio	Borja-Aburto 1997	Borja-Aburto 1998	Loomis 1999	Castillejos 2000	Télez-Rojo 2000
Población	Distrito Federal	Suroeste	Suroeste	Suroeste	Distrito Federal
Años	1990-1992	1993-1995	1993-1995	1993-1995	1994
Contaminantes atmosféricos en el modelo multicontaminante	Ozono, $\text{SO}_2$	Ozono, $\text{SO}_2$	Ozono, $\text{SO}_2$	Ozono, $\text{SO}_2$	Ninguno ( se evaluó el ozono pero no fue reportado)
Estimados de mortalidad <sup>a</sup>					
Total	1,2% (0.7%,1.7%)	1,1% (0.1%,1.9%)	-	2,5% (1.1%,3.8%)	-
Mayores de 65 años	1,2% (0.5%,1.8%)	1,4% (0.2%,2.6%)	-	3,1% (1.3%,4.9%)	-
Menores de un año	-	-	3,9% (-0.3%,8.2%)	-	-
Afecciones respiratorias	1,9% (0.3%,3.7%)	1,1% (NS,3.9%)	-	6,4% (2.2%,10.6%)	-
Afecciones respiratorias en mayores de 65 años	-	-	-	-	2,2% (0.3%,4.2%) <sup>b</sup>
Afecciones cardiovasculares	1,0% (0.2%,2.0%)	2,1% (0.4%,3.8%)	-	-	-

Fuente: Molina 2005 p.153

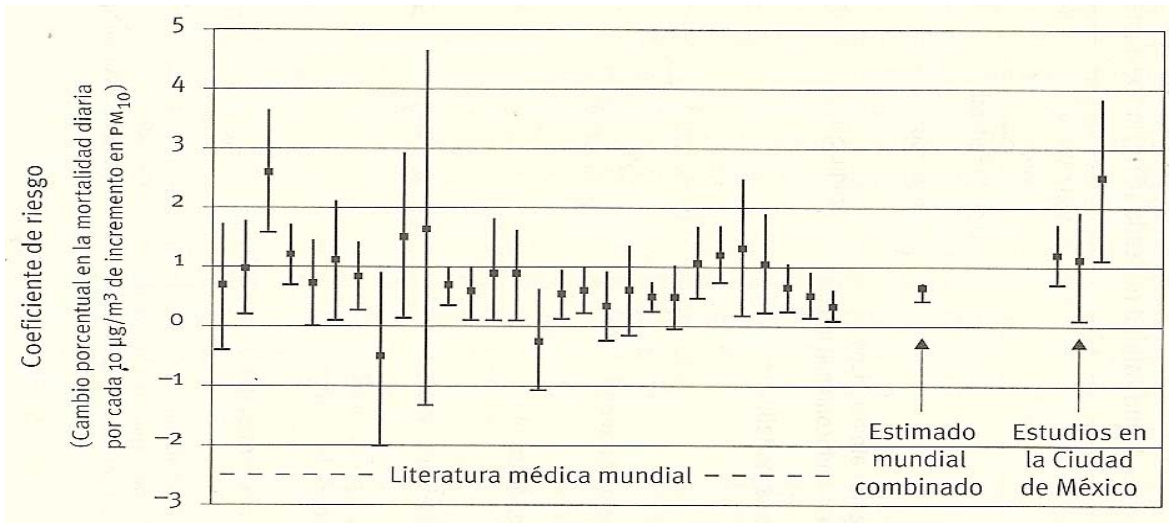
<sup>a</sup> Incremento porcentual por cada  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{10}$ , tomado del modelo multicontaminante. Valores normales al suponer que  $\text{PM}_{10}$  incluyen 50% de PST y que  $\text{PM}_{2.5}$  comprenden 62% de  $\text{PM}_{10}$ , como fue expuesto en estos estudios.

<sup>b</sup> Promedio ponderado de los estimados dentro y fuera de las unidades médicas, obtenido del promedio de las visitas diarias.

Si se combinan las conclusiones de los tres estudios en series cronológicas como la cuantificación total de mortalidad, se encuentra que la mortalidad diaria aumenta 1,4% por cada  $10 \mu\text{g}\text{m}^{-3}$  de incremento en la concentración de  $\text{PM}_{10}$ .

A nivel internacional se muestra la siguiente figura, donde se observa que los estudios en series cronológicas sobre mortalidad por  $\text{PM}_{10}$  en la ZMCM se encuentran efectos unitarios apenas mayores que el promedio mundial, dentro del rango que existe en otras partes del mundo.

**Gráfica 3 Estudios sobre mortalidad a nivel internacional comparados con México**



Fuente: Molina 2005 p. 154.

La bronquitis crónica tiene una alta incidencia debido al efecto de exposiciones a material particulado considerado a largo plazo, se caracteriza por presencia de tos con moco, los estudios sobre esta afección representan un avance con respecto a la evaluación de los beneficios respecto a la morbilidad por contaminación con material particulado. Aunque los estudios realizados a la fecha no se consideran estadísticamente contundentes, la EPA en 1999 estimó que la incidencia de bronquitis crónica aumenta 10% por cada incremento de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para exposiciones a largo plazo a  $\text{PM}_{10}$ , aunque aún se puede considerar contundente, tomando en cuenta la variabilidad de las fracciones de partículas. Muchos de los estudios que se han realizado para la ZMCM muestran incumplimiento a la norma oficial referida a partículas, la NOM-025-SSA1-1993, por lo tanto se encuentra latente en el ambiente ese riesgo de efectos a la salud, tan impactante para la población, que a pesar de estar informada por medios electrónicos, es poca la atención que presta a los informes de monitoreo de SIMAT. El Gobierno del Distrito Federal consciente de la importancia que tiene la protección a la salud pública, evalúa anualmente la calidad del aire a través de la valoración científica y comparación con los valores guía que ofrece la OMS y las referencias de EUA. El SIMAT es el instrumento con el que se monitorea la calidad del aire en la ZMCM y es en el Informe anual donde se publican (Informe 2009). Durante 2009, las PST superaron el 98% percentil establecido en  $210 \mu\text{g}/\text{m}^3$  por la NOM. La concentración máxima fue en Xalostoc, Estado de México con un valor mínimo percentil de  $769 \mu\text{g}/\text{m}^3$  el día 9 de noviembre.



**Tabla 18 Evaluación del cumplimiento de los indicadores de la Norma Oficial Mexicana para PST por estación de monitoreo durante 2009**

Entidad	Estación	Clave	Valor percentil 98 (NOM=210 $\mu\text{g}\text{m}^{-3}$ )	Cumple la NOM
Distrito Federal	Cerro de la Estrella	CES	226	NO
	Merced	MER	396	NO
	Pedregal	PED	256	NO
	UAM Iztapalapa	UIZ	202	SI
Estado de México	Tlanepantla	TLA	238	NO
	Xalostoc	XAL	769	NO

Fuente: *Informe 2009, p. 28*

Nota: Las concentraciones están reportadas a condiciones locales de presión y temperatura.

En el caso de las  $\text{PM}_{10}$  la Ciudad de México continúa en incumplimiento de los límites definidos en la norma. Sólo las estaciones Lomas (LOM) y Pedregal (PED), en el DF reportaron cumplimiento de los valores límite. En el resto de las estaciones dista mucho a resolverse. En aquellas estaciones donde la concentración no excede el valor percentil 98, se supera el valor para el promedio anual. Las estaciones XAL y LPR ambas en el Estado de México, son las que reportan las mayores concentraciones para ambos indicadores, como se muestra en la Tabla 19.

**Tabla 19 Evaluación del cumplimiento de los indicadores de la Norma Oficial Mexicana para  $\text{PM}_{10}$  por estación de monitoreo durante 2009**

Entidad	Estación	Clave	Valor percentil 98 (NOM=120 $\mu\text{g}\text{m}^{-3}$ )	Valor promedio anual (NOM=50 $\mu\text{g}\text{m}^{-3}$ )	Cumple la NOM
Distrito Federal	Cerro de la Estrella	CES	91	56,1	NO
	Lomas	LOM	91	44,4	SI
	Merced	MER	101	59,3	NO
	Pedregal	PED	68	39,9	SI
	Secretaria de Hacienda	SHA	94	53,1	NO
	UAM Iztapalapa	UIZ	87	50,8	NO
Estado de México	La Presa	LPR	125	68,7	NO
	Nezahualcoyotl Sur	NTS	90	54,3	NO
	Tlanepantla	TLA	105	62,7	NO
	Xalostoc	XAL	247	105,6	NO

Fuente: *Informe 2009*, p. 29

Nota: Las concentraciones están reportadas a condiciones locales de presión y temperatura.

Para  $\text{PM}_{2,5}$  en todas las estaciones de monitoreo las concentraciones promedio de 24 h no superaron el indicador de  $65 \mu\text{g}\text{m}^{-3}$  (percentil 98), sin embargo excedieron el valor promedio anual de  $15 \mu\text{g}\text{m}^{-3}$ . El promedio anual más alto se registró en Xalostoc (XAL) en el Estado de México con  $26,0 \mu\text{g}\text{m}^{-3}$ , mientras que la menor concentración se registró en Pedregal con  $18,5 \mu\text{g}\text{m}^{-3}$ .



**Tabla 20 Evaluación del cumplimiento de los indicadores de la Norma Oficial Mexicana para  $\text{PM}_{2.5}$  por estación de monitoreo durante 2009**

Entidad	Estación	Clave	Valor percentil 98 (NOM=65 $\mu\text{gm}^{-3}$ )	Valor promedio anual (NOM=15 $\mu\text{gm}^{-3}$ )	Cumple la NOM
Distrito Federal	Coyoacán	COY	44	19,8	NO
	Merced	MER	52	22,4	NO
	Pedregal	PED	39	18,5	NO
	UAM Iztapalapa	UIZ	48	26,6	NO
Estado de México	San Agustín	SAG	34	19,3	NO
	Tlanepantla	TLA	44	21,3	NO
	Xalostoc	XAL	58	26,0	NO

Fuente: *Informe 2009, p. 29*

Nota: Las concentraciones están reportadas a condiciones locales de presión y temperatura.

La actualización y concordancia que puedan tener las normas mexicanas con recomendaciones de la OMS y estándares de la USEPA permite alinear esfuerzos que ayuden a mejorar la calidad del aire y proteger la salud de la población. La evidencia científica reciente ha mostrado que los efectos en la salud se pueden observar a concentraciones más bajas, lo que ha motivado la disminución de los límites para los estándares de calidad del aire en países desarrollados. La siguiente tabla comparativa ofrece de manera cronológica la revisión y actualización de las recomendaciones por la OMS y la USEPA. La tabla original contiene desde 1971, donde se inician las actividades de gestión ambiental, en este trabajo se presenta únicamente de 1994-2010 para confirmar que la NOM-025-SSA1 en estudio, no se ha modificado y actualizado desde 2005, de acuerdo a lo presentado en el Informe de 2009.

La tabla 21 muestra la cronología de revisión de estándares por la OMS, la USEPA y las NOM de 1994 a 2010.

**Tabla 21 Cronología comparativa de la revisión y actualización de las recomendaciones de la OMS, la USEPA y las NOM.**

Año	Revisión OMS	Revisión USEPA	Revisión NOM
1994	-	Según revisión del estándar de SO <sub>2</sub> decide "no" revisar el estándar de CO y mantener los valores	Se publican oficialmente las normas de salud ambiental para O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , CO, PM <sub>10</sub> , PST, Pb. El límite de CO se modifica.
1996	-	2ª Revisión del estándar de NO <sub>2</sub>	-
1997	Actualización de las guías para Europa	Segunda revisión del estándar de O <sub>3</sub> y PM <sub>10</sub> . Se incluye estándar para PM <sub>2,5</sub>	-
2000	Actualización guías Europa (O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , PM, CO y otro)	-	-
2002	-	-	Se revisa y modifica la norma O <sub>3</sub>
2005	Actualización global para O <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub> y PM <sub>2,5</sub>	-	Se revisa y modifica la norma de PM <sub>10</sub> y PST. Se incluyen límites de PM <sub>2,5</sub>
2007	-	Tercera revisión del estándar de O <sub>3</sub>	-
2008	-	Segunda revisión del estándar de Pb. Se incluye un nuevo límite	-
2009	-	Cuarta revisión del estándar de O <sub>3</sub> (en proceso)	-
2010	-	Tercera revisión del estándar de NO <sub>2</sub> y SO <sub>2</sub>	-

Fuente: *Informe 2009*, p. 39

En México se tienen que revisar las prioridades por parte de las autoridades, a la revisión de las normas de calidad del aire para aeropartículas, reiteradamente consideradas en este trabajo con un elevado riesgo para la salud y mortalidad, la necesidad de atacar esta amenaza tiene entre otras, dos razones muy importantes, la primera es que en el monitoreo, la mayoría de las evaluaciones no presenta cumplimiento a la norma y aunque se cumpliera, la evidencia científica comprueba que el contenido de estas partículas, en cualquier concentración contienen los HAP causantes de afecciones respiratorias, cardiovasculares y tan probablemente cancerígenas; la segunda es la complicada labor

de las instancias gubernamentales que gestionan la calidad del aire, al buscar reducir los niveles alcanzados, situación al parecer más delicada de lograr, ya que los estándares que indica la OMS y USEPA son más bajos, que los indicados para México.

Las tablas 22 y 23 muestran los valores alcanzados en la Ciudad de México, al compararse con los de la USEPA y la OMS, en 2009.

**Tabla 22 Evaluación del cumplimiento de los valores recomendados por la OMS, la USEPA y la NOM para  $\text{PM}_{10}$  durante 2009**

	OMS		US EPA	NOM	
	Percentil 99 24h	Promedio anual	Promedio Trianual del 2 <sup>o</sup> máximo 24h	Promedio anual	Percentil 98 24h
Valor recomendado	$50 \mu\text{gm}^{-3}$	$20 \mu\text{gm}^{-3}$	$150 \mu\text{gm}^{-3}$	$50 \mu\text{gm}^{-3}$	$120 \mu\text{gm}^{-3}$
Ciudad de México	$287 \mu\text{gm}^{-3}$	$106 \mu\text{gm}^{-3}$	$169 \mu\text{gm}^{-3}$	$106 \mu\text{gm}^{-3}$	$247 \mu\text{gm}^{-3}$
Cumple	NO		NO	NO	

Fuente: *Informe 2009, p. 42*

\* Las concentraciones de  $\text{PM}_{10}$  para Ciudad de México, están reportadas a condiciones locales de presión (582 mm Hg) y temperatura (18°C).

**Tabla 23 Evaluación del cumplimiento de los valores recomendados por la OMS, la USEPA y la NOM para  $\text{PM}_{2.5}$  durante 2009**

	OMS		US EPA		NOM	
	Percentil 99, 24h	Promedio anual	Promedio Trianual del 2 <sup>o</sup> máximo 24h	Promedio Trianual	Percentil 98, 24h	Promedio anual
Valor recomendado	$25 \mu\text{gm}^{-3}$	$10 \mu\text{gm}^{-3}$	$35 \mu\text{gm}^{-3}$	$15 \mu\text{gm}^{-3}$	$65 \mu\text{gm}^{-3}$	$15 \mu\text{gm}^{-3}$
Ciudad de México	$58 \mu\text{gm}^{-3}$	$26 \mu\text{gm}^{-3}$	$43 \mu\text{gm}^{-3}$	$21 \mu\text{gm}^{-3}$	$58 \mu\text{gm}^{-3}$	$26 \mu\text{gm}^{-3}$
Cumple	NO		NO		NO	

Fuente: *Informe 2009, p. 42*

\* Las concentraciones de  $\text{PM}_{10}$  para Ciudad de México, están reportadas a condiciones locales de presión (582 mm Hg) y temperatura (18°C).

El Gobierno del Distrito Federal y del Estado de México, con el apoyo de las Secretarías del Medio Ambiente, Ecología, Salud y la Comisión Ambiental Metropolitana, planearon un programa de más de cinco años, que tiene como propósito reducir las emisiones



contaminantes y mejorar la calidad del aire, los antecedentes a este trabajo son el PICCA (Programa Integral para Control de la Contaminación Atmosférica) 1990-1994 y (Programa para Mejorar la Calidad del Aire en la ZMCM (PROAIRE) 1995-2000. En este programa se ha incluido el conocimiento científico adquirido por investigadores nacionales e internacionales, que han puesto sus conocimientos al auxilio del mejoramiento del ambiente de la ZMCM. El apoyo para la realización de los estudios en el que se basó la elaboración de este programa fue obtenido por el Banco Mundial, del Global Environmental Found (GEF), del Consejo de Estudios de Restauración y Valoración Ambiental (CONSERVA) y del Fideicomiso Ambiental del Valle de México (FIDAM), entre otros. También se tuvo apoyo del Gobierno de Alemania, a través de la Agencia de Cooperación Técnica GTZ (PROAIRE 2010).

Los resultados de este programa confirman el efecto negativo que provoca la contaminación a la salud y elevados costos económicos a la sociedad. Las personas enfermas no se desenvuelven libremente, sufren pérdidas económicas por incapacidad, atrasan los avances económicos personales y sociales, además de presentar un detrimento en su crecimiento personal.

Para cuantificar los beneficios en la salud y el mejoramiento del ambiente, PROAIRE realiza dos estudios en el 2000, la Valoración Económica del mejoramiento de la calidad del aire en la ZMCM hecha por investigadores del Centro Nacional de Salud Ambiental (CENSA) y del Centro de Investigaciones en Medio Ambiente de Holanda (IVM), con auspicio del Banco Mundial. El otro estudio realizado en este programa es Contaminación atmosférica en la ZMCM y salud humana, con la colaboración de la Escuela de Salud Pública de Harvard, el Instituto de Salud, Ambiente y Trabajo y la Universidad Autónoma Metropolitana. En estos se estimó el efecto de las  $\text{PM}_{10}$  en la salud y la cuantificación económica del mejoramiento del aire.

La tabla 24 muestra el impacto social que tiene el incrementar los niveles de contaminación de  $\text{PM}_{10}$  en  $10 \mu\text{g}\text{m}^{-3}$ .



Tabla 24 Funciones exposición respuesta en la ZMCM-población general

Indicadores	% de cambio por cada $10 \mu\text{g}\text{m}^{-3}$ de $\text{PM}_{10}$ , promedio diario
<b>Admisión en hospitales</b>	
• Respiratoria	1.39
• Cardicerebro-vascular	0.60
• Falla congestiva del corazón	1.22
<b>Visitas a la sala de emergencia</b>	
• Respiratoria	3.11
<b>Días de actividad restringida</b>	
• Total (adultos)	7.74
• Días laborables perdidos (adultos)	7.74
• Total (niños)	7.74
• Días laborables perdidos de mujeres	7.74
<b>Días de actividad restringida menor</b>	
• Total (adultos)	4.92
<b>Efectos en asmáticos</b>	
• Ataques de asma	7.74
• Tos sin flema (niños)	4.54
• Tos con flema (niños)	3.32
• Tos con flema y uso de bronquodilatador	10.22
• Algunos síntomas respiratorios (niños)	-
• Síntomas respiratorios menores	-
<b>Síntomas respiratorios</b>	
• Síntomas en vías respiratorias superiores	4.39
• Síntomas en vías respiratorias inferiores	6.85
• Sibilancias	-
• Bronquitis aguda	11.0
<b>Morbilidad crónica</b>	
• Bronquitis crónica, casos adicionales	3.60
• Tos crónica, prevalencia (niños)	0.30
<b>Mortalidad por medición longitudinal</b>	
• Total	3.84
<b>Mortalidad por medición transversal</b>	
• Total	1.01
• Infantil	3.52

Fuente original: IVM, DGSA-SSA/CENSA, CAM, PAHO, EHS-UCLA, *Economic valuation of improvement of air quality in the Metropolitan Area of Mexico City, Mexico, D.F.*, 2000

Fuente: PROAIRE 2010, p. 4-8

Se observa que el incremento, aumenta los casos de enfermos por vías respiratorias y los de bronquitis aguda; en caso de enfermos asmáticos, se elevan los ataques de asma, los de tos con flema y el uso de bronquodilatador. Hay incremento de visitas a las salas de emergencia; ausentismo escolar de niños y laboral de adultos, que se traducen como días de actividad restringida, hasta llegar a contar con casos de muerte.

La valoración del impacto a la salud, como porcentaje de cambio en cuanto a la morbilidad y mortalidad en la población general, se muestra en la tabla 25.



**Tabla 25 Funciones exposición respuesta en la ZMCM-población general**

	% de cambio por cada $10 \mu\text{g}\text{m}^{-3}$ de $\text{PM}_{10}$	% de cambio por cada $10 \mu\text{g}\text{m}^{-3}$ de $\text{PM}_{2.5}$
Mortalidad diaria	0.6	
Mortalidad crónica	3	
Mortalidad prematura		
Mortalidad total		1.7
Niños		6.3
Personas mayores		2.3
Bronquitis crónica	10	

Fuente original: Harvard School of Public Health, Boston, MA. , Instituto de Salud Ambiente y Trabajo, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, Mexico City Air Pollution and Human Health, México, D.F, 2000

Fuente: PROAIRE 2010, pág. 4-9

Se infiere que cada aumento de  $10 \mu\text{g}\text{m}^{-3}$  en los niveles de  $\text{PM}_{10}$  puede ocasionar un incremento entre 0.6 y 3.5% en casos de mortalidad aguda y de 3 a 3.8% en los casos de mortalidad crónica. El aumento de  $10 \mu\text{g}\text{m}^{-3}$  en los niveles de  $\text{PM}_{2.5}$  se puede tener un incremento de mortalidad total de 1.7% . Ambos estudios coinciden en el hecho de que la mortalidad atribuible a la contaminación atmosférica, sucede en personas que ya padecen una enfermedad cardíaca, alguna respiratoria, en personas de edad avanzada y en los niños (PROAIRE 2010).

Como contraparte a las anteriores consecuencias, PROAIRE también realizó una estimación de morbilidad y mortalidad que se evitarían ante una reducción en los niveles actuales tanto de ozono como de las  $\text{PM}_{10}$  en la ZMCM. Para modelar las proyecciones al 2010 sobre el incremento en los niveles de  $\text{PM}_{10}$ , se empleó un inventario de emisiones que incluye las 16 delegaciones del Distrito Federal y 18 municipios conurbados del Estado de México.

Los estudios de evaluación simularon 4 escenarios de calidad del aire en la ZMCM, considerando las siguientes situaciones: el primer escenario valoró una reducción del 10% en la concentración de  $\text{PM}_{10}$  con respecto a los niveles actuales; el segundo consideró una reducción del 20%; el tercero valoró una disminución de las concentraciones máximas y mínimas promedio en la ZMCM hasta cumplir con las normas de calidad del aire (NCA1) y el último incorporó una disminución de las concentraciones máximas del



sitio específico más contaminado que reporta la red de monitoreo, hasta cumplir con la norma (NCA2).

**Tabla 26 Reducción de los casos de morbilidad en la ZMCM en cuatro escenarios de disminución de los niveles de PM<sub>10</sub> para el año 2010**

Indicadores	Escenario			
	10 %	20 %	NCA1	NCA2
<b>Admisión hospitalaria</b>				
Respiratoria	6,88	1,376	1,510	3,221
Cardio-cerebrovasculares	291	582	638	1,361
Falla congestiva de corazón (en la vejez)	0,36	0,71	0,78	1,66
<b>Visitas a la sala de emergencia</b>				
Respiratoria	11,858	23,717	26,029	55,507
<b>Días de actividad restringida</b>				
Total (adultos)	4,102,282	8,204,565	9,004,464	19,202,173
Días laborables perdidos (adultos)	998,116	1,996,233	2,190,854	4,672,035
Total (niños)	1,630,710	3,261,421	3,579,391	7,633,112
Días laborables perdidos de mujeres por la atención de niños	428,269	856,537	940,045	2,004,662
<b>Días de actividad restringida menor</b>				
Total (adultos)	3,148,315	6,296,630	6,910,516	14,736,794
<b>Efectos en asmáticos</b>				
Tos sin flema (niños)	1,569	3,139	3,445	7,346
Tos con flema (niños)	115	230	252	537
<b>Morbilidad crónica</b>				
Bronquitis crónica, nuevos casos	3,063	6,126	6,723	14,337
Tos crónica, prevalencia niños	574	1,148	1,260	2,686

Fuente original: IVM, DGSA-SSA/CENSA, CAM, PAHO, EHS-UCLA, Economic valuation of improvement of air quality in the Metropolitan Area of Mexico City, Mexico, D.F. , 2000

Fuente: PROAIRE 2010, pág. 4-12

Se observa con esta tabla que los beneficios que se obtendrían por reducir las PM<sub>10</sub> hasta cumplir con la norma de calidad del aire, evitarían:

- Más de 2 mil casos de admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias, cardiocerebrovasculares,
- más de 26 mil visitas a la sala de emergencia por problemas en las vías respiratorias,
- la pérdida de productividad y bienestar a más de 9 millones de días de actividad restringida en adultos,
- la pérdida de productividad debida a más de 940 mil días laborables destinados por las mujeres a la atención de niños enfermos,
- la manifestación de efectos en aproximadamente 3 mil 600 niños que padecen asma



- más de 6 mil quinientos nuevos casos de bronquitis crónica y más de mil casos de tos crónica en niños.

Por su parte el estudio de la Universidad de Harvard sugiere que una reducción del 10% de concentración de  $\text{PM}_{10}$  en el ambiente, podría prevenir alrededor de mil muertes prematuras por año y 10 mil nuevos casos de bronquitis crónica. El mismo estudio plantea, que una reducción del 10% en los niveles de todos los tóxicos carcinógenos del aire, podría disminuir el número de casos de cáncer entre la población, en aproximadamente 100 casos cada año. Este valor pone en evidencia, la importancia de los beneficios a la salud, que se pueden obtener a través del control y regulación de los tóxicos del aire y los contaminantes criterio (PROAIRE 2010).

Para la economía de un país, los daños ambientales son reconocidos como la primordial pérdida de bienestar para sus habitantes. Si la contaminación en general y en este caso, la ocasionada por aeropartículas y los compuestos que las contienen, afecta a un grupo de la población, esto invariablemente repercute en otro u otros, generando a su vez un problema económico y social, en el que a veces se pierde de vista, atacarlo desde su origen. Las consecuencias que tiene el detrimento de la salud en los habitantes afectados, se reflejan en los costos que implica el tratamiento de la enfermedad, la adquisición de medicamentos, el pago de honorarios del médico, los gastos de hospitalización y/o la atención en las salas de emergencia. El siguiente sector afectado, es el laboral con la pérdida de productividad, debido a la ausencia de las personas, al trabajo por estar enfermas o por atender a un enfermo. También la pérdida de productividad se presenta durante los eventos de contingencia o emergencia ambiental, ya que la industria reduce su capacidad de producción, al reducir la emisión de contaminantes a la atmósfera. Por último, la valoración por muertes prematuras, su impacto económico se traduce en términos de años de vida perdidos por exposición aguda o crónica.





## 5.2 Impacto Ambiental

Un producto importante que ofrece el gobierno a través del INEGI, son los resultados anuales del Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas de México 2003-2006 a valores corrientes, como parte de los productos del Sistema de Cuentas Nacionales de México. Estos resultados permiten identificar el impacto ambiental desde el punto de vista económico, así como los costos por el agotamiento de los recursos naturales y la degradación del ambiente. El marco de referencia para desarrollar el informe mencionado fue el Manual del Sistema de Cuentas de 1993, también incorpora las últimas recomendaciones establecidas en el borrador del Sistema de Contabilidad Ambiental Integrado 2003 y los resultados de las principales variables económicas fueron presentadas de acuerdo al Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte 2002 (INEGI 2009).

Los resultados incluyen el estimado de Producto Interno Bruto (PIB) obtenido en el año y se le deducen dos tipos de costos: uno es el consumo de capital fijo y el otro son los gastos imputados por los usos ambientales. En este último rubro se incluyen los costos por agotamiento de recursos y los costos por degradación ambiental, después de sustraerlos, se obtiene el Producto Interno Neto Ajustado Ambientalmente o también denominado Producto Interno Neto Ecológico (PINE).

**Tabla 27 Producto Interno Neto ajustado Ambientalmente o también denominado Producto Interno Neto Ecológico (PINE) (En millones de pesos).**

Concepto	2006	Estructura porcentual
Producto Interno Bruto	10 306 839	100.0
(-) Consumo de Capital Fijo	(-) 882 688	(-) 8.6
Producto Interno Neto	9 424 151	91.4
(-) Costos Totales por agotamiento y degradación ambiental	(-) 903 724	(-) 8.8
Producto Interno Neto Ecológico	8 520 427	82.7

Nota: debido al redondeo la suma de los parciales puede no coincidir con el total

Fuente: SCNM. Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas de México 2003-2006. INEGI, 2009.

El cálculo indica que en 2006 el costo económico que debió asumir la sociedad para restituir, remediar o prevenir el agotamiento y la degradación de los recursos naturales y ambiente, se traducen en \$ 903 724 millones de pesos, lo que representa el 8.8% del PIB, de esta manera el PINE representó \$ 8 520 427 millones de pesos.



La siguiente tabla permite observar que el porcentaje más alto de costo ecológico, corresponde a la contaminación atmosférica, representando el 4.7% del PIB,

**Tabla 28 Costos Totales por agotamiento y Degradación Ambiental**

Concepto	2006 (millones de pesos)	Porcentajes respecto al PIB
Costos Totales	903 724	8.8
Costos por Agotamiento	288 366	2.8
Agotamiento de petróleo	204 467	2.0
Cambios en el volumen de los recursos forestales	55 868	0.5
Uso de agua subterránea	28 031	0.3
Costos por Degradación	615 358	6.0
Degradación del suelo	60 249	0.6
Residuos sólidos	32 660	0.3
Contaminación del agua	35 364	0.3
Contaminación atmosférica	487 085	4.7

Nota: Debido al redondeo, la suma de los parciales puede no coincidir con el total.

Fuente: SCNM. Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas de México 2003-2006. INEGI, 2009

Los gastos realizados, en el año referido, por el gobierno federal para prevenir, controlar o disminuir el daño ambiental generado por actividades de producción, distribución y consumo (gastos de protección ambiental) se calcularon en \$ 58 573 millones de pesos, representando el 0.6% del Producto Interno Bruto.

En el informe más reciente disponible en la biblioteca del INEGI, correspondiente a 2002, presenta el inventario de emisiones de 1994, 1996 y 1998. Este presenta la información sobre los orígenes de la contaminación en el aire, clasificándolas en 4 tipos de fuentes y cada una refleja el comportamiento de las emisiones junto con las actividades a las que se relacionan, la tabla 29 muestra el inventario de emisiones de  $\text{PM}_{10}$  que hubo en 1998.



**Tabla 29 Inventario de emisiones de PM<sub>10</sub> en 1998**

<b>INVENTARIO DE EMISIONES DE LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO 1998</b>		
<b>(Toneladas por año)</b>		
<b>Año y tipo de fuente</b>	<b>Totales</b>	<b>Emisiones PM<sub>10</sub></b>
<b>1998</b>	<b>2 859 218</b>	<b>11 796</b>
<b>Total</b>		
Fuentes puntuales	71 085	2 873
Fuentes de área	432 953	460
Fuentes móviles	2 331 941	6 793
Vegetación y suelos	23 239	1 670

NOTA: Recálculo para comparabilidad con el inventario de emisiones 2000  
 NA: No aplicable  
 FUENTE ORIGINAL: GDF, Secretaría del Medio Ambiente, Dirección General de Gestión del Aire, Dirección de Inventario de Emisiones y Fuentes Estacionarias  
 Fuente: INEGI 2002 p.152

Los mismos datos ahora expresados en porciento nos dan la siguiente información

**Tabla 30 Inventario de emisiones de PM<sub>10</sub> en 1998, en porciento**

<b>DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE INVENTARIO EMISIONES DE LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO</b>		<b>Emisión</b>
<b>(Porcentaje)</b>		
<b>Sector</b>		<b>PM<sub>10</sub></b>
<b>1998</b>		<b>100</b>
Fuentes puntuales		24
Fuentes de área		4
Fuentes móviles		58
Vegetación y suelos		14

NOTA: Recálculo  
 FUENTE ORIGINAL: GDF, Secretaría del Medio Ambiente, Dirección General de Gestión del Aire, Dirección de Inventario de Emisiones y Fuentes Estacionarias  
 Fuente: INEGI 2002, p.152

También se tiene en el informe la tabla 31 correspondiente al año 2000 para PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> y después la tabla 32 muestra la respectiva expresión porcentual.



**Tabla 31 Inventario de emisiones de  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2,5}$  en 2000**

<b>INVENTARIO DE EMISIONES DE LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO 2000</b> (Toneladas por año)			
<b>Sector</b>	<b>Total</b>	<b>Emisiones</b>	
		<b><math>\text{PM}_{10}</math></b>	<b><math>\text{PM}_{2,5}</math></b>
<b>Total</b>	<b>3 553 076</b>	<b>10 341</b>	<b>6 033</b>
Fuentes puntuales	93 591	2 809	572
Fuentes de área	816 222	509	492
Fuentes móviles	2 609 438	5 287	4 589
Vegetación y suelos	33 825	1 736	380

FUENTE ORIGINAL: GDF Secretaría del Medio Ambiente, Dirección General de Gestión del Aire, Dirección de Inventario de Emisiones y Fuentes Estacionarias.

Fuente: INEGI 2002, p.153

**Tabla 32 Inventario de emisiones en porciento en 2000**

<b>DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL INVENTARIO DE EMISIONES DE LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO 2000</b> (Porcentaje)		
<b>Sector</b>	<b>Emisiones</b>	
	<b><math>\text{PM}_{10}</math></b>	<b><math>\text{PM}_{2,5}</math></b>
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
Fuentes puntuales	27,2	9,5
Fuentes de área	4,9	8,2
Fuentes móviles	51,1	76,0
Vegetación y suelos	16,8	6,3

FUENTE ORIGINAL: GDF Secretaría del Medio Ambiente, Dirección General de Gestión del Aire, Dirección de Inventario de Emisiones y Fuentes Estacionarias.

Fuente: INEGI 2002, p. 153

En las tablas 31 y 32 vemos que la emisión de fuentes móviles y puntuales son los más significativos para las  $\text{PM}_{10}$ ; en el caso de las  $\text{PM}_{2,5}$ , las fuentes móviles representan más del 50% de las fuentes de emisión. Para tener una idea más clara en cuanto al tipo de fuente de emisión y la zona de origen en la ZMCM, se presenta la tabla 33.



**Tabla 33 Inventario de emisiones por origen de fuente en la ZMVM en 2000**

**DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL INVENTARIO DE EMISIONES POR TIPO DE FUENTE Y ENTIDAD SEGÚN CONTAMINANTE DE LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO 2000**

(Porcentaje)

Tipo de fuente y entidad	Emisiones	
	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>
Fuentes puntuales	100	100
Distrito Federal	38	22
Estado de México	62	78
Fuentes de área	100	100
Distrito Federal	44	43
Estado de México	56	57
Fuentes móviles	100	100
Distrito Federal	73	72
Estado de México	27	28
Vegetación y suelos	100	100
Distrito Federal	3	3
Estado de México	97	97

FUENTE ORIGINAL: GDF Secretaría del Medio Ambiente, Dirección General de Gestión del Aire, Dirección de Inventario de Emisiones y Fuentes Estacionarias.

Fuente: INEGI 2002, p.153

Como se observa el Estado de México contribuye más en la emisión de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> a partir de fuentes puntuales, de área y vegetación y suelos; es el Distrito Federal el que presenta el principal origen, por fuentes móviles, de presencia de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> en la atmósfera.

En específico, la tabla 34 muestra las fuentes móviles que emiten la mayor cantidad de aeropartículas en la ZMVM.

**Tabla 34 Inventario de emisiones por fuente móvil en la ZMVM en 2000**

**EMISIONES POR FUENTE MÓVIL EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO SEGÚN CONTAMINANTE 2000**

(Toneladas por año)

Fuente móvil	Total	Emisiones	
		PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>
<b>Total</b>	<b>2 609 438</b>	<b>5 287</b>	<b>4 589</b>
Autos particulares	1 047 764	963	721
Taxis	282 395	245	183
Combis	83 962	33	25
Microbuses	227 836	111	94
Pick up	165 747	118	93
Vehículos < 3 ton	524 668	558	485
Tractocamiones	60 858	2 058	1 893
Autobuses	27 883	949	873
Vehículos > 3 ton	136 529	213	193
Motocicletas	40 560	26	20
Camiones de carga a gas LP	11 016	13	9
Vehículos a GNC	220	NS	NS

FUENTE ORIGINAL: GDF Secretaría del Medio Ambiente, Dirección General de Gestión del Aire, Dirección de Inventario de Emisiones y Fuentes Estacionarias.

Fuente: INEGI 2002, p.155



La emisión por fuente de área señala, en el inventario de emisiones, que el mayor porcentaje de  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$  proviene de la combustión industrial y la habitacional, sin pasar por alto, la contribución de los incendios forestales, como lo muestra la tabla 35.

**Tabla 35 Inventario de emisiones por fuente de área en la ZMCM en 2000**

<b>EMISIONES POR FUENTE DE ÁREA EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO SEGÚN CONTAMINANTE 2000</b>			
<b>(Toneladas por año)</b>			
<b>Fuente de área</b>	<b>Total</b>	<b>Emisiones</b>	
		<b><math>\text{PM}_{10}</math></b>	<b><math>\text{PM}_{2.5}</math></b>
<b>Total</b>	<b>816 222</b>	<b>509</b>	<b>492</b>
Combustión industrial	5 518	192	192
Combustión comercial / institucional	1 528	37	37
Combustión habitacional	4 599	118	118
Operación de aeronaves	6 885	15	14
Locomotora (foráneas/patio)	2 442	45	42
Terminales de autobuses de pasajeros	182	NS	NS
Recubrimientos de superficies industriales	43 187	NA	NA
Pintura automotriz	4 723	NA	NA
Recubrimientos de superficies arquitectónicas	43 162	NA	NA
Pintura tránsito	1 350	NA	NA
Limpieza de superficie industrial	48 878	NA	NA
Lavado en seco	16 108	NA	NA
Artes gráficas	13 578	NA	NA
Aplicación de asfalto	742	ND	ND
Uso comercial y doméstico de solventes	131 280	NA	NA
Distribución y almacenamiento de gasolina	1 906	NA	NA
Carga de combustión en aeronaves	12	NA	NA
Distribución y almacenamiento de gas LP	19 890	NA	NA
Fugas de gas LP en uso doméstico	45 165	NA	NA
HCNQ en la combustión de gas LP	53 849	NA	NA
Panaderías	8 958	NA	NA
Esterilización en hospitales	36	NA	NA
Rellenos sanitarios	343 712	ND	ND
Tratamientos de aguas residuales	4 045	NA	NA
Incendios forestales	926	72	62
Incendio en estructuras	595	30	27
Emisiones domésticas de amoníaco	12 966	NA	NA

NA: No aplicable

ND: No disponible

NS: No significativo

FUENTE ORIGINAL: GDF Secretaría del Medio Ambiente, Dirección General de Gestión del Aire, Dirección de Inventario de Emisiones y Fuentes Estacionarias

Fuente: INEGI 2002 p. 156

Con respecto a las emisiones por fuentes puntuales, las  $\text{PM}_{10}$  en la atmósfera de la ZMCM provienen principalmente de las industrias metálicas básicas, de las industrias que elaboran sustancias químicas; productos derivados del petróleo, del carbón, del hule y de plástico. Para las  $\text{PM}_{2.5}$  la principal fuente de emisión puntual es las plantas de generación de energía eléctrica. La tabla 36 nos muestra, la cuantificación de estas fuentes.



**Tabla 36 Inventario de emisiones por fuente puntual en la ZMCM en 2000**

<b>EMISIONES POR FUENTE PUNTUAL EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO SEGÚN CONTAMINANTE 2000</b>				
(Toneladas por año)				
Fuente puntual	Número de industrias	Emisiones		
			PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>
<b>Total</b>	<b>4 668</b>	<b>Total 93 591</b>	<b>2 809</b>	<b>572</b>
Productos alimenticios, bebidas y tabaco	478	6 040	366	41
Textiles, prendas de vestir e industria de cuero	399	5 405	350	30
Industria de la madera. Incluye muebles	182	2 450	130	3
Papel y productos de papel, imprenta y editoriales			163	78
	<b>551</b>	<b>15 435</b>		
Sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón, de hule y de plástico	1 177	23 833	394	88
Productos minerales no metálicos, excluye los derivados del derivados del petróleo y del carbón		6 712	256	43
	<b>201</b>			
Industrias metálicas básicas	216	4 298	513	34
Productos metálicas, maquinaria y equipo, incluye instrumentos quirúrgicos y de precisión	1 218	13 570	374	48
Otras industrias manufactureras	241	1 403	61	5
Generación de energía eléctrica	5	14 445	202	202

FUENTE ORIGINAL: GDF Secretaría del Medio Ambiente, Dirección General de Gestión del Aire, Dirección de Inventario de Emisiones y Fuentes Estacionarias

Fuente: INEGI 2002, p. 157

La tabla 37 muestra, confirma que la erosión eólica del suelo es la principal fuente biogénica de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>, como se ha revisado en otra sección de este trabajo.

**Tabla 37 Inventario de emisiones por fuente biogénica en la ZMCM en 2000**

<b>EMISIONES POR FUENTE BIOGÉNICA EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO SEGÚN CONTAMINANTE 2000</b>			
(Toneladas por año)			
Fuente biogénica	Total	Emisiones	
		PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>
<b>Total</b>	<b>33 825</b>	<b>1 736</b>	<b>380</b>
Vegetación	31 709	NA	NA
Erosión eólica del suelo	2 116	1 736	380

NA: No aplicable

FUENTE ORIGINAL: GDF Secretaría del Medio Ambiente, Dirección General de Gestión del Aire, Dirección de Inventario de Emisiones y Fuentes Estacionarias

Fuente: INEGI 2002, p. 157

Al continuar evaluando el impacto ambiental, a través de la revisión de las estadísticas ofrecidas por INEGI, parte del programa PROAIRE señala en su informe, la necesidad de un cambio cultural profundo y duradero, que modifique la relación entre la sociedad, la



ciudad y el ambiente, que forme parte de un proyecto de desarrollo urbano sustentable, si consideramos a la ciudad como un sistema abierto y dinámico, donde la calidad del ambiente y el desarrollo metropolitano en general son un reflejo del bienestar de la sociedad. El programa PROAIRE cuenta con estrategias de información, educación ambiental, participación social y mecanismos de evaluación pública entre otras.

En el período de 1998-1999 se levantó entre los habitantes de la ZMCM una encuesta para conocer la opinión sobre los siguientes aspectos: la contaminación atmosférica en la ZMCM, los efectos en la salud causados por la contaminación atmosférica, los programas gubernamentales para mejorar la calidad del aire, la participación social para mejorar la calidad del aire, así como las recomendaciones que se pueden hacer con base a los resultados obtenidos. De acuerdo con las encuestas, durante la vigencia de PROAIRE, más del 90% de la población de la Ciudad de México tiene “mucho” o “algo” de preocupación por los problemas ambientales del aire, agua y suelo. Asimismo cerca del 90% reconoce que la contaminación ambiental afecta la salud (INEGI 2002).

Con respecto a la disposición para contribuir a la reducción de la contaminación, el 50% de los entrevistados responde estar “muy de acuerdo” o “de acuerdo” con pagar 10% adicional al precio de la gasolina, si el dinero se emplea para la reducción. No obstante las personas con ingreso mayor a \$7 000.00 mensuales, estarían “algo en desacuerdo” o “muy en desacuerdo”, la razón de tan baja disposición, puede ser probablemente que las encuestadas cuentan con auto particular, por lo que son las personas directamente afectadas (INEGI 2002).

La investigación que se realizó para indagar la importancia que tiene la contaminación del aire en la conciencia de la población, se denominó Ecosistema Urbano y Salud de los Habitantes de la Zona Metropolitana del Valle de México (ECOURS), que contó con el financiamiento del Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo del Canadá (CIID) y arrojó interesantes resultados (INEGI 2002). Sobre la contaminación atmosférica, la población la percibe como “mala” o “muy mala” sin importar la hora en la que se realizó la entrevista o el período del año (lo que refleja una falta de conocimiento). Se percibe al centro como la zona más contaminada (de acuerdo con la información oficial, el suroeste y el noreste tienen la mayor contaminación por ozono y partículas, respectivamente). El 20% de los entrevistados en la ZMCM piensa que el suroeste está menos contaminado e incluso el 54% de los entrevistados del suroeste opina que es la zona menos contaminada. Sin importar la época del año, los indicadores con que dispone la población para evaluar de manera tangible la calidad del aire, como son la presencia de síntomas y





la visibilidad de las montañas, son referentes subjetivos, pues sólo el 5% de la población se entera por los medios de comunicación (noticias, periódico, radio, TV, Internet). Aunque contrasta con la respuesta del 60% de los entrevistados que consideran como verdadera la información que dan los medios de comunicación, que no consultan, y por tanto, no es una referencia para enterarse de la calidad del aire. De esta forma la población está consciente del problema, sin embargo sus indicadores de contaminación muestra su escaso acceso a la información. Esta actitud la podemos extrapolar a las personas que elaboran, revisan y emiten las normas de calidad del aire.

En cuanto a reconocer responsables de la contaminación, los habitantes lo dirigen a causas externas: el 51.6% de la población identifica a las “fábricas” como la fuente principal de contaminación en el período del año seco y el 41% en el período lluvioso. La información oficial identifica al sector transporte como la principal fuente de contaminantes en la ZMCM. También es interesante señalar que los entrevistados identifican al género masculino y los grupos de edad intermedios, como la parte de la sociedad que más contamina, lo que refleja la falta de conocimiento sobre la contaminación que también se genera en el hogar y al consumir bienes y servicios (comida preparada en anafres, hornos de leña, estufas de gas, etc.). La asignación del problema a factores externos indica una clara evasión de responsabilidad social directa, aunque el 92% de los entrevistados aceptan que afecta su vida personal, esta visión sesgada obstaculiza apropiarse del problema y provocar una participación activa. Lo anterior sugiere que las estrategias de información, educación ambiental y participación deben ser permanentes, para influir en la conciencia ciudadana.

Con respecto a los efectos a la salud causados por la contaminación atmosférica, el 98% acepta que la contaminación del aire afecta su salud, independientemente que los niveles sean altos o bajos, si haya lluvia o no. El 33% identifica que el objetivo de los programas para evitar la contaminación es la protección de la salud, reconoce el papel que tienen las acciones del gobierno y del riesgo que implica el aire contaminado de la ciudad; cerca del 90% de la población manifiesta conocer casos de enfermedades crónicas relacionadas con la contaminación del aire, como asma o bronquitis y algunos otros síntomas. Cerca del 60% de la población identifica a los niños como el sector más vulnerable, sin diferenciar en que época del año, olvidando por completo la vulnerabilidad de los ancianos, esto comprueba el desinterés general a este tipo de personas y la importancia que sí se le da a la salud infantil. Lo alarmante de estas respuestas, es que aún cuando la mayoría está consciente del impacto de la contaminación en la salud, el 73% de la



población no realiza ninguna actividad para protegerse de la contaminación (existe una falta de atención a las recomendaciones que indican las autoridades a través de los medios de comunicación, o que en definitiva no se consultan, porque no son suficientes o son ineficientemente difundidas o en el peor de los casos, es porque consideran que el problema es de tan grande magnitud que las acciones personales no sirven en nada para contrarrestar sus efectos (INEGI 2002).

En el caso del conocimiento de los programas gubernamentales para mejorar la calidad del aire, aproximadamente dos terceras partes de la población opinan que son para evitar la contaminación, que tienen un carácter ecológico (aproximadamente el 30%) y/o que son para mejorar la salud (aproximadamente otro 30%), el resto opina que su objetivo es, sólo político, siendo esta última la respuesta que da la población con mayor educación e ingreso y principalmente del género masculino. Aunque la mayoría de la población acepta el programa “Hoy no circula” en general le dan una calificación de 6 (valorando de 1 al 10) y lo consideran un mal necesario. El programa “Verificación Vehicular” es reprobado con 5.4. En cuanto al IMECA cerca del 50% de la población tienen una idea adecuada y veraz, pero las personas que desconocen su significado lo dan como falso, en general son las que tienen mayor ingreso y educación. Con esto se confirma que aunque las personas reconocen el objetivo de los programas, no les dan credibilidad, debido al desprestigio de las instancias gubernamentales o porque los programas pasan a formar parte de la vida cotidiana. En este rubro el estudio refleja, que el programa “Verificación Vehicular” sólo es reconocido por el 6% de la población, como un instrumento para mejorar la calidad del aire. En general los programas ambientales son vistos como restricciones enérgicas y no como acciones participativas. Una interesante observación que genera esta parte, es que al parecer, la forma de comunicación debiera ser diferente para el sector de la sociedad que percibe más ingresos y mejor educación, por la razón de que son más exigentes.

Otra parte importante en el programa es el desarrollo de un Índice de Participación (IP) basado en análisis psicométrico, con el propósito de evaluar el grado de participación de la población ante el problema de la contaminación del aire, el examen evalúa las características sociales e individuales en cuanto a su entorno, su conducta respecto al ambiente y su potencial de involucramiento. El IP obtenido indica que la población no está interesada en la mejora de la calidad del aire y piensa que la naturaleza o el gobierno son los que resuelven el problema, aunque existe un potencial de participación reflejado en el reconocimiento de los niveles altos de contaminación, a mayor edad menos interés por participar. A las personas con niveles educativos y socioeconómicos bajos, así como a las



personas mayores de 40 años, debe enfocarse mayor atención, para potenciar su participación. Las personas con mayor educación deben recibir mejor información, ya que aunque tuvieran interés en participar, no están dispuestas a sacrificar comodidades, como por ejemplo el uso del automóvil (INEGI 2002).

Es significativo que exista una estrategia para lograr una mayor comunicación entre la sociedad, gobierno y ambiente, que motive la credibilidad en el gobierno y promueva la participación activa en los programas de prevención y control. Establecer campañas de concientización acerca de los efectos de la corrupción y facilitar la denuncia de estos actos, además de mejorar y promover la Educación Ambiental en todos los niveles.

Por último el conocimiento de la normatividad vigente para mejorar el ambiente es deseable que este accesible en los diferentes medios de información, considerar que debe ser actualizada y reflejar un claro conocimiento de los contaminantes que están impactando tanto la salud de la población, como el ambiente.



## 6. ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

El análisis presentado a través de la revisión de trabajos de investigación de carácter científico, evidencian la peligrosidad de los HAP para la salud de la población, la revisión de las políticas y guías internacionales señalan a los HAP como agentes capaces de afectar el organismo a niveles genotóxicos y cancerígenos, y también verifica, que aún en el caso de no indicarlos, las normas internacionales sugieren, la importancia de mantener niveles estrictos de concentración de partículas  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$  en el ambiente, con el conocimiento de que los HAP son parte de la composición del material particulado. La revisión del marco jurídico sugiere la urgencia de una mayor activación en la revisión y actualización de normas de calidad del aire, aunque también se señala en este trabajo, la necesidad de contar con recursos humanos, que no necesariamente debe desearse sean siempre voluntarios, sino que las autoridades deben alentar económicamente o de usar cualquier otro incentivo, que permita, que las instancias gubernamentales logren involucrar a mayor número de investigadores, científicos, académicos, particulares e industriales, capaces de poder ofrecer a la sociedad normas de calidad que formalicen estándares que *eviten poner en riesgo la seguridad de las personas o dañar la salud humana, vegetal, el medio ambiente general y laboral, o la preservación de los recursos naturales*, de acuerdo al artículo 40 de la LFMN.

Con la revisión de los programas de gestión de calidad del aire, se confirmó que aún cuando están bien estructurados, desafortunadamente tienen poca asimilación y aceptación social, además de estar en duda su efectividad; este razonamiento se extiende a las autoridades y las personas que toman decisiones, ya que de acuerdo a los datos de INEGI, no existe un compromiso personal de interés y participación ciudadana. Otra importante observación que aporta el análisis de este trabajo, es la sugerencia de que el SIMAT incluya el informe de las  $\text{PM}_{2.5}$  junto con las  $\text{PM}_{10}$ , ya que sólo hace referencia a ellas por el hecho de que disminuyen la visibilidad, sin enfatizar el efecto tóxico de su composición e incluir también la evaluación de la parte orgánica extraíble (HAP) en el análisis de su contenido.

Asimismo en la revisión de los informes de INEGI se resalta la necesidad de fortalecer, por parte de la jurisdicción, la información de los niveles de contaminación conjuntamente a la página de internet, que desafortunadamente ni consulta, ni conoce mucha gente, se propone sean presentados dichos niveles en las vías públicas como las estaciones del metro, paradas y cruces críticos, con letreros luminosos que resalten la importancia de



tener conocimiento y prevención de salud y ambiental, coadyuvando a respetar las normas ambientales y los programas pertinentes.

Es obvio, por la evidencia mostrada que el crecimiento económico y una calidad ambiental aceptable, pueden coexistir, por lo que inevitablemente se requieren incentivos económicos y normas severas, que permitan mejorar la calidad del ambiente, la salud de la población y con ello su capacidad para dar un mayor rendimiento en los procesos sociales, económicos y políticos del país.



## **7. PROPUESTA DE MODIFICACIÓN A LA NORMA DE CALIDAD DEL AIRE NOM-025-SSA1-1993, SALUD AMBIENTAL. CRITERIOS PARA EVALUAR EL VALOR LÍMITE PERMISIBLE PARA LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO. VALOR LÍMITE PERMISIBLE PARA LA CONCENTRACIÓN PARA PARTÍCULAS SUSPENDIDAS PST, PARTÍCULAS MENORES DE $10 \mu\text{m}$ $\text{PM}_{10}$ Y PARTÍCULAS MENORES DE $2,5 \mu\text{m}$ , $\text{PM}_{2,5}$ DE LA CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE, CRITERIOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AIRE.**

De manera coloquial, la normalización puede ser entendida como una regla a la cual se somete voluntaria u obligatoriamente una actividad, donde las políticas de evaluación de la calidad, están necesariamente sustentadas en la normalización, como un instrumento de protección a los consumidores o en un sentido más amplio a la población en general. La LFMN establece los ordenamientos legales a los que se sujetan las NOM, en el artículo 40 indica las finalidades de una NOM y en el artículo 41 la estructura que debe tener una NOM como su denominación, clave, código, especificaciones y características del objeto normado, métodos de prueba, grado de concordancia con lineamientos y normas extranjeras, bibliografía, la disposición de la dependencia que vigila su cumplimiento, así como todas las menciones convenientes para la debida comprensión y alcance de la norma. También el Reglamento de la LFMN indica en los artículos 28 fracción III y 42, que las normas oficiales y mexicanas, deben ser redactadas y estructuradas de acuerdo a lo establecido para las normas nacionales, no obstante cuando a consideración de los organismos nacionales de normalización o la Secretaría emisora, se permita recurrir a otra guía para redactar y estructurar, con base a lo previsto en normas o lineamientos internacionales.

La Dirección Nacional de Normas (DGN) es el organismo nacional de normalización que rige y coordina todas las normas que se generan, con el fin de evitar la duplicación y asegurar la uniformidad, además de confirmar que todas las partes interesadas se encuentran representadas, dada la trascendencia de ellas. La DGN también coordina el procedimiento de elaboración de NOM y NMX emitidas por Secretaría de Economía (SE), así como las actividades de la Comisión Nacional de Normalización (CNN). Asimismo además de las disposiciones legales de las NOM, establecidas en la LFMN, existen otros dos preceptos legales que rigen el funcionamiento de la DGN y son el artículo 34 de la Ley Orgánica de Administración Pública Federal que la obliga a establecer y vigilar las normas de calidad y el artículo 24 fracción XVII donde la obliga a proponer y promover normas oficiales mexicanas en los términos previstos por los ordenamientos legales



aplicables. La DGN depende de la ISO, que es la máxima autoridad normativa a nivel internacional, por tal motivo considera también a la norma mexicana NMX-Z-013/1-1997: Guía para la redacción, estructuración y presentación de las Normas Mexicanas, basada en la ISO Guide for presentation of international standards and technical reports, con la finalidad de unificar los criterios de elaboración de las normas que se expiden en el país. Esta guía comprende puntos señalados como obligatorios en la LFMN, pero además tiene la ventaja de ofrecer una base para redacción, estructuración y presentación de una norma oficial NOM y/o una mexicana NMX, favoreciendo con gran medida, el facilitar y agilizar, el desarrollo de la normalización nacional, de esta manera, todas aquellas instituciones, organismos, empresas, técnicos y partes interesadas en normalizar materias primas, productos, procesos, etc. deben presentar a DGN, todos los proyectos de norma, bajo la estructura indicada en la guía, para así obtener su oficialización (NMX-Z-013/1-1997).

Durante el desarrollo de este trabajo, se acudió al Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario encargado de dar seguimiento a la emisión de la NOM-025-SSA1 para verificar si se tenía una versión más actual o ya estaba lista la revisión quinquenal posterior a la del 13 de junio de 2005 que es la actual, obteniendo una respuesta negativa, justificada en dos hechos reales que se han manejado en el presente trabajo: la falta de capital humano dedicado al 100% en este proyecto de revisión y la lentitud común a los procesos de revisión y aprobación dado por los sectores y autoridades participantes. Así que el hecho de revisar y analizar la estructura de la actual norma, de acuerdo a la guía NMX-Z-013/1-1997, resulta deseable y oportuno, para incorporarse posteriormente a los trabajos realizados por el Comité hasta la fecha.

- Es evidente que la norma actual denominada como modificación de la norma, por haberse incorporado la evaluación de las  $\text{PM}_{2.5}$ , presenta incumplimiento en algunos puntos de la estructura oficial, en Apéndice A se enlistan las observaciones encontradas, para posteriormente ser incluidas en la nueva propuesta.
- El Apéndice B muestra la propuesta de Modificación a la NOM-025-SSA1-1993.



## 8. CONCLUSIONES

La presente investigación bibliohemerográfica y estadística, sustentada en el rigor científico y el análisis metodológico, unidos a la valoración crítica y objetiva de las fuentes consultadas, confirma la propuesta de incluir la determinación de los HAP presentes en las partículas de aire, en la NOM-025-SSA1-1993, actualmente vigente.

A lo largo del desarrollo de esta tesis, se han presentado los argumentos que apoyan una nueva propuesta de norma, partiendo de la idea inapelable de señalar a la contaminación como un problema social, que institucionalmente fue atendido por primera vez a partir de los 80 con el programa “Hoy no circula”, en cuya iniciativa de gestión de la calidad del aire, el Estado involucró a la población a participar y a contribuir en el desarrollo y bienestar general. La serie de continuos instrumentos de protección al ambiente, no han sido suficientes para reducir los niveles de contaminantes denominados criterio, en especial las  $\text{PM}_{10}$  y las  $\text{PM}_{2.5}$  existentes en la fase particulada del aerosol atmosférico (véase Figuras de la 3 a la 9), tanto en los niveles permitidos para 24 h, como en la regulación anual; estas partículas al contar con una gran área superficial, pueden mantener adheridos, una multitud de compuestos orgánicos como los HAP, nitro-HAP, oxi-HAP y n-alcanos. En este trabajo se enfatiza, que aún cuando se logren las reducciones planeadas, el conocimiento de la composición de estas partículas, logrado por investigadores de diferentes áreas del conocimiento, pone de manifiesto que los cientos de compuestos orgánicos, de origen primario o secundario, presentes en ellas, además de tener un impacto en el clima, en los procesos químicos y físicos presentes en el ambiente, producen también morbilidad (enfermedades respiratorias y vasculares) y mortalidad (véase Tabla 11) en la población. Los efectos en la salud de estos compuestos, pueden ser agudos y/o crónicos: los agudos se presentan de manera inmediata sobre un órgano en específico o un punto de entrada en el cuerpo, siendo los más afectados el sistema respiratorio, ojos y piel; los efectos crónicos, no se presentan de forma inmediata, sino hasta después de un continuo período de exposición. Todas las consecuencias en los humanos dependen del tiempo de exposición, la intensidad y el estado de salud de las personas, siendo los más susceptibles aquellos que sufren de enfermedades respiratorias, cardiovasculares, los niños y los ancianos (véase Tablas 11, 14 y 16).





La toxicinética de los HAP en el organismo incluye las fases de absorción, distribución, metabolismo y excreción, los efectos en la salud humana se han estudiado en gran parte con voluntarios expuestos al ambiente o en sus centros de trabajo (véase sección 4.2), expuestos a los HAP, teniendo repercusión en manifestaciones de cáncer, sobre todo en el pulmón y también, debido a sus características liposolubles, existe la posibilidad de que penetren en las membranas celulares, cambiar sus propiedades, causando retromutaciones (demostradas con cepas de bacterias *Salmonella Typhimorium*) o inducir aductos de ADN (véase sección 4.2.1).

El impacto social de contaminación por material particulado y por lo tanto de los HAP presentes en él, ha sido demostrado en este trabajo a través de las publicaciones de los estudios hechos por la OMS (WHO 2005), que han comprobado el riesgo excesivo a su exposición (véase graficas 1, 2 y 3).

El impacto ambiental desde el punto de vista económico, así como los costos por agotamiento de los recursos naturales y degradación del ambiente, incide en la necesidad de reducir la presencia de las PM y por tanto de los HAP, provenientes principalmente de las emisiones de fuentes móviles, como lo muestran las tablas de Inventario de Emisiones (véase Tablas 28 a 34) presentadas por INEGI en 2009, datos en los que también se evidencia que el gasto ecológico más costoso es el de contaminación atmosférica, 4.7% del PIB, de un total de 8.8%, contrastando con sólo 0.6% del PIB que se ocupó para prevenir, controlar o disminuir el daño ambiental (por actividades de producción, distribución y consumo).

En el marco legal, también se confirma la necesidad de modificar la norma de calidad del aire en estudio, partiendo de enunciados de la LFMN que establecen en el Art. 51 la revisión periódica (cada 5 años) y en el Art. 62 la participación de la academia y centros de investigación, aunado al hecho de que el Art. 44 indica que cualquier persona de la sociedad, interesada en el tema puede aportar al comité consultivo, responsable de esta norma, alguna propuesta o modificación, que será debidamente evaluada, para su consideración. También contempla la LFMN en el Art. 59, que para conformar la Comisión Nacional de Normalización, pueden participar instituciones científicas y tecnológicas, cuando se traten temas de su competencia; así entonces al existir la herramienta jurídica, este trabajo reúne las evidencias y requisitos que permiten se considere la inclusión de la restricción para los HAP. La revisión de la norma actual, permitió presentar rubros de áreas de oportunidad para mejorar la norma (Apéndice A), la nueva propuesta incluye la



determinación de los HAP, basada en recomendaciones de la ISO para una mejor estructura (Apéndice B) y también los límites propuestos de acuerdo a lo encontrado por investigadores, para la ZMCM con respecto a HAP presentes en  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$  (Apéndice C).

Por último, también se concluye que con las investigaciones hechas a regulaciones internacionales (véase Tabla 13), se comprueba que a pesar de la extensa gama de investigaciones, no existen normas referidas a los HAP y en algunas ocasiones, ni siquiera a las  $\text{PM}_{2.5}$ , lo que lleva a afirmar que aún está pendiente un consenso científico-gubernamental en diversos países, por considerar a estos compuestos y sus efectos en los humanos. La Tabla 21 muestra una comparación cronológica de revisión y actualización a las regulaciones, mostrando un déficit de continuidad, confirmando una falta de seguimiento a las prioridades por parte de las autoridades, dadas las razones expuestas a lo largo de esta tesis



## 9. SUGERENCIAS DE TRABAJOS A FUTURO

Se sugiere que las líneas futuras, para dar seguimiento o complementar este trabajo, continúen sobre las siguientes vertientes:

- Desarrollo de material de referencia para la evaluación de los HAP.
- Mecanismos o estrategias ambientales para disminuir la concentración de los HAP adheridos en las partículas.
- La validación de los métodos de análisis propuestos para evaluación de los HAP.
- Norma técnica para la determinación y el procedimiento para la calibración de los equipos de medición de las  $\text{PM}_{10}$  y las  $\text{PM}_{2.5}$ .
- Proponer, en caso de que no aplique la propuesta de inclusión, una Norma Oficial Mexicana para evaluación del Material Orgánico Policíclico de las aeropartículas.
- La evaluación de la fracción inorgánica de las aeropartículas.
- La contaminación ambiental de interiores, realizar una investigación que considere niveles y consecuencias, en la población.

## 10. RECOMENDACIONES

Los argumentos presentados a lo largo de todo este trabajo de tesis, me permiten realizar, en una reflexión final, una serie de recomendaciones, generada por el conocimiento del impacto que tiene la contaminación en la población y la economía. Van dirigidas hacia:

**El Estado** para solicitarle generar una Política más robusta, organizada y sensible que invierta en educación y fomente actividades transdisciplinarias que involucren a quienes toman las decisiones y a los investigadores, generando un crecimiento mutuo, con un mayor conocimiento de los problemas en la salud y el ambiente. Asignar más presupuesto a los medios de información para tener mayor difusión de los daños y consecuencias por los niveles de contaminación, dando énfasis a los compuestos orgánicos de origen primario o secundario, siempre presentes en la atmósfera. Crear nuevos mecanismos gubernamentales, que permitan el cumplimiento a las restricciones ambientales y control de las emisiones.

**La Academia** para fomentar la educación encaminada a la sensibilización de los estudiantes hacia los problemas de salud, ambiente y sociales del país. Buscar la participación cada vez mayor de investigadores, científicos y estudiantes, conscientes de su compromiso de participación, en áreas específicas, para contribuir al desarrollo sustentable del país.

**La Industria** para mantener el compromiso de no contribuir al aumento de la generación de contaminantes al ambiente, aplicando tecnologías limpias y/o mejorando las actuales. Capacitar a su personal sobre los riesgos que puedan tener, en su salud, por la participación laboral en los procesos industriales.

**La Sociedad Civil Organizada** para interesarse y participar en las campañas propuestas por el gobierno, instituciones de salud e higiene, que contribuyan a la prevención y cuidado personal, olvidando la apatía general que se tiene, por la falta de información y compromiso social.

**Las ONG** para fomentar una cultura ambiental, contribuir a la difusión de los riesgos que representan los contaminantes y promover campañas de actividades interdisciplinarias entre científicos, gobierno y sociedad, que además de fortalecer lazos de comunicación, logren el beneficio colectivo.



## 11. BIBLIOGRAFÍA

Amador-Muñoz Omar. Tesis de maestría en Ciencia Químicas. (2003). "Estudio de hidrocarburos aromáticos policíclicos adsorbidos a las aeropartículas  $\leq 10 \mu\text{m}$  del suroeste de la Ciudad de México". Facultad de Química, Posgrado, UNAM.

Amador-Muñoz Omar. Tesis de doctorado en Ciencias Químicas (2011). "Especiación química de compuestos orgánicos en las  $\text{PM}_{2.5}$  del Valle de México: variación espacial y temporal, comportamiento y fuentes". Facultad de Química, Posgrado, UNAM.

Boogard P. J. (2008). "Urinary biomarkers in the risk assessment of  $\text{PAH}_S$ ". *Occup. Environ Med*, 65:221-222.

Borja-Aburto V.H., Loomis D.P., Bangdiwala S. Shy C.M., Rascón-Pacheco R. A. (1997). "Ozone, suspended particulates, and daily mortality in Mexico City". *Am J Epidemiol*, 145: 258-268.

Calderón-Garcidueñas L., Rodríguez-Alcaraz A., Villarreal-Calderón A., Lyght O., Janszen D., Morgan K. T. (1998). "Nasal epithelium as a sentinel for airborne environmental pollution". *Toxicol. Sci.* 46: 352-364.

CFR (Code of Federal Regulations) Title 40: Protection of Environment. Part 50-National primary and secondary ambient air quality standards, for  $\text{PM}_{2.5}$  and  $\text{PM}_{10}$  February 14, 2011.

COFEMER (Comisión Federal de Mejora Regulatoria) Políticas de privacidad, sistema internet, México. Derechos reservados, [cofemer@cofemer.gob.mx](mailto:cofemer@cofemer.gob.mx) Fecha: 22/09/2010

Chow Judit C., Watson John G., Edgerton Sylvia A., Vega Elizabeth. (2002). "Chemical Composition of  $\text{PM}_{2.5}$  and  $\text{PM}_{10}$  in Mexico City during winter 1997". *The Science of the Total Environment* 287, 177-201.

Díaz B.A., Frida H. (2010) Estrategias docentes para un aprendizaje significativo. Una interpretación constructivista. México: Mc Graw Hill.

EPA (Environmental Air Protection) strengthens National Ambient Air Quality Standards for Particle Pollution (NAAQS). September 21, 2006.



Escamilla N. M. C., Barraza V. A., Hernández. C. L., Moreno M.M., Ramírez A.M., Sierna M. J.J., Cortez L. M., Texcalac J.L., Navarro. B., Romieu I. (2008). "Traffic-related air pollution and respiratory symptoms among asthmatic children, resident in Mexico City: the EVA cohort study". *Respiratory Research*, 9:74

Föster K., Preuss R., Roßbach B., Brüning T., Angerer J., Simon P. (2008). "3-Hydroxibenzo[a]pyrene in the urine of workers with occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in different industries". *Occup Environ Med* 65: 224-229.

Hernández Sampieri, Roberto, Fernández C.C., Baptista L. P. "Metodología de la investigación". Mc. Graw Hill 3ª Edición 2003. Cap. 5 p.126-133 y Cap. 6 p.139-177.

Hinds W. C. (1999) Aerosol Technology. Properties, behavior and measurement of airborne particles. Wiley-Interscience, Nueva York.

Huerta Ochoa, Carla. (2010). "Las Normas Oficiales Mexicanas en el ordenamiento jurídico mexicano". *Boletín mexicano de Derecho Comparado, Revista Jurídica. Derechos reservados, Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM.*

IARC (International Agency for Research on Cancer) Last updated March 1998 Monographs Volume 92 and Summary of Data Reported and Evaluation Vol. 3, p.91

INE (Instituto Nacional de Ecología) Contaminación del aire, contaminantes criterio e Indicadores de la calidad del aire. México Agosto del 2009

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). Sistema de Cuentas Nacionales de México, Cuentas Económicas y Ecológicas de México 2003-2007.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). (2002) Estadísticas del Medio Ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana . Introducción, capítulos: 2, 4, 5, 6 y glosario.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). Comunicado Núm. 025/09. Evaluación del PINE, 9 de febrero de 2009.

Informe 2009 "Calidad del aire en la Ciudad de México" Secretaria del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal a través de SIMAT, 2009.



Ley Federal de Metrología y Normalización (LFMN) publicada en el Diario Oficial de la Federación en 1992, reforma publicada vigente 30 de abril de 2009.

Ley Federal de Procedimiento Administrativo (LFPA), reforma publicada vigente 30 de mayo del 2000.

Ley General de Salud (LGS) publicada en el Diario Oficial de la Federación en 1984, reforma publicada vigente 27 de abril 2010.

Ley Orgánica de la Administración Pública Federal publicada en el Diario Oficial de la Federación, última reforma publicada el 17 de junio de 2009

Ley General de la Administración Pública emitida por la Asamblea Legislativa, versión del 04 de diciembre de 2008.

Martin S., Dawidowski L., Mandalunis P., Cereceda B.F., Tasat D.R. (2007). "Characterization and biological effect of Buenos Aires urban air particles on mice lungs" *Environmental Research* 105, 340-349

Mastandrea C., Chichizola C., Ludueña B., Sánchez H., Álvarez H., Gutiérrez A. (2005). "Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos. Riesgos para la Salud y Marcadores Biológicos" *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana* V.39 n.1.

Molina Luisa T., Molina Mario J. (coordinadores). (2005). La Calidad del aire en la Megaciudad de México. Un enfoque integral. Fondo de Cultura Económica.

Moreira, M. A. (1993) "La Ve epistemológica de Gowin como recurso instruccional y curricular en ciencias". Instituto de Física, Universidad Federal do Río Grande do Sul, Brasil. Fascículos del CIEF, Serie enseñanza-aprendizaje No. 3.

Murillo T.M.A., Amador M.O., Villalobos P.R., Marriot P.J. (2010). "Selective Separation of Oxy-PAH from n-Alkanes and PAH in Complex Organic Mixtures Extracted from Airborne  $\text{PM}_{2.5}$ " *Chromatographia*.

NMX-Z-013/1-1977, Norma para la redacción, estructuración y presentación de las normas mexicanas. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Dirección General de Normas, 1977.



NOM-025-SSA1-1993 Salud ambiental. Criterios para evaluar el valor límite permisible para la concentración de material particulado. Valor límite permisible para la concentración de partículas suspendidas totales PST, partículas menores de  $10 \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) y partículas menores de  $2,5 \mu\text{m}$  de la calidad del aire ambiente. Criterios para evaluar la calidad del aire. Secretaria de Salud. Septiembre, 2005.

NOM-035-SEMARNAT-1993 Que establece los Métodos de Medición para Determinar la Concentración de Partículas Suspendidas Totales en el Ambiente y el Procedimiento para la Calibración de los Equipos de Medición. Abril, 2003.

Normas de Calidad del Aire a Nivel Internacional. Subdirección de Estudios Ambientales. Anexo 3. Convenio de Asociación N° 038/04 Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá, Colombia. 13 de Julio de 2005

OMS: iniciales en español por referencia al texto de consulta original (Organización Mundial de la Salud) Guías para la Calidad del aire. Ginebra, Suiza 1999

Ostro B., Chestnut L. (1998). "Assessing the health benefits of reducing particulate matter air pollution in the United States". *Environ Res* 76: 94-106.

Paredes P. P., Castillo H.I., Pereyra Z.E. (2006) "Contaminación vehicular en Lima y Callao y propuestas de solución. Facultad de Ingeniería Industrial y de Sistemas, Universidad Nacional Federico Villareal.

Poster D.L., Shantz M.M., Sander L.C., Wise S.A.(2006) "Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH<sub>s</sub>) in environmental samples: a critical review of gas chromatographic (GC) methods". *Anal Bioanal Chem*, 386: 859-881.

Pratt I. S., Barron T. (2003). "Regulatory recognition of indirect genotoxicity mechanisms in the European Union", *Toxicol Lett*, 140-141: 53-62.

PROAIRE 2002-2010: Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010. Coordinación : Gobierno del Estados de México, Gobierno del Distrito Federal, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Secretaria de Ecología, Secretaria de Salud y Comisión Ambiental Metropolitana.





Ramírez T. M., Flores G. A. (2002). Metrología y Normalización. Instituto Politécnico Nacional, IPN.

Ramos M. H., Ramos M. F., Romero E. (2003). "Como escribir un artículo de Revisión", *Revista de Posgrado de la Vía Cátedra de Medicina*, No. 126, p.1-3.

Rhys O. Jenkins, Mercado García, Alfonso. (2008). Ambiente e industria en México, tendencias, regulación y comportamiento empresarial. "El Colegio de México".

Romieu I., Meneses F., Ruiz S., Sierra J. J., Huerta J., White M.C., Etzel R. A. (1996) "Effects of air pollution on the respiratory health of asthmatic children living in Mexico City". *Am J Respir Crit Care Med* 154: 300-307

Romieu I., Barraza V.A., Escamilla N.C., Texcalac S.J.L., Hernández C.L., Díaz S.D., De Batle J., Del Rio N.B.E. (2009). "Dietary intake, lung function and airway inflammation in Mexico City school children exposed to air pollutants. *Respiratory Research*, 10:122

Saldarriaga H., Villalobos R., Solano G., Amador O., Gaspariano R., Palma R., Munive Z.(2008). "Aliphatic, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Nitrated-Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in PM<sub>10</sub> in Southwestern Mexico City" *Polycyclic Aromatic Compounds* 28: 578-597

SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales) Manuales del programa de inventarios de emisiones de México. Fundamentos de inventarios de emisiones Febrero 2000. Vol. II.

SIMAT (Sistema de Monitoreo Atmosférico). Con subsistema base de datos RAMA (Red Automática de Monitoreo Atmosférico) Gobierno del Distrito Federal (GDF) Secretaría del Medio Ambiente. Dirección General de Gestión de la Calidad del aire. Historia del SIMAT y consulta RAMA. Cd. de México, 2010

Slezakova K., Castro D., Pereira M.C., Morais S., Delerue M.C., Alvim F. M.C. (2010). "Influence of Traffic Emissions on the Carcinogenic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Outdoor Breathable Particles" *Air & Waste Management Association* 60 393-401

Shannigrahi A.S., Fukushima T., Ozaki N. (2005). "Comparison of different methods for measuring dry deposition fluxes of particulate matter and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH<sub>s</sub>) in the ambient air". *Atmospheric Environment* 39 (2005) 653-662



Tran T., Amador M.A., Purcaro G., Marriott P.J. (2007). "Gas chromatographic analysis of polyaromatic hydrocarbons" *Research Signpost*, 37/661

Translation Localization Globalization. Multilingual Archive Powered by WorldLingo  
Translations LLC Copyright, 2011

Valle H. B. L., Mugica A. V., Salinas T. E., Amador M. O., Murillo T.M.A., Villalobos P. ,  
De Vizcaya R. A.(2010) "Temporal variation of nitro-polycyclic aromatic hydrocarbons in  
PM<sub>10</sub> and PM<sub>2,5</sub> collected in Northern Mexico City" *Science of the Total Environment* 408:  
5429-5438

Villalobos-Pietrini R., Amador-Muñoz O., Hernández-Mena L., Frías-Villegas A., Flores-  
Márquez A., Guzmán-Rincón J., Saldarriaga- Noreña H., Gómez-Arroyo S. (2006), "Un  
modelo para la detección y la cuantificación biológica y química de mutágenos en el  
ambiente" p.31-54

Villalobos-Pietrini R., Amador-Muñoz O., Waliszewski S., Hernández-Mena L., Munive-  
Colín Z., Gómez-Arroyo S., Bravo-Cabrera J.L., Frías-Villegas A. (2006). "Mutagenicity  
and polycyclic aromatic hydrocarbons associated with extractable organic matter from  
airborne particles  $\leq 10 \mu\text{m}$  in the southwest Mexico City" *Atmospheric Environment* ,40  
5845-5857

Villalobos-Pietrini R., Amador-Muñoz O., Valle-Hernández B.L., Gómez-Arroyo S.,  
Waliszewski S. and Jazcilevich A.D. (2011) "Organic Compounds in Airborne Particles and  
their Genotoxic Effects en Mexico City. *Air Quality / Book 2*, p. 1-34.

Wichmann G., Franck U., Herbarth O., Rehwagen M., Dietz A., Massolo L., Ronco A.,  
Müller A. (2009). "Different immunomodulatory effects associated with submicrometer  
particles in ambient air from rural, urban and industrial areas" *Toxicology* 257 127-136.

WHO (World Health Organization) Joint WHO/Convention Task Force on the Health  
Aspects of Air Pollution. Health risks of persistent organic pollutants from long-range  
transboundary air pollution. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Chap. 8. WHO Europe  
2003.

WHO (World Health Organization) 2005. Air Quality Guidelines, Global Updated. Chap. 2  
Global ambient air pollutions concentrations and trends. Chap.10 Particulate Matter. WHO  
Europe.



Yang His-Hsien Chien Shu-Mei, Chao Mu-Rong, Lin Chi-Chewen. (2005). "Particle size distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in motorcycle exhaust emissions" *Journal of Hazardous Materials* B125 154-159



## APENDICE A

Observaciones a la NOM-025-SSA1-2005 de acuerdo a la NMX-Z-013/1-1997



**Observaciones a la NOM-025-SSA1-2005 de acuerdo a la NMX-Z-013/1-1997**

Sección, párrafo o renglón de la NOM-Z-013/1-1997	Estado de la NOM-025-SSA1-2005 :	Se sugiere:
1.3.1 Uso de un término único cuando se refiera a un concepto dado. 3.2.1 Título 5.4.2 Tabla 1	Utiliza en el texto: Criterios para evaluar la calidad del aire, pero nunca define la palabra, lo que causa confusión ya que este término se usa para denominar los contaminantes criterio. Titula la tabla 1: Criterios de Calidad de los datos de Monitoreo	Cambiar palabra criterio por valores para definir la calidad del aire con respecto al material particulado.....ya que criterio es empleado para denominar a los contaminantes más nocivos para la salud. Omitir en título de tabla 1 la palabra criterios.
1.4 Cumplimiento con normas básicas	No menciona la norma guía de redacción	Indicar la Norma Mexicana NMX-Z-013/1-1997: Guía para la Redacción, Estructuración y presentación de las normas mexicanas.
3.1.1 Portada	No cuenta con portada	Se debe ajustar a lo establecido por DGN de acuerdo a los diseños normalizados.
3.1.1 Referencias de la Portada	Las citas del Presidente del Comité Consultivo encargado de la norma, cuando menciona al Reglamento Interior de la Secretaría de Salud artículos 35 y el 37 fracción V, estos no se relacionan con el tema, el primero hace referencia Consejo Nacional de Salud Mental y el otro habla de las unidades administrativas.	Se omitan
3.2.2 Introducción	0. Carece de citas bibliográficas que justifiquen algunas aseveraciones y no concluye ideas (final del párrafo 8 de introducción) y último párrafo, la idea resulta poco clara, ya que sugiere falta de compromiso para el cumplimiento de la norma	Se presenta en la propuesta de norma la Introducción original con comentarios sugeridos y con la justificación de la inclusión de determinación de los HAP.
3.2.6 Definiciones	4. Carece de la definición de criterio, HAP (Hidrocarburo aromático policíclico) y otros.	Se completa la lista de definiciones con los incluidos en la introducción propuesta.
3.3.3 Especificaciones	5. Se presentan como continuación del texto, sin realzar la importancia	Presentarlas en un cuadro.
3.3.5 Muestreo	5. No lo indica como apartado, pero si lo presenta	Identificar en el apartado correspondiente como aplica este punto.
3.3.6 Métodos de Prueba	6. Lo presenta de manera poco clara y sin citas bibliográficas, con el número de capítulo 6, que no le corresponde.  6. No indica ningún método de prueba, sólo hace referencia a la NOM-035-ECOL-1993	Presentar más claro este apartado, subdividiendo puntos importantes.
3.3.6.2. f) Método de cálculo	La publicación del Diario Oficial de la Federación no presenta las ecuaciones correspondientes para calcular el promedio trimestral y anual, por alguna omisión o falta de	Indicar claramente las ecuaciones presentadas, con subíndices correctos.



	<p>supervisión de la publicación del documento final.</p> <p>5.4.5 Ecuaciones de cálculo con errores de nomenclatura.</p> <p>5.4.5 Cálculo de Percentil, no es claro y tiene errores de nomenclatura.</p>	
3.3.6.2. f) Manejo de datos	5.4 Redacción en presente y segundo párrafo en futuro.	Homologar que en todo el texto se debe emplear el modo indicativo presente y cuando se especifique algo el modo imperativo
5.1.5 Definiciones, redacción.	4. Con mayúsculas y sin dos puntos antes de la definición, redundante en términos de partículas al poner abreviatura y nombre	Las definiciones van con negrillas, minúscula y finalizando con (:). Usar palabra completa o definición y no redundar en el término.
5.6.2 Referencias a las partes del texto	En 5.4.3 dice: se indica en la sección 5.4.5.1	La referencia debe ser: véase Sección 5.4.5.1
5.6.3 Referencias a tablas y figuras	En 5.4.2 para hacer referencia sólo anota (tabla 1)	Indicar, especificado en la tabla 1 o (véase la tabla 1)
5.6.4 Referencias a otras publicaciones	En 0. Introducción, 3. Referencias y 6. Métodos de prueba no da citas, ni referencias. No presenta referencias bibliográficas.	Las referencias a normas además de mencionarse en el capítulo de Referencias, deben llevar sus números y título completos separados por guiones y en letras bastardillas.
5.8 Representación de valores numéricos	5.4.5 Cálculos, no presenta uso de coma decimal	Homologar todas las cantidades presentadas con coma decimal, cuando aplique.
6 Bibliografía	No menciona las normas básicas, ni la correspondiente al método de prueba.	Indicar las normas nacionales e internacionales consultadas y citarlas de acuerdo a la norma de redacción.
7. Concordancia con normas internacionales	Esta norma sí tiene referencias internacionales que no están citadas, el problema ambiental es global.	Citar las normas que ya existen con respecto a los parámetros establecidos y la cita para la concentración de los HAP.
Elementos complementarios	9. Observancia de la Norma, si indica la dependencia pero falta comité responsable.	Indicar Comité responsable de observancia y es deseable anotar los datos que permitan contactarlo.



## **APENDICE B**

### **Propuesta de modificación a la NOM-025-SSA1-2005**



**Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-1993. Salud ambiental. Valores para definir la calidad del aire con respecto al límite permisible para la concentración de partículas suspendidas totales PST, partículas menores de 10 micrómetros  $\text{PM}_{10}$ , partículas menores de 2,5 micrómetros  $\text{PM}_{2.5}$  y la concentración de hidrocarburos aromáticos policíclicos HAP hidrofóbicos adheridos a las  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$ .**

Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, con fundamento en los artículos 39 de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 4° de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo; 3o. Fracción XIII, 13 apartado A) fracción I, 17 bis, 116, 118 y demás aplicables de la Ley General de Salud, 38 fracción II, 40 fracción XI, 41, 47 y 51 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 28, 33 y 34 del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y artículos 3 fracciones I inciso n y II, y 10 fracción VIII, del Reglamento de Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios me permito ordenar la publicación en el Diario Oficial de la Federación de la Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-1993. Salud ambiental. Parámetros para definir la calidad del aire con respecto al valor límite permisible para la concentración de partículas suspendidas totales PST, partículas menores de 10 micrómetros  $\text{PM}_{10}$ , partículas menores de 2,5 micrómetros  $\text{PM}_{2.5}$  y la concentración de hidrocarburos aromáticos policíclicos HAP hidrofóbicos adheridos a las  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$ .

## ÍNDICE

- 0. Introducción
- 1. Objetivo
- 2. Campo de Aplicación
- 3. Referencias
- 4. Definiciones
- 5. Especificaciones
  - 5.1 Valores de PST,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ 
    - 5.1.1 Determinación del cumplimiento de los valores normados de 24 h
    - 5.1.2 Determinación del cumplimiento de los valores normados del promedio anual
  - 5.2 Valores de HAP hidrofóbicos en  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$
- 6. Métodos de prueba
  - 6.1 Método de prueba para PST
  - 6.2 Métodos de Análisis
  - 6.3 Tratamiento de datos
  - 6.4 Muestreo
  - 6.5 Redondeo
  - 6.6 Cálculos
    - 6.6.1 Cálculo del percentil 98





#### 6.6.2 Cálculo del promedio trimestral

#### 6.6.3 Cálculo del promedio anual

#### 6.6.4 Reporte del índice de calidad del aire

### 7. Bibliografía

### 8. Concordancia con normas internacionales

### 9. Observancia de la norma

## 0. Introducción

Durante las últimas décadas la calidad del aire de las ciudades del país más densamente pobladas y sus zonas conurbadas ha mostrado una clara tendencia al deterioro. Asimismo la capacidad de renovación y recuperación del ambiente y de los recursos naturales también se ha visto afectada. Consecuentemente, la salud de la población está en riesgo o ya ha sido afectada debido a la presencia de contaminantes en el ambiente. Entre estos las partículas suspendidas son de importancia por los efectos adversos a la salud humana.

En materia de efectos del ambiente en la salud, la Ley General de Salud contempla el establecimiento de normas, medidas y actividades que protejan la salud humana ante riesgos y daños que representa el deterioro ambiental, así como la determinación de valores de concentración máxima de los contaminantes en el ambiente para el ser humano.

El nombre de partículas suspendidas se refiere a una diversidad de sustancias que existen en forma de material sólido o líquido finamente particulado con un amplio intervalo de tamaño ( $0,005 \mu\text{m}$  a  $100 \mu\text{m}$ ), suspendido en el aire. Las partículas son generadas por una gran variedad de fuentes antropogénicas y naturales. Pueden ser emitidas directamente a la atmósfera (partículas primarias) o formarse por la transformación de emisiones gaseosas (partículas secundarias) como los óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles.

La toxicidad de las partículas está determinada por sus características físicas y químicas. El tamaño que se mide en términos de diámetro aerodinámico, es un parámetro importante para caracterizar su comportamiento, ya que de él depende la capacidad de penetración y retención de diversas regiones de las vías aéreas respiratorias, también determina su tiempo de residencia en la atmósfera y por ende la concentración a la que puede estar expuesta la población.

La composición química de las partículas es también muy importante con relación a los daños específicos a la salud. La mayoría de los estudios sobre los efectos a la salud descritos en la literatura son de tipo epidemiológico y analizan las asociaciones entre las concentraciones de las partículas en el aire y los daños a la salud. Sin embargo, actualmente se están haciendo esfuerzos muy importantes para conocer el papel que la composición química y biológica de las partículas tiene en este daño y cuáles son sus mecanismos fisiopatológicos, ahora también de los compuestos asociados a ellas.

Los efectos nocivos de las partículas suspendidas no se limitan al aparato respiratorio, sino que pueden dañar otros aparatos y sistemas como el cardiovascular. Los efectos pueden ser inmediatos o presentarse después de varios días de exposición a esos contaminantes.

Los daños a la salud inducidos por las partículas han sido estudiados en muchos países y los resultados en todos ellos son consistentes y coherentes entre sí. Uno de los efectos más importantes es la mortalidad asociada a la exposición a partículas, descrita desde 1952 en los estudios realizados en la



ciudad de Londres.

En trabajos realizados en la Ciudad de México, sobre daños a la salud ocasionados por las partículas suspendidas, se reporta incremento en los índices de mortalidad, semejantes a los estudios en ciudades de Europa y Estados Unidos de América. Un estudio relacionado con la contaminación con PST indica que el riesgo a morir aumenta en un 6% por cada  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de incremento en PST. Otro estudio en personas mayores de 65 años, reportó un incremento de 1.6% en las muertes diarias por cada  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de aumento en las concentraciones de  $\text{PM}_{2.5}$ . En un estudio donde se analizaron daños provocados por partículas gruesas ( $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ), se encontró que por cada  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de incremento de este contaminante se asoció un aumento de 4% de las muertes totales diarias. Un estudio para analizar la asociación entre  $\text{PM}_{2.5}$  y mortalidad infantil (menores de un año de edad) mostró un aumento en la mortalidad total de 6,9% por cada  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  del contaminante.

Aumento en las concentraciones de  $\text{PM}_{10}$  estuvo relacionada con el 2,9% de incremento en la mortalidad, cuando las personas eran atendidas en una unidad médica, en comparación con 4,1% cuando no lo eran con valores rezagados de 3 días. En todos estos estudios los efectos más importantes se observan de 3 a 5 días después de la exposición.

Un estudio realizado en la Ciudad de México para determinar los índices de morbilidad, demostró que el incremento de  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{10}$  aumentó en 8% la sintomatología de vías respiratorias bajas en niños asmáticos de 5 a 13 años. La asociación entre contaminantes del aire y la función respiratoria de niños de edad escolar, determina que el efecto combinado de 7 días de exposición a  $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{2.5}$  y 25 ppb de  $\text{O}_3$  predice una disminución de 7.1% en el valor de flujo respiratorio máximo matutino de los niños.

En otro estudio llevado a cabo en adultos mayores de una casa de retiro de la zona norte de la Ciudad de México, se observó una relación inversa significativa entre el componente de alta frecuencia de variabilidad cardíaca y  $\text{PM}_{2.5}$  total. El porcentaje de cambio asociado al incremento de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y de  $\text{PM}_{2.5}$  fue de 5%.

La evidencia epidemiológica disponible hasta el momento sustenta el desarrollo o la planeación de estudios experimentales con el fin de esclarecer los mecanismos fisiopatológicos que apoyen los hallazgos reportados sobre la morbilidad y mortalidad. Esto implica la realización de estudios en humanos y animales, así como de estudios celulares *in vitro*.

Existe información experimental en animales generada por el grupo de investigadores del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias que ha aportado información experimental en animales. Este estudio indica daños estructurales del epitelio respiratorio de cobayos expuestos 8 horas diarias durante 4 meses al aire ambiente de la zona metropolitana del suroeste de la Ciudad de México, período en el cual se excedieron las normas mexicanas vigentes de ozono y  $\text{PM}_{10}$  durante 511 y 52 horas, respectivamente.

Los estudios experimentales *in vitro* se ha realizado en diversas estirpes celulares e indican que las  $\text{PM}_{10}$  de la Ciudad de México tienen efectos citotóxicos y genotóxicos. Los experimentos realizados por los investigadores mexicanos en los que se comparan partículas de tres diferentes regiones de la ciudad, han dado luz en cuanto a diferencias tóxicas que podrían estar relacionadas con la composición de las mismas. Se ha demostrado que los extractos orgánicos de las  $\text{PM}_{10}$  obtenidos en el centro de la Ciudad de México tienen un mayor potencial mutagénico al encontrado con partículas del Norte de la Ciudad de México y que probablemente está relacionado con el contenido de hidrocarburos policíclicos. Otros estudios que apoyan estas observaciones indican que las partículas del Norte y Centro de la Ciudad de México tienen un mayor potencial para inducir rompimientos del ADN.

Los estudios de citotoxicidad inducidas por las  $\text{PM}_{10}$  indican que son más citotóxicas que las del Centro y las del Sur. Este efecto varía dependiendo del tipo celular y de que exista proliferación celular. Estudios adicionales indican que las partículas también son capaces de inducir la secreción de moléculas proinflamatorias como  $\text{TNF}\alpha$  y  $\text{PGE}$ , lo cual predomina con partículas del centro de la ciudad.



Las partículas de la Ciudad de México también han sido capaces de modificar la respuesta de las células fibroblásticas al inducir expresión del receptor al factor de crecimiento derivado de plaquetas (PDGF). Estos efectos están parcialmente inducidos por los componentes de las partículas endotoxina y vanadio.

En el ámbito internacional, los resultados encontrados son muy similares a los reportados para las partículas de la Ciudad de México. Queda claro que las partículas son capaces de provocar respuestas inflamatorias y que tienen un potencial de daño al ADN con repercusiones desconocidas. Existen pocos estudios acerca del papel que juega la composición y la distribución por tamaño de las partículas o los mecanismos que median estos procesos, pero la evidencia acumulada favorece la probabilidad de que los efectos en la salud asociados con la contaminación con partículas tiene un fundamento biológico comprobable experimentalmente.

Con relación a las  $\text{PM}_{2.5}$  se ha encontrado un incremento de 1.4% de la mortalidad total en el Sureste de la Ciudad de México asociado a cada aumento en  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{2.5}$ .

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) son altamente liposolubles y al ser ingeridos por los mamíferos son transportados a través de membranas internas, constituidas por lipoproteínas en las células. En los humanos, la mayoría de las rutas de ingestión es a través de tracto respiratorio y los pulmones, después de la inhalación, son principalmente absorbidos con las partículas, después de depositarse en los conductos aéreos, las partículas más grandes pueden ser eliminadas de los bronquios, con la colaboración de los cilios que se encuentran en la mucosa, para evitar que entren partículas extrañas a los pulmones (Calderón 1998), pero los HAP adheridos a las partículas más pequeñas no son removidos durante su transporte a través de la mucosa ciliada, penetrado al epitelio bronquial, donde son metabolizados, la estructura similar de los HAP contribuye a que su biotransformación sea semejante. Los HAP se metabolizan inicialmente por el citocromo microsomal P-450 y su enzima CYP1A1 parece ser la única que metaboliza una amplia variedad de HAP, produciendo epóxidos, que espontáneamente se transforman en fenoles, hidratados a dihidrodioles en una reacción catalizada por la epoxi-hidrolasa, que a su vez los transforma a epoxidihidrodioles, siendo los más comunes el 1 y 5 hidroxiderivados. La mayoría de los metabolitos de los HAP se excretan por las heces y la orina, aunque no se descarta que una pequeña cantidad, de una dosis administrada de un hidrocarburo sin sustituir, pueda aparecer como bióxido de carbono en el aire exhalado (WHO 2003)

Los efectos genotóxicos de los HAP han sido determinados, en personas por exposición ambiental u ocupacional, en pruebas de mutagenicidad en orina y heces, por la formación de micronúcleos, aductos de benzo[a]pireno con ADN en linfocitos periféricos y otros tejidos y también con proteínas tales como albúmina (WHO 2003).

En México también se ha determinado la presencia de los HAP en la materia orgánica ad y/o absorbida a las  $\text{PM}_{10}$  confirmando que la fracción orgánica es de un alto riesgo para la salud. Generalmente cuando la concentración de HAP en las partículas es elevada, también lo es la de benzo[a]pireno, por lo que se le ha considerado un indicador de cancerogenicidad en la atmósfera, además de que el riesgo acumulado de cáncer, tiene una relación lineal con su concentración. Durante 1998 las  $\text{PM}_{10}$  en el Suroeste de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) rebasaron los niveles permitidos en 24 h, adjudicado a los incendios que hubo alrededor de la zona de muestreo, se realizó la identificación de los compuestos orgánicos presentes en las mezclas ambientales y se confirmó el impacto de los efectos biológicos permanentes en la población (Amador 2003).

En 2008 en México, se comprueba que las partículas en el aire con diámetros  $\leq 10 \mu\text{m}$  en atmósfera, dentro de su parte orgánica que representa aproximadamente el 13% de su masa, contiene HAP, nitro-HAP y alcanos, considerados como probables cancerígenos y por tanto con alto riesgo para la salud (Saldarriaga 2008).

Se realizaron estudios recientes de la parte orgánica de las  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$  en el ambiente del norte de la Ciudad de México de abril de 2006 a febrero de 2007, en el que se midieron 8 nitro-HAP productos de la combustión incompleta en motores con diesel y gasolina, presumiendo que la potencia de los nitro-HAP



es mayor que la de los HAP y confirmaron que el conocimiento de las concentraciones de estos compuestos puede ayudar a la vigilancia de enfermedades cardiovasculares y riesgos de cáncer (Valle 2010). En otro trabajo (Murillo, 2010), evaluó los oxi-HAP al separarlos selectivamente a partir de HAP y n-alcanos, confirmando su efecto tóxico en la atmósfera y con los análisis realizados, su origen a partir de procesos de combustión.

Se realizó en México el primer estudio descriptivo longitudinal, donde se evaluó el comportamiento temporal y espacial de las  $\text{PM}_{2.5}$ , de su materia orgánica extraída (MOE), de los HAP, de los nitro-HAP y de los n-alcanos presentes en ellas cada seis días simultáneamente en cinco sitios del área Metropolitana de la Ciudad de México (AMCM) de enero a diciembre de 2006, creando así la primera base de datos de las concentraciones de MOE, HAP, nitro-HAP e hidrocarburos alifáticos en  $\text{PM}_{2.5}$ . Adicionalmente, se creó un modelo para cuantificar HAP por cromatografía de gases bidimensional, dada la complejidad de los extractos orgánicos de las  $\text{PM}_{2.5}$ . Este estudio representa una primera opción para establecer regulaciones que limiten la concentración en el aire ambiental extramuros de estos contaminantes atmosféricos tóxicos en el AMCM (Amador 2011).

### 1. Objetivo

Esta Norma Oficial Mexicana establece los valores de concentración máxima de partículas suspendidas totales PST, partículas menores de 10 micrómetros  $\text{PM}_{10}$ , partículas menores de 2,5 micrómetros  $\text{PM}_{2.5}$  y la determinación de la presencia de las principales familias de hidrocarburos aromáticos policíclicos hidrofóbicos, en el aire ambiente, para protección a la salud de la población.

### 2. Campo de Aplicación

Esta Norma Oficial Mexicana es aplicable en todo el territorio nacional, los valores y determinaciones que se establecen deben ser considerados como referencia para que dependencias, organismos e instituciones en sus respectivos ámbitos de competencia los apliquen en las acciones de prevención de la salud humana y control de la contaminación ambiental.

### 3. Referencias

Los documentos a consultar para la aplicación de la norma son:

3.1 NMX-Z-013/1-1977, *Norma para la redacción, estructuración y presentación de las normas mexicanas*. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Dirección General de Normas, 1977.

3.2 NOM-035-ECOL-1993, *Norma Oficial mexicana que establece los métodos de medición para determinar la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente y el procedimiento para la calibración de los equipos de medición*. Instituto Nacional de Ecología, 1993.

### 4. Definiciones

Para los efectos de esta Norma se entiende por:

**aire ambiente:** a la porción de la atmósfera externa a las construcciones que no está influenciada directamente por fuentes específicas de emisión y que es representativa de una comunidad

**diámetro aerodinámico:** al diámetro equivalente al de una partícula esférica de densidad unitaria ( $1 \text{ g/cm}^3$ ), la cual tiene la misma velocidad de depositación que la partícula considerada

**microgramo por metro cúbico ( $\mu\text{gm}^{-3}$ ):** a la expresión de concentración en masa del contaminante (en microgramos) en un volumen de aire (metro cúbico) a condiciones locales de temperatura y presión

**$\text{PM}_{10}$ :** a las partículas con un diámetro aerodinámico igual o menor a 10 micrómetros



**PM<sub>2,5</sub>**: a las partículas con un diámetro aerodinámico igual o menor a 2,5 micrómetros

**PST**: a las partículas suspendidas totales con un diámetro aerodinámico menor a aproximadamente 50 micrómetros medidas con un muestreador de alto volumen

**promedio**: la media aritmética de un conjunto de datos

**valor diario**: a la concentración promedio de partículas, calculada o medida en un período de 24 horas, a partir de las 00:00 horas

**valor anual**: a la concentración promedio de partículas calculada en un año calendario, a partir de los valores diarios.

**percentil 98**: al valor de la concentración de partículas por debajo del cual cae el 98% de todos los valores diarios obtenidos en un año de monitoreo.

**depositación**: a la remoción de contaminantes de la atmósfera que se depositan en la superficie de la Tierra; puede ser húmeda (remoción por lluvias) o seca (remoción por depositación)

**criterio**: al establecimiento de un valor límite del contaminante que permite proteger la salud de la población y que se asume de acuerdo a la zona, condiciones meteorológicas, tipo de población, etc.

**contaminante atmosférico criterio**: al grupo de seis contaminantes atmosféricos comunes (monóxido de carbono, plomo, bióxido de nitrógeno, ozono, material particulado y bióxido de azufre) regulados por el gobierno con base en la información sobre salud y los efectos ambientales de cada uno.

**hidrocarburos aromáticos policíclicos HAP**: a los compuestos orgánicos ubicuos con carbono e hidrógeno que han recibido especial interés debido a sus propiedades mutagénicas, cancerígenas y biológicas.

**Materia orgánica extraída (MOE)**: a la materia orgánica extraída con un solvente liposoluble, a partir de las aeropartículas muestreadas.

## 5. Especificaciones

5.1 Para efectos de protección a la salud de la población más susceptible, se establecen los valores de concentraciones máximas para PST, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>.

Tabla 1. Valores normados de PST, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>

	Promedio 24 h	Promedio anual
PST	210 $\mu\text{gm}^{-3}$	---
PM <sub>10</sub>	120 $\mu\text{gm}^{-3}$	50 $\mu\text{gm}^{-3}$
PM <sub>2,5</sub>	65 $\mu\text{gm}^{-3}$	15 $\mu\text{gm}^{-3}$

### 5.1.1 Determinación del cumplimiento de los valores normados de 24 horas para PST, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>

Un sitio cumple con la norma de PST para el promedio de 24 horas cuando el valor de percentil 98 calculado, es menor o igual a 210  $\mu\text{gm}^{-3}$ , véase 6.4.

Un sitio cumple con la norma de PM<sub>10</sub> para el promedio de 24 horas cuando el valor de percentil 98 calculado, es menor o igual a 120  $\mu\text{gm}^{-3}$ , véase 6.4.



Un sitio cumple con la norma de PM<sub>2.5</sub> para el promedio de 24 horas cuando el valor del percentil 98 calculado, es menor o igual a 65 µgm<sup>-3</sup>, véase 6.4.

5.1.2 Determinación del cumplimiento de los valores normados del promedio anual para PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>

Un sitio cumple con la norma de PM<sub>10</sub> cuando el promedio anual de los valores diarios calculado, es menor o igual a 50 µgm<sup>-3</sup>, véase 6.4.

Un sitio cumple con la norma de PM<sub>2.5</sub> cuando el promedio anual de los valores diarios calculado, es menor o igual a 15 µgm<sup>-3</sup>, véase 6.4.

5.2 Las restricciones para HAP, se proponen de acuerdo a las concentraciones reportadas para diferentes puntos de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, véase Apéndice C.

6. Métodos de prueba

6.1 El método de prueba para la determinación de la concentración de PST en el aire ambiente y el procedimiento de calibración de los equipos de medición, estaciones o sistemas de monitoreo de la calidad del aire con fines de difusión o cuando los resultados tengan validez oficial, se establece en la Norma Oficial Mexicana NOM-035-ECOL-1993. Que establece los métodos de medición para determinar la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente y el procedimiento para la calibración de los equipos de medición, señala en sus incisos 13.1.4, 14.1 y 14.2 que “si se desea la concentración actual de PST se calcula de la siguiente forma”:

$$(PST)_a = PST \frac{P_a}{P_{pm}} \frac{T_{pm}}{T_a}$$

$PST_a$  = concentración actual en condiciones del campo en µgm<sup>-3</sup>

$PST$  = concentración de la masa de partículas suspendidas totales

$P_a$  = presión barométrica promedio durante el período de muestreo (kPa)

$P_{pm}$  = presión patrón 101 kPa

$T_a$  = temperatura patrón 298 K

$T_a$  = temperatura ambiente promedio durante el período de muestreo 298 K

Si se trata de unidades masa/volumen, no se debe corregir por diferencias de presión y temperatura, ya que no se trata de gases y por consiguiente el reporte debe realizarse obligatoriamente en condiciones ambientales, o sea locales. En cambio si existen condiciones fisiológicas que alteran la dosis de partículas inhaladas por el ser humano que se modifican con la altitud sobre el nivel del mar, la variación fisiológica que más influye en la dosis inhalada de partículas suspendidas en el aire, es el aumento en la ventilación a medida que el hombre asciende sobre el nivel del mar. La ecuación que hace referencia a este cambio es:

$$VE = \{172.6 / (-4.46A + 40)\} / \{1 - (-0.0184A) + 0.88\}$$

En la cual A significa altitud en kilómetros sobre el nivel del mar, considerando que el valor de la norma para partículas debe reducirse en 28%, lo cual protege a toda la población de la República Mexicana.

6.2 Métodos de Análisis

Los investigadores del campo de análisis químico de HAP emplean dos tipos de métodos de medición:

Mediciones dentro de tiempo real (On-real time PAH measurements)



### Mediciones fuera de tiempo real (Off-real time PAH measurements)

En esta norma, para la determinación de la concentración de HAP a partir de las muestras colectadas de  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$ , se propone la técnica empleada por el Grupo de Mutagénesis del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM (mediciones fuera de tiempo real) como se explica en las referencias: Amador 2003, Amador 2011 y Villalobos et al. 2011.

Las etapas básicas del procedimiento de análisis son la que sigue:

Muestreo en colectores de fibra de vidrio, con flujo  $1,13 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$

Extracción de la MOE, con disolvente.

Filtración y concentración de los extractos de MOE.

Análisis químico: se hace un fraccionamiento de extractos y se analizan con estándar interno, por el método de CG-EM (Cromatografía de gases-Espectrometría de masas) y detector de ionización a la flama.

Como ya se indicó, los resultados de estas evaluaciones se encuentran en el Apéndice A, Tabla A1, de este trabajo de tesis.

#### 6.3 Tratamiento de datos

Para la observancia de la norma se seguirán todos los métodos convencionales aquí indicados, así como los cálculos necesarios para determinar su cumplimiento.

#### 6.4 Muestreo

Cantidad de datos necesaria para la evaluación de la observancia de la norma: Para verificar la observancia de esta Norma se requiere de un mínimo de datos en un año. Este mínimo se evalúa a partir de la cantidad de muestras de 24 horas válidas en cada uno de los cuatro trimestres del año (véase Tabla 2). Para cada trimestre se requiere un mínimo de 75% de muestras válidas. Dato que con los sitios donde el monitoreo no se realice diariamente, se toma como base el número de muestreos calendarizados para dicho período. Si la cantidad de muestras es menor, se invalida el trimestre correspondiente. Para la validación del año es necesario contar con al menos tres trimestres válidos que cumplan con el número de muestras válidas ya especificado, en caso contrario no puede evaluarse el cumplimiento de la norma para ese año.

Tabla 2. Criterios de Calidad de los datos de Monitoreo

Trimestre	Meses
1	Enero, febrero, marzo
2	Abril, mayo, junio
3	Julio, agosto, septiembre
4	Octubre, noviembre, diciembre

#### 6.5 Redondeo

En cada sitio de monitoreo, la concentración promedio de 24 horas de PST,  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$  se reporta en  $\mu\text{g m}^{-3}$ , sin cifras decimales. Si se cuenta con valores de una o más cifras decimales el valor es redondeado. Si el primer decimal es menor o igual a 5, el valor entero no se incrementa, si es mayor se incrementa al inmediato superior.



La concentración anual o trimestral para PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> se reporta en µg m<sup>-3</sup>, tomando en cuenta una cifra decimal. Si se cuenta con valores de más de una cifra decimal, el valor es redondeado de acuerdo al criterio del párrafo anterior.

### 6.6 Cálculos

#### 6.6.1 Cálculo del percentil 98

Cuando los datos de algún sitio en particular cumplen con el requisito 6.4, el valor del percentil se calcula como a continuación:

Se ordenan los valores diarios de concentración obtenidos durante un año en una serie ascendente (x<sub>1</sub>, x<sub>2</sub>, x<sub>3</sub>,.....x<sub>n</sub>) en la que cada valor es igual o mayor que el valor anterior (x<sub>n</sub> ≥ x<sub>n-1</sub>).

Se multiplica el número total de valores, n, por 0.98. ( n\*0.98) Se toma la parte entera del valor resultante i, o sea se aproxima al número entero más próximo.

y el valor del percentil 98 se calcula con la ecuación:

$$P_{0.98} = x_{i+1}$$

Donde:

P<sub>0.98</sub> = percentil 98

i = la parte entera de 0.98\*n

i+1= es el número ( i+1)-ésimo en la serie ascendente

El percentil 98, P<sub>0.98</sub> es el valor de concentración con índice i+1 en la serie ordenada de valores

#### 6.6.2 Cálculo del promedio anual

Para poder calcular el promedio anual es necesario que los datos cumplan con el requisito especificado en 6.4. Se calcula el promedio trimestral aplicando la siguiente fórmula:

$$x_t = \frac{1}{n_t} \sum_{i=1}^{n_t} x_{i,t}$$

x<sub>t</sub> = promedio para el trimestre

n<sub>t</sub> = número de datos válidos para el trimestre

x<sub>i,t</sub> = valor de concentración correspondiente al día i dentro del trimestre t

A partir de lo anterior , el promedio anual se calcula de la siguiente forma:

$$x_a = \frac{1}{n_t} \sum_{t=1}^{n_t} x_t$$

x<sub>a</sub> = promedio anual

n<sub>t</sub> = número de trimestres válidos al año





#### 6.6.4 Reporte del índice de calidad del aire

Para fines de información al público, el algoritmo del índice de calidad de aire para PST, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> deben calcularse con base en el valor diario de concentración (promedio de 24 h), obtenido directamente de la medición. Los promedios trimestrales o anuales y los valores de percentil 98 no pueden utilizarse para calcular dicho índice.

#### 7. Bibliografía

7.1 Alfaro-Moreno Ernesto, Martínez Leticia, García-Cuéllar Claudia, Bonner James C., Murray J. Clifford Rosas Irma, Ponce de León Rosales Sergio y Osornio-Vargas Álvaro R. (2002). Biologic Effects Induced in Vitro by PM<sub>10</sub> from three Different Zones of Mexico City, *Environ Health Perspect* 100 p. 715-720

7.2 Amador, Omar. Tesis de maestría en Ciencias Químicas. (2003). "Estudio de hidrocarburos aromáticos policíclicos adsorbidos a las aeropartículas  $\leq 10 \mu\text{m}$  del suroeste de la Ciudad de México". Facultad de Química, Posgrado, UNAM.

7.3 Amador, Omar. Tesis de doctorado en Ciencias Químicas (2011). "Especiación química de compuestos orgánicos en las PM<sub>2.5</sub> del Valle de México: variación espacial y temporal, comportamiento y fuentes". Facultad de Química, Posgrado, UNAM.

7.4 Bates D. (2000). Lines that connect: Assessing the casuality inference in the case of particulate pollution, *Environ Health Perspect*, 91-92, Vol. 108 (2).

7.5 Bonner J. C., Rice A.B. Lindroos P.M., O. Dreher K. L., Alfaro Moreno E., Rosas Pérez I., Osornio Vargas A.R. (1998). Induction of the lung myofibroblast PDGF receptor system by urban ambient particles from Mexico City. *Am. J. Respir. Cell. Mol. Biol.*, 19(4). P. 672-680.

7.6 Borja-Aburto V. H., Castillejos M., Cold R.D., Bierzwinsk S. and Loomis D. (1998). Mortality and ambient fine particles in southwest Mexico City. 1993-1995. *Environ Health Perspect*, 106 (12), p. 849-855.

7.7 Borja-Aburto V.H., Loomis D.P., Shy C.M., Bangdiwala S.I., Rascón-Pacheco R.A. (1997). Ozone, suspended particulates and daily in Mexico City. *Am. J. Epidemiol.*, 145, p.258-268.

7.8 Calderón-Garcidueñas L., Rodríguez-Alcaraz A., Villarreal-Calderón A., Lyght O., Janszen D., Morgan K. T. (1998). "Nasal epithelium as a sentinel for airborne environmental pollution". *Toxicol. Sci.* 46: 352-364.

7.9 Castillejos M., Borja Aburto H., Dockery, Douglas, Gold, Biane, Loomis Dana (2000), Air Borne Course Particulate Mortality, *Inhalation Toxicology*, 12 Supplement 1, p. 61-72.

7.10 Dockery D.W., Pope III C.A., Xiping X., Spengler J. D., Ware J. H., Fay D.M., Ferris B. G. and Speizer F.E. (1993), An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *The New England Journal of Medicine*, 9 p. 1754-1759.

7.11 Finlayson-Pitts B. J., Pitts J. N. (1986). *Atmospheric Chemistry: Fundamentals and experimental Techniques*. Ed. John Wiley & Sons, p. 727-869.

7.12 Téllez-Rojo, MM, Romieu I, Ruiz-Velasco S., Lezama MA, Hernández-Avila M. (2000). Daily respiratory mortality and PM<sub>10</sub> pollution in Mexico City: Importance of Considering place of death. *Eur Respir J*, 16: 391-396.

7.13 Gold R. D. Damoksh A. I., Pope III C.A., Dockery D.W., McDonell W.F., Serrano P., Retama A., Castillejos M. (1999). Particulate and Ozone Pollutant Effects on the Respiratory Function of children in Southwest Mexico City. *Epidemiology*, 10 p. 8-16.

7.14 Hilda Villegas-Castrejón, Jaime Villalba-Caloca, Manuel Meneses-Flores, Michelle Marie Haselbarth-López, Ernestina Flores-Rivera and José Pérez Nería (1999). Transmission Electron Microscopy Findings in the Respiratory Epithelium of Guinea Pigs Exposed to the Polluted Air of Southwest Mexico City, *Journal of Environmental Pathology, Toxicology and Oncology*, 18(4): 323-334.

7.15 Holguín F., Téllez Rojo M.M., Hernández M., Chow C.J., Watson G. J. Mannino D., Romieu I. (2002) Effects of particulate and ambient ozone concentration on automatic cardiac dysfunction among elderly residents of Mexico City. *Epidemiology*.

7.16 Hollan A., Hamilton R.F., Morandi M.T., Brown S.D., Li I. (1998). Urban particle-induced apoptosis and phenotype shifts in human alveolar macrophages *Environ. Health Perspect* 106 p., 127-132.

7.17 Lee S.D., Sheneider T., Grant L.D., Verkerk P.J. (1986). *Aerosols: Research, Risk, Assessment and Control Strategies*. Proceedings of the Second U.S. Ducht International Symposium, Williamsburg, Virginia. May 19-25, 1985. Lewis Publishers, Inc. p. 3-17, 1.9-41.

7.18 Llabaca M. Olaeta I., Campos E., Villaire J. Téllez-Rojo MM, Romieu I. (1999) Association between levels of fine particulate and emergency visits pneumonia and other respiratory illnesses among children in Santiago, Chile. *J. Air & Waste Manage Assoc.* 49: PM 154-163.

7.19 Loomis D. Castillejos M. Gold D.R., Mc Donnell W., Borja-Aburto V.H. (1999). Air Pollution and Infant Mortality in Mexico City. *Epidemiology* 10: 118-123.



- 7.20 Molina Luisa T., Molina Mario J. (coordinadores). (2005). La Calidad del aire en la Megaciudad de México. Un enfoque integral. Fondo de Cultura Económica.
- 7.21 Monn Ch. Becker S. (1999), Cytotoxicity and induction of proinflammatory cytokines from human monocytes exposed to fine ( $\text{PM}_{2.5}$ ) and coarse particles ( $\text{PM}_{10-2.5}$ ) in outdoor and indoor air. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 155, p. 245-252.
- 7.22 Nehis J.G., Akland G.G (1973). Procedure for Handling Aerometric Data, JAPCA, Vol.23.
- 7.23 Osornio Vargas A. R., Alfaro Moreno E., Rosas Pérez I. y García Cuéllar C. (1999) ¿Tienen las  $\text{PM}_{10}$  de diferentes zonas de la Ciudad de México el mismo potencial tóxico? Reporte Técnico CONSERVA.
- 7.24 Pope III C.A., Schwartz J., Ransom M.R. (1992), Daily Mortality and  $\text{PM}_{10}$  Pollution in Utah Valley. *Arch. Environ. Health*, 47(3), p. 211-217.
- 7.25 Programa Nacional de la Salud 2001-2006, SSA.
- 7.26 Programa Nacional de Medio Ambiente 2001-2006, SEMARNAP.
- 7.27 Reyes D.C., Mireles B. R., Chimal H. J., Carranza E., Aguirre A., Alfaro M. E., Osornio V.A. (1995). Evaluación de la capacidad hemolítica in vitro de muestras de polvo casero de la Delegación Benito Juárez (D.F.), *Rev. Inst. Enf. Resp.*, 8(2), p. 38-42.
- 7.28 Romieu I., Meneses F., Ruiz S., Huerta J., White M., Etzel R., Hernández M. (1998). Effects of air pollution on the respiratory health of children with mild asthma living in Mexico City. *Journal of the air & waste management association* 488, p. 327-335.
- 7.29 Saldarriaga H., Villalobos R., Solano G., Amador O., Gaspariano R., Palma R., Munive Z. (2008). "Aliphatic, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Nitraded-Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in  $\text{PM}_{10}$  in Southwestern Mexico City" *Polycyclic Aromatic Compounds* 28: 578-597.
- 7.30 US Environmental Protection Agency (1982) Air Quality Criteria Document for Particulate Matter and Sulfur Oxides. V. II. Research Triangle Park, N.C. Office of Health and Environmental Assessment, Environmental Criteria and Assessment Office; report no. EPA-600/8-82-029bF.
- 7.31 US Environmental Protection Agency (1996a) Air Quality Criteria Document for Particulate Matter. Research Triangle Park, N.C. Office of Health and Environmental Assessment, National Center for Environmental Assessment, Office of Research and Development, April 12, 1996.
- 7.32 US Environmental Protection Agency (1997a) National Ambient Air Quality for Particulate Matter-Final Rule, 40 CFR part 50, Federal Register, 62(138): 38651-38760, July 18, 1997.
- 7.33 US Environmental Protection Agency (1997b) Revised Requirements for Designation of reference and Equivalent Methods for  $\text{PM}_{2.5}$  and Ambient Air Quality Surveillance for Particle Matter-Final Rule 40 CFR parts 53 and 58. Federal Register, 62(138):38763-38854, July 18, 1997.
- 7.34 Valle H. B. L., Mugica A. V., Salinas T. E., Amador M. O., Murillo T.M.A., Villalobos P. , De Vizcaya R. A.(2010) "Temporal variation of nitro-polycyclic aromatic hydrocarbons in  $\text{PM}_{10}$  and  $\text{PM}_{2.5}$  collected in Northern Mexico City" *Science of the Total Environment* 408: 5429-5438.
- 7.35 Villalobos R., Blanco S., Gómez S. (1995), Mutagenicity assessment of airborne particles in Mexico City. *Atmosph. Environ.*, 29(4), p. 517-524.
- 7.36 Villalobos-Pietrini R., Amador-Muñoz O., Valle-Hernández B.L., Gómez-Arroyo S., Waliszewski S. and Jazcilevich A.D. (2011) "Organic Compounds in Airborne Particles and their Genotoxic Effects in Mexico City. *Air Quality / Book 2*.
- 7.37 Villegas- Castrejón H., Villalba-Caloca J., Meneses-Flores H. Haselbarth-López M.M., Flores Rivera E., Pérez-Neria J. (1999), Transmission electron microscopy findings in pigs exposed to the polluted air of southwest Mexico City. *Journal of Environmental Pathology, Toxicology and Oncology*. 18(4), p. 323-334.
- 7.38 WHO (World Health Organization) Joint WHO/Convention Task Force on the Health Aspects of Air Pollution. Health risks of persistent organic pollutants from long-range transboundary air pollution. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Chap. 8. WHO Europe 2003.

#### 8. Concordancia con normas internacionales

Esta norma no es equivalente a ninguna norma internacional, ni mexicana por ser una nueva propuesta.

#### 9. Observancia de la norma

Esta Norma Oficial Mexicana es de observancia en todo el territorio nacional y aplica a las autoridades federales y locales que tengan a su cargo la vigilancia y evaluación de la calidad del aire, con fines de protección a la salud de la población.

9.1 La vigilancia de esta Norma corresponde a la Secretaría de Salud y a los gobiernos de las Entidades Federativas, en sus respectivos ámbitos de competencia. El comité responsable de su revisión y emisión



es el Comité Consultivo de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, con sede en la Secretaría de Salud.

## APENDICE C

### Concentraciones de HAP en $\text{PM}_{10}$ y $\text{PM}_{2,5}$

**Tabla C1 Comparación de concentración de HAP ( $\text{pgm}^{-3}$ ) en  $\text{PM}_{10}$  llevadas a cabo entre diferentes sitios y estaciones en la ZMCM. El año de la campaña está indicado en paréntesis.**

HAP	SO <sup>1</sup> (98)	SO <sup>2a</sup> (98-99)	SO <sup>2b</sup> (98-99)	Central <sup>3a</sup> (03)	SO <sup>3b</sup> (03)	SO <sup>4</sup> (04)	SO <sup>5a</sup> (05-06)*
Acenaftileno	n.f.	n.r.	n.r.	201	85	n.r.	n.r.
Acenafteno	46	n.r.	n.r.	35	29	n.r.	n.r.
Fluoreno	n.f.	n.f.	n.r.	85	23	n.r.	<200
Fenantreno	516	337	153	561	249	n.r.	200-500
Antraceno	49	87	85	133	76	n.r.	n.r.
Fluoranteno	815	659	203	1 438	681	200	500-800
Pireno	1 330	848	242	1 702	791	n.r.	600- 1 000
Reteno	1 162	512	181	n.r.	n.r.	30	n.r.
Benzo[a]antraceno	639	525	138	2 174	887	180	1 000-1 200
Criseno	1 204 <sup>I</sup>	728 <sup>I</sup>	214 <sup>I</sup>	3 132 <sup>I</sup>	1 441	240 <sup>I</sup>	1 200-1 500
Benzo[b]fluoranteno	3 388 <sup>II</sup>	1 603	703	3 412	1 560	740 <sup>IV</sup>	1 500-1 800
Benzo[k]fluoranteno	n.r.	1 021 <sup>III</sup>	425 <sup>III</sup>	2 858	1 474	n.r. <sup>IV</sup>	1 200-1 500
Benzo[e]pireno	1 630	1 304	556	n.r.	n.r.	370	n.r.
Benzo[a]pireno	1 195	786	322	4 004	1 522	320	1 200-1 500
Perileno	282	225	126	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
Indeno[1,2,3-cd]pireno	2 541	1 821	887	5 660	2 560	670	1 400-1 600
Dibenzo[ah]antraceno	n.f.	186	115	887	734	70	1 000
Benzo[ghi]perileno	3 802	3 065	1 520	7 174	2 777	870	1 600-2 000
Coroneno	2 776	3 167	1 544	n.r.	n.r.	1 250	n.r.
$\Sigma$ HAP	21 634	17 371	7 359	34 300	15 600	4 900	n.r.

Continuación Tabla C 1...

HAP	SO <sup>5b</sup> (05-06)*	SO <sup>5c</sup> (05-06)*	Central <sup>5a</sup> (05-06)*	Central <sup>5b</sup> (05-06)*	Central <sup>5c</sup> (05-06)*	NO <sup>6a</sup> (05-06)
Acenaftileno	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
Acenafteno	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
Fluoreno	< 200	< 500	100-300	100-300	<500	100
Fenantreno	200-500	500-1 000	500-1000	500-1 000	1 000-1 500	80
Antraceno	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
Fluoranteno	400-600	500-1 000	1000-1500	1000-1500	2000-3000	120
Pireno	600-1000	1000-1500	1200-1600	1500-2000	2000-3000	350
Reteno	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
Benzo[a]antraceno	1100-1400	1000-1500	1500-2000	1500-2000	2000-3000	220
Criseno	1000-1300	1000-1500	3000-3500	1500-1800	5000-7000	240

Benzo[b]fluoranteno	1500-1800	1500-2500	2000-2500	3000-3200	5000-7000	150
Benzo[k]fluoranteno	1000-1300	1000-1500	2000	1000-1300	3500-5000	120
Benzo[e]pireno	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
Benzo[a]pireno	1000	1000-1500	3500-4000	4000	5000-6000	250
Perileno	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
Indeno[1,2,3-cd]pireno	1500-1800	1000-1500	4000-4500	5000-5500	12000-14000	70
Dibenzo[ah]antraceno	1000	1000-1500	500-1000	500-1000	1000-1500	110
Benzo[ghi]perileno	2000	2500-3000	5000	6000-7000	16000-18000	340
Coroneno	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
$\Sigma$ HAP	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	1990

Continuación Tabla C 1...

HAP	NO <sup>6b</sup> (05-06)	NO <sup>6c</sup> (05-06)	N <sup>5d</sup> (06-07)*	N <sup>5e</sup> (06-07)*	N <sup>5f</sup> (06-07)*
Acenaftileno	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
Acenafteno	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
Fluoreno	100	300	500-800	100-300	400-600
Fenantreno	50	260	500-800	500-800	700-900
Antraceno	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
Fluoranteno	110	250	700-900	600-800	1200-1400
Pireno	250	580	1000-1100	700-900	1400-1600
Reteno	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
Benzo[a]antraceno	440	1580	1000-1300	1000	1400-1600
Criseno	270	1360	1100-1400	800-1000	1000
Benzo[b]fluoranteno	280	1740	1000-1300	1400-1600	2800-3000
Benzo[k]fluoranteno	210	1150	1100-1400	1000-1200	1800-2000
Benzo[e]pireno	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
Benzo[a]pireno	290	810	1400-1600	1300-1500	2300-2500
Perileno	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
Indeno[1,2,3-cd]pireno	90	390	1800-2000	1700-1900	3200-3400
Dibenzo[ah]antraceno	270	900	1100-1400	1100-1300	1300-1500
Benzo[ghi]perileno	380	1360	1800-2000	1700-1900	3400-3600
Coroneno	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
$\Sigma$ HAP	1990	2760	10 480	n.r.	n.r.

Fuente: Villalobos et al. (2011), p.14-15.

NOTA: Tablas reproducidas con autorización del autor.

SO (Pedregal), NO (UAM-A), N (CINVESTAV), \*Rango de valores aproximados desde que fueron obtenidos por Mugica et al. (2010a), n.f.-no encontrado, n.a.- no analizado, n.r.- no reportado. <sup>I</sup> Criseno+Trifenileno, <sup>II</sup> Benzo[b+k]fluorantenos, <sup>III</sup> Benzo[j+k]fluorantenos, <sup>IV</sup> Benzo[b+j+k]fluorantenos.

<sup>I</sup>Villalobos-Pietrini et al. (2006). HAP promedio de concentraciones anuales (ajustados a condiciones estándar a 25°C y 1 atm) de Junio a Diciembre de 1998. Se presentaron incendios forestales de Febrero a Mayo de 1998 (Bravo et al. 2006). SO es una zona residencial y comercial, con áreas verdes. Colección de 24 h, muestreadores de alto volumen ( $1,13 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1}$ ).

<sup>2</sup>Amador -Muñoz et al. (2010). HAP promedio de concentración estacional (ajustados a condiciones estándar a 25°C y 1 atm):

<sup>a</sup> Estación Seca-Fría (Octubre 1998-Febrero 1999) y <sup>b</sup> Estación lluviosa (Junio-October 1999). SO es una zona residencial y comercial, con áreas verdes. Colección de 24 h, en un impactador de cascada de muestreadores de alto volumen ( $1,13 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1}$ ), HAP en  $\text{PM}_{10}$  fue calculado como la suma de todas las etapas.

<sup>3</sup> Guzmán-Torres et al. (2009). Promedio de concentración mensual de HAP en Marzo 2003 (Estación seca-cálida): <sup>a</sup> La zona es altamente impactada por emisiones vehiculares, y es considerada como un sitio de origen, <sup>b</sup> La zona es de baja densidad residencial con bajo flujo vehicular y fue considerada como un sitio



receptor durante las direcciones diurnas de vientos prevalecientes. Colección de 8 h, muestreadores de alto volumen ( $1,13 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1}$ ).

<sup>4</sup> Saldarriaga et al. (2008). HAP promedio de concentración estacional (ajustados a condiciones estándar a  $25^\circ\text{C}$  y 1 atm) desde Febrero a Abril 2004 (Estación seca-cálida). SO es una zona residencial y comercial, con áreas verdes. Colección de 24 h, muestreadores de alto volumen ( $1,13 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1}$ ).

<sup>5</sup> Mugica et al. (2010<sup>a</sup>). HAP promedio de concentración estacional: <sup>a</sup> Febrero-Mayo 2005 (Estación seca-cálida), Junio-Septiembre 2005 (Estación lluviosa), <sup>c</sup> Octubre 2005-Febrero 2006 (Estación seca-fría), <sup>d</sup> Estación seca-cálida, <sup>e</sup> Estación lluviosa, <sup>f</sup> Estación seca-fría. No fueron especificados meses para <sup>d,e,f</sup>. Zona centro es cercana al Centro de la Ciudad de México con semáforos y tránsito pesado en muchas avenidas, y N (CINVESTAV) sitio con intensa actividad industrial, rodeado de avenidas principales con grandes volúmenes de tránsito, conecta regiones desde el norte al centro de la ZMCM, Colección de 24 h, muestreadores de alto volumen ( $1,13 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1}$ ).

<sup>6</sup> Mugica et al. (2010<sup>b</sup>). HAP promedio de concentración estacional: <sup>a</sup> Febrero-Mayo 2005 (Estación seca-cálida), <sup>b</sup> Junio-Septiembre 2005 (Estación lluviosa), Noviembre 2005-Enero 2006 (Estación seca-fría). NO (UAM-A) es una zona urbanizada con mezcla de ocupación de la tierra para casas y áreas industriales, Colección de 24 h, muestreadores de alto volumen ( $1,13 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1}$ ).

**Tabla C2 Comparación de concentraciones en masa de HAP ( $\text{pgm}^{-3}$ ) en  $\text{PM}_{2,5}$  en diferentes sitios de la ZMCM.**

HAP	N <sup>1a</sup> *	NE <sup>1b</sup> *	NO <sup>2</sup>	NE <sup>2</sup>	C <sup>2</sup>	NO <sup>2</sup>	SE <sup>2</sup>
Naftaleno	n.a.	n.a.	107	588	151	96	89
Acenaftileno	n.a.	n.a.	50	76	49	25	39
Acenafteno	n.a.	n.a.	0	0	0	0	0
Fluoreno	n.a.	n.a.	16	60	0	0	0
Fenaftreno	n.a.	n.a.	173	386	199	115	134
Antraceno	n.a.	n.a.	40	66	40	23	26
Fluoranteno	n.a.	n.a.	223	554	222	139	187
Pireno	n.a.	n.a.	285	711	292	178	241
Benzo[a]antraceno	n.a.	n.a.	219	313	254	140	207
Criseno+Trifenileno	n.a.	n.a.	598	883	662	391	477
Benzo[b]fluoranteno	572	475	576	548	764	402	601
Benzo[k]fluoranteno	487	317	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
Benzo[j+k]fluorantenos	n.a.	n.a.	486	506	534	347	517
Benzo[e]pireno	597	438	313	383	474	275	408
Benzo[a]pireno	n.a.	n.a.	380	404	455	265	452
Perileno	n.a.	n.a.	105	110	118	69	94
Indeno[1,2,3-cd]pireno	475	353	500	477	690	408	608
Dibenzo[ac]antraceno	n.a.	n.a.	38	53	38	23	50
Dibenzo[ah]antraceno	110	97	63	60	73	46	94
Benzo[ghi]perileno	1108	548	1333	1229	1840	1119	1619

Fuente: Villalobos et al. (2011), p.14-15.

NOTA: Tablas reproducidas con autorización del autor.

n.a. – no analizado, n.r. – no reportado. \* Los valores fueron actualizados a las condiciones estándar ( $298 \text{ K}$ , 1 atm), los cuales representan  $\sim 21.5 \%$  más que los valores reales.

<sup>1</sup>Stone et al. (2008) <sup>a</sup> Zona urbana, <sup>b</sup> Zona suburbana. Promedio de los días de muestreo (17-30, Marzo 2006).  $\text{PM}_{2,5}$  fueron colectadas con muestreadores de volumen medio en filtros de fibra de cuarzo, durante 12 h.

<sup>2</sup> Amador-Muñoz et al. (2011). Medianas anuales (Enero a Diciembre 2006).  $\text{PM}_{2,5}$  fueron colectadas con muestreadores de alto volumen en filtros de fibra de vidrio cubiertos con Teflón durante 24 h.