

Agradecimientos

Los *Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México* fueron el resultado de los esfuerzos realizados por diversos participantes. El Comité Asesor Binacional (BAC, por sus siglas en inglés) condujo el desarrollo de estos manuales. Los miembros del BAC fueron:

Dr. John R. Holmes, Directorio de Recursos del Aire del Estado de California
Mr. William B. Kuykendal, U.S. Environmental Protection Agency
Mr. Gary Neuroth, Departamento de Calidad Ambiental de Arizona
Dr. Víctor Hugo Páramo, Instituto Nacional de Ecología
Mr. Gerardo Ríos, U.S. Environmental Protection Agency
Mr. Carl Snow, Comisión para la Conservación de los Recursos Naturales de Texas

La Asociación de Gobernadores del Oeste (WGA, por sus siglas en inglés) fue la entidad líder de este proyecto. El Sr. John T. Leary fungió como Gerente de Proyecto. El financiamiento para el desarrollo del cuaderno de trabajo fue recibido de la U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Radian International elaboró los manuales bajo la conducción de la BAC y la WGA.

RCN 670017 5104

MANUALES DEL PROGRAMA DE INVENTARIOS DE EMISIONES DE MEXICO

VOLUMEN II – FUNDAMENTOS DE INVENTARIOS DE EMISIONES

FINAL

Elaborado para:

Asociación de Gobernadores del Oeste
Denver, Colorado

y

El Comité Asesor Binacional

Elaborado por:

Radian International LLC
10389 Old Placerville Road
Sacramento, CA 95827

Diciembre, 1997

PREFACIO

La contaminación del aire puede tener impactos negativos sobre la salud pública cuando su concentración en la atmósfera alcanza niveles significativos. En la mayor parte de las áreas rurales los problemas de calidad del aire se dejan sentir sólo en raras ocasiones mientras que muchos ambientes urbanos con frecuencia registran elevadas concentraciones de contaminantes. Durante los últimos años, México ha tenido un gran crecimiento en la urbanización y en la actividad industrial, lo que ha generado serias preocupaciones acerca de la calidad del aire en diversas regiones del país.

La contaminación del aire resulta de una compleja mezcla de, literalmente, miles de fuentes, que van desde las chimeneas industriales y los vehículos automotores, hasta el uso individual de productos de aseo, limpiadores domésticos y pinturas; incluso la vida animal y vegetal puede desempeñar un papel importante en el problema. Debido a la compleja naturaleza de la contaminación del aire se requieren planes regionales detallados para identificar las fuentes de emisión, así como el desarrollo de métodos para reducir el impacto sobre la salud ocasionado por la exposición a los contaminantes. Entre algunos ejemplos de las actividades de gestión de la calidad del aire se encuentran:

- La aplicación de modelos de calidad del aire
- El examen de las fuentes emisoras de contaminantes para analizar el control de emisiones, cuando así se requiere
- El desarrollo de proyecciones de las emisiones para examinar posibles cambios en la futura calidad del aire
- El análisis de las tendencias de emisión
- El análisis del transporte de las emisiones de una región a otra.

El desarrollo de inventarios de emisión bien fundamentados es un aspecto clave en cada una de estas funciones de gestión de la calidad del aire.

El cálculo de estimaciones de emisión que cumplan con las necesidades de la gestión de la calidad del aire requiere de un desarrollo y refinamiento continuos; los esfuerzos de inventarios “de un solo paso” no son adecuados para el proceso de gestión de la calidad del aire. Para obtener un beneficio de larga duración debe instrumentarse un *programa de inventarios*, de manera que sea posible el desarrollo de estimaciones exactas de las emisiones para todas las regiones geográficas de importancia, que tengan la capacidad de ser refinadas con el paso del tiempo y que puedan aplicarse efectivamente en el proceso de gestión y monitoreo de la calidad del aire. De esta manera, se está desarrollando un conjunto de manuales de inventarios que puedan ser aplicados en todo el país para ayudar a coordinar el desarrollo de estimaciones de emisiones consistentes. Estos manuales han sido diseñados para ser utilizados por las autoridades locales, estatales y federales, así como por consultores privados e industriales. El propósito de estos manuales es ayudar en el proceso de instrumentación del programa de inventarios y en su mantenimiento a lo largo del tiempo, de manera tal que los inventarios de emisiones se puedan desarrollar en ciclos periódicos mejorándolos continuamente.

Los manuales abarcan elementos del programa de inventarios tales como la estimación de emisiones, la planeación del programa, manejo de bases de datos, validación de emisiones y otros temas de importancia. La Figura 1 muestra la serie completa de manuales que serán desarrollados para apoyar un programa de inventarios de largo alcance. A continuación se resume el propósito principal de cada manual.

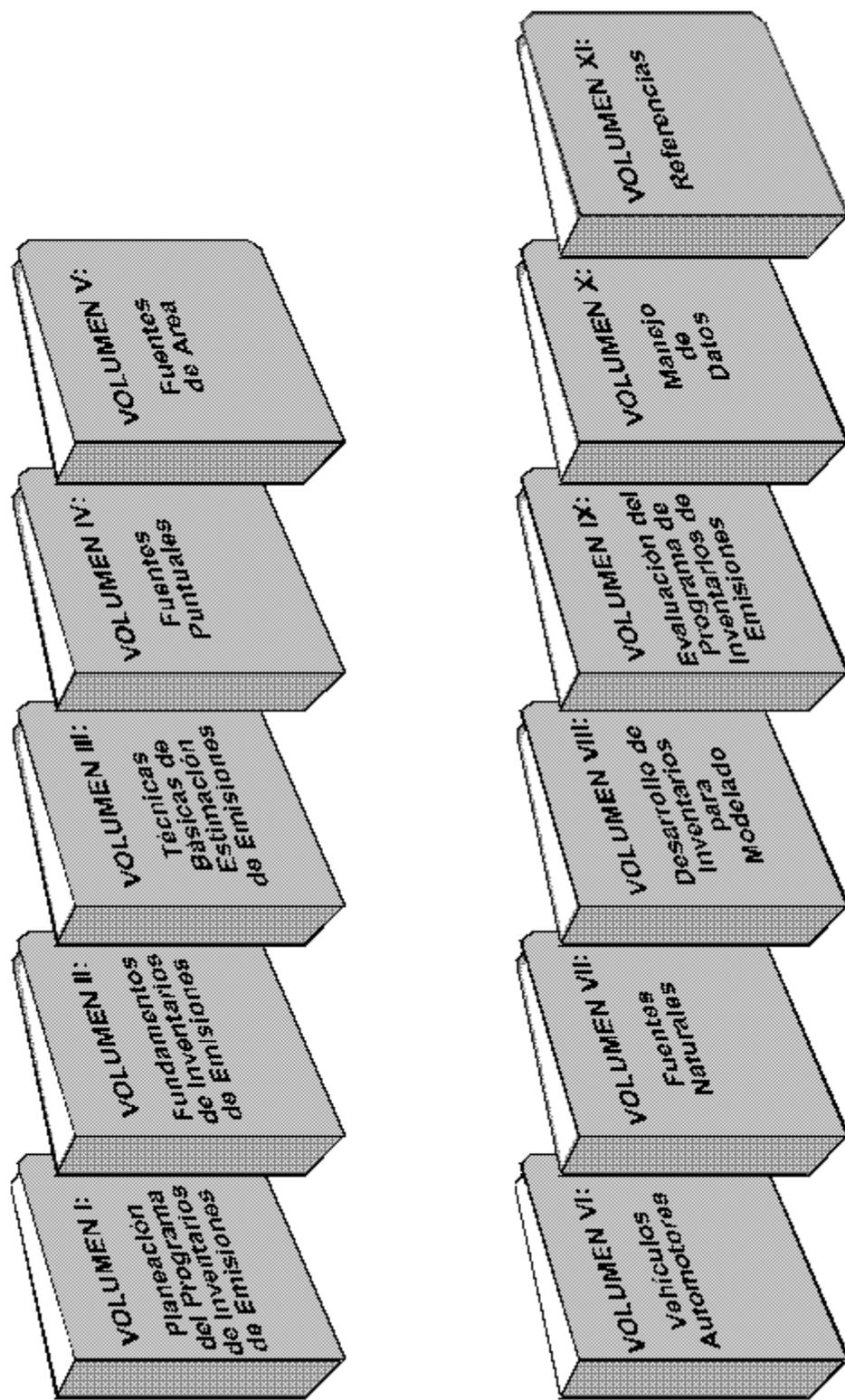


Figura 1. Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México

Volumen I - Planeación del Programa de Inventarios de Emisiones. Este manual presenta los aspectos de gestión que deben ser considerados en un programa de inventario de emisiones al aire. La planeación del programa no se presenta como una actividad “terminal”, sino más bien como un proceso continuo para asegurar el crecimiento en el largo plazo y el éxito del programa de inventarios. *Temas Clave:* propósito del programa; usos finales del inventario; requerimientos regulatorios; coordinación en los niveles federal, estatal y local; requerimientos de personal y de manejo de datos; identificación y selección de estudios especiales.

Volumen II - Fundamentos de Inventarios de Emisiones. Este manual presenta los fundamentos básicos para el desarrollo de inventarios de emisiones, así como los elementos que son aplicables a los diversos tipos de fuentes (e. g., puntuales y de área), para evitar la necesidad de que sean repetidos en cada volumen. *Temas Clave:* regulaciones aplicables; efectividad de la regla; penetración de la regla; definiciones sobre contaminantes (e. g., cómo excluir de manera adecuada los compuestos volátiles no reactivos); definición de fuentes puntuales y de área; reconciliación de fuentes puntuales y de área.

Volumen III - Técnicas Básicas de Estimación de Emisiones (TEEs). Este documento presenta las TEEs básicas utilizadas para hacer estimaciones de emisiones, incluyendo ejemplos y cálculos como muestra. Por otro lado se identifican las herramientas para inventarios asociadas con cada metodología y se incluyen en el Volumen XI (Referencias). *Temas Clave:* muestreo en la fuente, modelos de emisiones, encuestas, factores de emisión, balance de materiales y extrapolación.

Volumen IV - Fuentes Puntuales. Este manual proporciona guías para elaborar inventarios de emisiones de fuentes puntuales. Incluye una tabla de referencias cruzadas para cada combinación de industria y tipo de dispositivo (e. g., refinación de petróleo y dispositivos de combustión), con una o más de las TEEs presentadas en el Volumen III. *Temas Clave:* tabla de referencias cruzadas; parámetros de chimenea; dispositivos de control; consideraciones de diseño

y de proceso; diferencias geográficas y variabilidad en México; aseguramiento y control de calidad (AC/CC); procesos omitidos; referencias de datos y formas para recopilación de datos.

Volumen V - Fuentes de Área (incluyendo fuentes móviles que no circulan por carreteras). Este manual contiene los lineamientos para el desarrollo de inventarios de emisiones de fuentes de área. Además de presentar información general sobre las fuentes de área, se proporciona una tabla de referencias cruzadas entre cada categoría de fuente de área (e. g., aplicación de asfalto) con una o más de las TEEs básicas incluidas en el Volumen III. Posteriormente, se discute la información específica para cada categoría de fuente definida en la tabla. *Temas Clave:* categorización y definición de fuentes de área; tabla de referencias cruzadas; factores de control; diferencias geográficas y variabilidad en México; AC/CC; referencias de datos; formas para recopilación de datos (cuestionarios).

Volumen VI - Vehículos Automotores. Debido a que los vehículos automotores son intrínsecamente diferentes a las fuentes puntuales y a las de área, tanto los métodos de estimación disponibles como los datos requeridos son también diferentes. Los modelos han sido las herramientas preferidas para estimar las emisiones de estas complejas fuentes. Muchos de estos modelos utilizan datos de pruebas extensivas aplicables a un país o a una región determinados. Este manual se enfoca principalmente en la fase de desarrollo de datos para la estimación de emisiones de vehículos automotores. *Temas Clave:* métodos de estimación disponibles; datos e información primarios, secundarios y terciarios; clasificación de fuentes; fuentes de factores de emisión; variabilidad geográfica dentro de México, AC/CC.

Volumen VII - Fuentes Naturales. Este manual proporciona los lineamientos para el desarrollo de inventarios de emisiones de fuentes naturales (e. g., compuestos orgánicos volátiles biogénicos [COVs] y óxidos de nitrógeno [NO_x]) en suelos. Además, incluye los aspectos teóricos de los cálculos de emisiones y la discusión de modelos específicos. *Temas Clave:* clasificación y definición de fuentes; mecanismos de emisión; algoritmos básicos de

emisión; determinación de biomasa; desarrollo de datos de uso y cobertura del suelo; ajustes temporales y meteorológicos; enfoques para el cálculo de emisiones.

Volumen VIII - Desarrollo de Inventarios para Modelado. Este manual proporciona los lineamientos para el desarrollo de datos de inventarios que serán utilizados en modelos de calidad del aire, y trata aspectos tales como la localización temporal y espacial, la especiación y la proyección de estimaciones de emisiones. *Temas Clave:* definición de términos de modelado; ajuste estacional; localización temporal y espacial; especiación química y proyecciones (factores de crecimiento y control).

Volumen IX - Evaluación del Programa de Inventarios de Emisiones. Este manual consta de tres partes: AC y CC, análisis de incertidumbre y verificación de emisiones. La parte de AC y CC define el programa global de aseguramiento y control de calidad, y ha sido escrito para complementar los procedimientos de AC y CC para fuentes específicas que se presentan en otros manuales. El análisis de incertidumbre no sólo incluye métodos para evaluar la incertidumbre en las estimaciones de emisiones, sino también para evaluar la incertidumbre en los valores de modelado tales como los perfiles de especiación y los factores de proyección de emisiones. La sección de verificación de emisiones describe varios análisis para evaluar la exactitud de las estimaciones. Los ejemplos incluyen modelos de receptores y análisis de trayectoria, combinados con técnicas específicas para el análisis de datos. *Temas Clave:* descripción de conceptos y definición de términos; protocolo de revisión de inventarios; evaluación de integridad, exactitud y consistencia; TEEs de incertidumbre recomendadas, y metodología aplicable para la verificación de emisiones.

Volumen X - Manejo de Datos. Este manual trata de las necesidades asociadas con los aspectos del manejo de datos del programa nacional de inventarios de emisiones de México. *Temas Clave:* sistemas y herramientas generales para el manejo de datos; sistemas y herramientas de software específicos; sistemas de codificación; confidencialidad; presentación

electrónica; frecuencia de actualizaciones, mantenimiento de registros; bases de datos específicas de México y reportes.

Volumen XI - Referencias. Este manual es un compendio de las herramientas que pueden utilizarse en el desarrollo de un programa de inventarios de emisiones. Se incluyen las herramientas citadas para hacer inventarios en los otros manuales (e. g., documentos impresos y electrónicos, así como modelos de computadora).

CONTENIDO

Sección	Pág.
PREFACIO	i
ACRÓNIMOS	xi
1.0 INTRODUCCIÓN	1-1
2.0 PASOS TÉCNICOS PARA DESARROLLAR UN INVENTARIO DE EMISIONES	2-1
3.0 PROPÓSITO DE UN INVENTARIO DE EMISIONES	3-1
4.0 CONTAMINANTES DEL INVENTARIO	4-1
4.1 Gases Orgánicos Totales y Gases Orgánicos Reactivos	4-2
4.2 Monóxido de Carbono	4-5
4.3 Óxidos de Nitrógeno	4-5
4.4 Óxidos de Azufre	4-6
4.5 Partículas	4-7
4.6 Ozono	4-11
4.7 Especies que Afectan la Visibilidad	4-12
4.8 Compuestos Tóxicos y Contaminantes Peligrosos del Aire	4-13
4.9 Gases con Efecto Invernadero	4-14
5.0 CATEGORÍAS DE FUENTES	5-1
5.1 Fuentes Puntuales	5-1
5.1.1 Descripción de las Fuentes Puntuales y las Fuentes de Área	5-2
5.1.2 Nivel de Detalle	5-5
5.2 Fuentes de Área	5-7
5.3 Ajuste de Fuentes Puntuales y Fuentes de Área	5-10
5.4 Fuentes Vehiculares	5-12
5.5 Fuentes Naturales	5-15
5.6 Lista Típica de Verificación de Categorías de Fuente	5-16
6.0 OTRAS CARACTERÍSTICAS DE LOS INVENTARIOS DE EMISIONES	6-1

6.1	Año Base	6-1
6.2	Características Temporales	6-2
6.3	Características Espaciales	6-4
6.4	Resolución de Especies	6-6
6.5	Aseguramiento de Calidad	6-9
6.6	Manejo de Datos	6-10
6.7	Proyecciones	6-10
6.8	Estimación de la Incertidumbre	6-11
7.0	ITERACIÓN DEL PROCESO DE INVENTARIO	7-1
8.0	REFERENCIAS	8-1

APÉNDICE A: HIDROCARBUROS NO REACTIVOS

APÉNDICE B: CONTAMINANTES PELIGROSOS DEL AIRE

FIGURAS Y TABLAS

Figuras		Página
1	Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México	iii
2-1	Pasos Técnicos para el Desarrollo del Inventario de Emisiones	2-2
3-1	Identificación del Propósito del Inventario	3-3
4-1	Descripción de las Definiciones de Hidrocarburos	4-4
4-2	Partículas Primarias y Secundarias	4-9
4-3	PST, PM ₁₀ y PM _{2.5}	4-10
5-1	Diferentes Niveles de un Inventario de Fuentes Puntuales	5-6
5-2	Ajuste Hipotético de las Fuentes Puntuales y las de Área para los Solventes de Artes Gráficas	5-11
5-3	Procesos de Emisión de Vehículos Automotores	5-13
6-1	Distribución Temporal Hipotética de la Actividad de Vehículos Automotores en los Estados Unidos	6-3
6-2	Dominio Hipotético de un Inventario y Distribución Espacial de Varios Tipos de Fuentes	6-5
6-3	Especiación Hipotética de HAPs	6-8
7-1	Iteraciones de los Inventarios de Emisiones	7-2
Tablas		Página
5-1	Mecanismos de Emisión para Varias Categorías de Fuentes de Área	5-9
5-2	Ejemplo de Lista de Verificación de las Categorías de Fuentes de un Inventario y sus Contaminantes Principales	5-18

ACRÓNIMOS

AC	Aseguramiento de Calidad
ARB	Air Resources Board (<i>Junta de Recursos del Aire</i>)
Btu	British thermal unit (<i>unidad térmica británica</i>)
C	Celsius
CAS	Chemical Abstract Service (<i>Servicio de Resúmenes Químicos</i>)
CATEF	California Air Toxics Emission Factor Database (<i>Base de Datos de California de Factores de Emisión de Compuestos Tóxicos del Aire</i>)
CC	Control de Calidad
Cd	cadmio
CFC	clorofluorocarburo
CFR	Code of Federal Regulations (<i>Código de Regulaciones Federales</i>)
CO	monóxido de carbono
CO ₂	dióxido de carbono
COT	compuestos orgánicos totales
COV's	compuestos orgánicos volátiles
Cu	cobre
CH ₄	metano
C	carbono
EtO	óxido de etileno
EU	Estados Unidos
F	Fahrenheit
FIRE	Factor Information Retrieval System (<i>Sistema de Recuperación de Información sobre Factores</i>)
g	gramo
Gas LP	gas licuado de petróleo
GOR	gases orgánicos reactivos
GOT	gases orgánicos totales
H ₂ SO ₄	ácido sulfúrico

HAP	hazardous air pollutant (<i>contaminante peligroso del aire</i>)
HC	hidrocarburos
HCFC	hidroclorofluorocarburo
HCT	hidrocarburos totales
HDDV	heavy duty diesel vehicle (<i>vehículo diesel de trabajo pesado</i>)
HDGV	heavy duty gas vehicle (<i>vehículo de gas de trabajo pesado</i>)
HFC	hidrofluorocarburo
Hg	mercurio
hr	hora
kg	kilogramo
km	kilómetro
LDDT	light duty diesel truck (<i>camión diesel de trabajo ligero</i>)
LDDV	light duty diesel vehicle (<i>vehículo diesel de trabajo ligero</i>)
LDGT	light duty gas truck (<i>camión de gas de trabajo ligero</i>)
LDGV	light duty gas vehicle (<i>vehículo de gas de trabajo ligero</i>)
MC	motocicleta
Mg	megagramo (i.e., 10^6 g = 1 tonelada métrica)
N ₂	nitrógeno
N ₂ O	óxido nitroso
NH ₃	amoníaco
NH ₄ NO ₃	nitrato de amonio
(NH ₄) ₂ SO ₄	sulfato de amonio
NMHC	hidrocarburos no metano
NMOC	compuestos orgánicos no metano
NMOG	gases orgánicos no metano
NO	óxido nítrico
NO ₂	dióxido de nitrógeno
NO _x	óxidos de nitrógeno
O ₃	ozono

C _{Org}	carbono orgánico
SAO	sustancias agotadoras del ozono
OH ⁻	radicales hidroxilo
Pb	plomo
PFC	perfluorocarburo
part.	partículas
PM ₁₀	partículas de diámetro aerodinámico igual o inferior a 10 micrómetros
PM _{2.5}	partículas de diámetro aerodinámico igual o inferior a 2.5 micrómetros
POTW	publicly owned treatment works (<i>Obras de Tratamiento de Propiedad Pública</i>)
ppm	partes por millón
PS	partículas suspendidas
PST	partículas suspendidas totales
SO ₂	dióxido de azufre
SO ₃	trióxido de azufre
SO ₄ ²⁻	sulfato
SO _x	óxidos de azufre
U.S. EPA	United States Environmental Protection Agency (<i>Agencia de Protección Ambiental de los EU</i>)
UTM	Mercator universal transverso
VMT	vehicle miles traveled (<i>vehículos millas recorridas</i>)
µm	micrómetro

1.0 INTRODUCCIÓN

Este manual presenta los conceptos fundamentales que sostienen el desarrollo de los inventarios de emisiones. En general, estos conceptos se aplican a todos los inventarios, desde las estimaciones de emisiones a nivel planta, hasta los inventarios para modelado regional a gran escala. Estos conceptos fundamentales representan la información básica antecedente que debe establecerse antes de iniciar la verdadera recopilación de datos y las estimaciones de emisiones. Algunos conceptos se usarán en todos los tipos de inventarios, mientras que otros sólo se usarán en ciertos tipos de manera limitada. Los detalles específicos variarán tanto para los inventarios individuales como para el nivel de inventario total. Sin embargo, estos conceptos fundamentales deben considerarse en cualquier inventario para asegurar que éste se lleve a cabo exitosamente.

El resto de este manual está organizado de la siguiente manera:

- La Sección 2.0 presenta los pasos técnicos para hacer un inventario de emisiones y los describe brevemente;
- La Sección 3.0 se refiere a la importancia de identificar los propósitos de un inventario de emisiones;
- La Sección 4.0 da una descripción detallada de varios contaminantes de un inventario;
- La Sección 5.0 presenta las diversas categorías de fuentes en un inventario;
- La Sección 6.0 presenta otras características necesarias de un inventario;
- La Sección 7.0 presenta el concepto de cómo mejorar un inventario de emisiones por iteración y
- La Sección 8.0 contiene referencias.

2.0 PASOS TÉCNICOS PARA DESARROLLAR UN INVENTARIO DE EMISIONES

La Figura 2-1 presenta los pasos técnicos que se siguen durante el desarrollo de un inventario de emisiones. En los siguientes párrafos se describen brevemente cada uno de estos pasos y se identifican otros manuales de esta serie que se pueden consultar para obtener mayor información. Se pueden hallar datos adicionales en los documentos de la U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA) (U.S. EPA, 1991a; EIIP, 1997).

Identificar el propósito de un inventario de emisiones. Como primer paso técnico en el desarrollo de un inventario resulta fundamental el identificar su propósito o uso final. El propósito global ayudará a determinar muchos de los pasos siguientes. Si el propósito no se identifica con claridad es posible que el inventario terminado no cumpla con las necesidades requeridas. Por ejemplo, los datos necesarios para desarrollar un inventario para modelado son significativamente diferentes de aquellos para otros tipos de inventarios. También deben considerarse los usos futuros del inventario así como su empleo a una mayor escala geográfica. En la Sección 3.0 de este manual se puede encontrar una discusión más detallada de este paso.

Definir las características necesarias del inventario de emisiones. Cada inventario de emisiones tiene varias características que describen su naturaleza fundamental (e.g., tipos de contaminantes, tipos de fuentes, año base, etc.). En la Figura 2-1 se presentan diez características separadas de un inventario. Algunos inventarios pueden requerir el desarrollo de actividades para sólo algunas de estas características, mientras que otros pueden necesitarlas para todas. La mayor parte de estas características serán determinadas por el propósito del inventario (e. g., un inventario de ozono deberá incluir a los GOT, el CO y los NO_x como contaminantes inventariados). Por lo tanto será necesario tomar decisiones para definir cada una de las características del inventario. En las secciones 4.0, 5.0 y 6.0 se da información adicional sobre las características de los inventarios de emisiones.

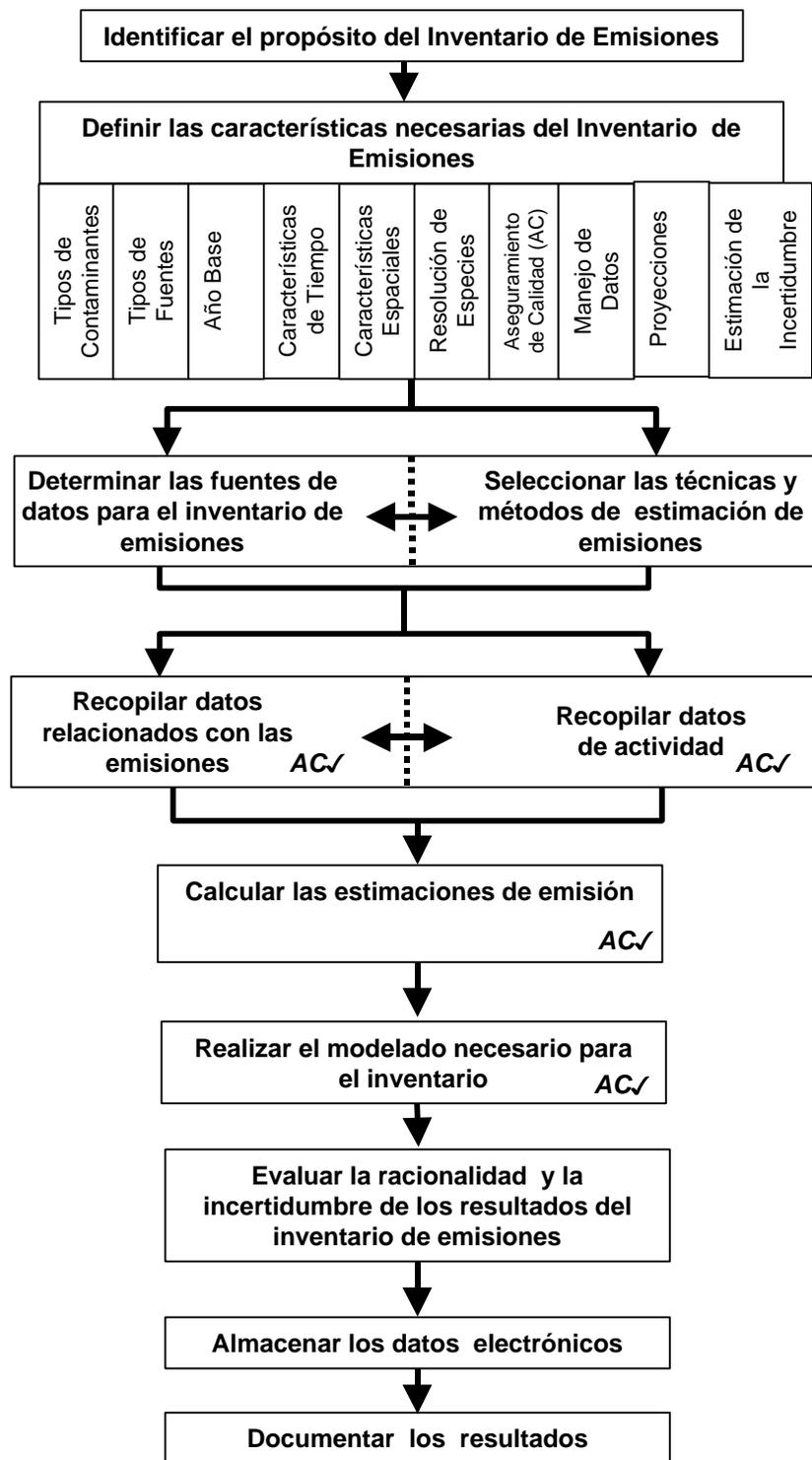


Figure 2-1. Pasos Técnicos para el Desarrollo del Inventario de Emisiones

Determinar las fuentes de datos para el inventario y seleccionar las técnicas y métodos de estimación de las emisiones. Una vez que se han establecido las características que se requieren es necesario determinar las fuentes de datos relacionados con las emisiones, así como seleccionar las técnicas y métodos más adecuados para estimar éstas. Por lo general estos dos pasos están interrelacionados. En algunos casos, la disponibilidad de los datos determinará qué métodos de estimación son factibles. En otros casos, una cierta técnica que se desee usar determinará el tipo de datos que deben recopilarse. Las fuentes de datos se discuten en detalle en los volúmenes IV-VII de esta serie de manuales (*Desarrollo de Inventarios de Fuentes Puntuales, de Fuentes de Área, de Vehículos Automotores y de Fuentes Naturales*). Las técnicas específicas de estimación de emisiones se describen en el Volumen III de la serie (*Técnicas Básicas de Estimación de Emisiones*).

Recopilar datos relacionados con las emisiones y datos de actividad. Después de identificar las fuentes de datos y las metodologías de estimación se deben recopilar los datos relevantes. Los datos relacionados con las emisiones incluyen factores de emisión, datos de muestreos en la fuente y parámetros de los modelos de factores de emisión. Es posible que algunos de los datos relacionados con las emisiones ya existan mientras que otros necesiten desarrollarse para usarlos en un inventario específico. Por lo general los datos de actividad incluyen información sobre las horas de operación, el consumo de combustibles y otras medidas de la actividad de los procesos para fuentes identificadas. Debido a que tanto los datos relacionados con las emisiones como los datos de actividad son necesarios para estimar las emisiones, con frecuencia estos dos pasos se ejecutan de manera simultánea. Ambos tipos de datos se discuten con detalle en los volúmenes IV – VII de la serie de manuales (*Desarrollo de Inventarios de Fuentes Puntuales, Fuentes de Área, Vehículos Automotores y Fuentes Naturales*).

Calcular las estimaciones de emisiones. Una vez que se han recopilado todos los datos necesarios se hacen los cálculos de emisión específicos. Estos cálculos se realizan conforme a la técnica o metodología de estimación de emisiones seleccionada. Por lo general estos cálculos de emisión se hacen de manera electrónica, en particular para los inventarios de

emisiones más complejos. Algunos detalles relacionados con el cálculo de emisiones se encuentran en los volúmenes IV-VII de esta serie de manuales (*Desarrollo de Inventarios de Fuentes Puntuales, de Fuentes de Área, de Vehículos Automotores y de Fuentes Naturales*). Otros temas también relacionados con el cálculo de emisiones, como la eficacia y la penetración de la regla, también se discuten en el Volumen III de esta serie de manuales (*Técnicas Básicas de Estimación de Emisiones*). La eficacia de la regla cuantifica la habilidad de un programa regulatorio para lograr las reducciones requeridas en las emisiones mientras que la penetración de la regla mide el grado en el que una regulación cubre las emisiones de todas las fuentes dentro de una cierta categoría.

Aplicar la modelación necesaria. Después de que se han calculado las emisiones de ser necesario se aplica la modelación del inventario. Esta modelación puede incluir la distribución espacial y temporal, la resolución de las especies y las proyecciones de las emisiones. En el Volumen VIII de esta serie (*Desarrollo de Modelos de Inventarios*) se presenta una discusión más completa sobre modelación.

Aseguramiento de la Calidad. El aseguramiento de la calidad (AC) no se incluye en un cuadro específico en la Figura 2-1 debido a que es un elemento integral de todo el proceso de desarrollo de inventarios de emisiones. El aseguramiento de la calidad se debe hacer a lo largo de todo este proceso. En particular, se debe empezar con la recopilación de los datos relacionados con las emisiones y con los datos de actividad, continuar durante los cálculos de emisiones y durante el proceso completo de modelado. Este concepto se indica con múltiples “marcas de AC” en la Figura 2-1. El aseguramiento de la calidad se discute en el Volumen IX de esta serie de manuales (*Evaluación del Programa de Inventarios de Emisiones*).

Evaluar la racionalidad y la incertidumbre de los resultados de los inventario de emisiones. Después de que se ha terminado el inventario es necesario examinarlo y evaluar la racionalidad y la incertidumbre de los resultados. En este punto, las comparaciones con las expectativas, con la experiencia previa y con los inventarios similares que se hayan hecho con anterioridad para otras regiones geográficas, pueden ser valiosas. Asimismo, al examinar la

incertidumbre del inventario se revelarán sus áreas de fortaleza así como aquellas que pudieran ser el punto focal de futuras mejoras. Estos aspectos se discuten en el Volumen IX de esta serie de manuales (*Evaluación del Programa de Inventarios de Emisiones*).

Almacenamiento electrónico de datos. Uno de los pasos finales del desarrollo de un inventario de emisiones es el almacenamiento electrónico del inventario y de los datos relacionados. Se debe mantener la integridad del inventario de emisiones como la base para el desarrollo de inventarios en el futuro. El almacenamiento electrónico de datos se trata en el Volumen X de esta serie de manuales (*Manejo de Datos*).

Documentar resultados. El último paso del desarrollo de un inventario de emisiones es la documentación de resultados. Además de los resultados reales del inventario la documentación también debe incluir las metodologías, datos y suposiciones que se usaron en el proceso de desarrollo. En general, se debe proporcionar información suficiente para permitir que otras partes interesadas reproduzcan y analicen los resultados. La documentación del inventario sirve como una referencia importante para los futuros inventarios.

Como se puede ver en las breves descripciones anteriores los Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México brindan un amplio soporte para los pasos técnicos asociados con el desarrollo de inventarios de emisiones.

3.0 PROPÓSITO DE UN INVENTARIO DE EMISIONES

Como se muestra en la Figura 2-1 el primer paso técnico en el desarrollo de un inventario de emisiones es la identificación de su propósito. La definición del propósito del inventario es crucial para el éxito de su desarrollo y es importante que no se pase por alto en la prisa por iniciar las actividades. A la larga, la naturaleza general de un inventario de emisiones así como la mayor parte de sus características son determinadas por su propósito. En muchos casos se calculará un inventario para satisfacer dos o tres propósitos principales.

El propósito que se debe lograr con un inventario de emisiones definirá tanto sus características como los pasos subsecuentes para la recopilación de datos y un modelado potencial. Por esta razón es crítico llegar a un acuerdo sobre todos los usos potenciales del inventario. También es importante identificar el propósito del inventario antes de iniciar cualquier actividad importante. De otra manera, es probable que parte del trabajo realizado carezca de valor para el inventario.

Mas aun, es fundamental que el propósito de un inventario de emisiones se identifique **explícitamente**. Este propósito es el “principio rector” del inventario y define todos los pasos apropiados que se deben seguir durante el proceso. Una evaluación completa de los propósitos del inventario asegurará que éste se lleve a cabo siguiendo una ruta consistente con los usos que se le pretenden dar. En general, los propósitos de un inventario se describen en un documento de planeación que se prepara al principio de los trabajos. A veces este documento se conoce como plan de trabajo o como protocolo de inventario. Además del propósito del inventario el documento de planeación incluye una descripción de las características más relevantes del inventario así como los pasos técnicos propuestos. Este documento constituye una guía para los responsables del cálculo del inventario y les ayuda a asegurar que su desarrollo sea exitoso.

Existen muchos propósitos diferentes para un inventario los que varían dependiendo de las necesidades y las circunstancias específicas. Por ejemplo, el propósito de un inventario para una sola planta manufacturera es muy diferente al propósito de un inventario regional a gran escala con fines de modelado. El inventario para la planta manufacturera puede usarse para determinar el grado de cumplimiento con regulaciones específicas, mientras que el inventario regional para modelado puede hacerse para soportar una evaluación de la calidad del aire debida al impacto de varias fuentes. Algunas de las razones mas comunes para desarrollar inventarios incluyen:

- Estimar los impactos en la calidad del aire a través de estudios de modelado;
- Determinar la aplicabilidad de las licencias y otros requerimientos regulatorios;
- Determinar el grado de cumplimiento de una fuente con las condiciones de la licencia;
- Estimar los cambios en las emisiones de la fuente para las aplicaciones de la licencia;
- Determinar las especificaciones técnicas del equipo de control de emisiones;
- Rastrear los niveles de emisión en el tiempo;
- Identificar las contribuciones de la emisión por categoría de fuente o por fuente específica;
- Identificar las oportunidades potenciales de canje de emisiones;
- Cumplir con los requerimientos de reporte de emisiones y
- Cumplir con las regulaciones que requieren el desarrollo de inventarios de emisiones muy completos.

En el largo plazo, todas las razones anteriores para desarrollar inventarios de emisiones contribuirán con el proceso de gestión de la calidad del aire.

Como se muestra en la Figura 3-1, la identificación del propósito del inventario requiere de la información y la opinión de muchas personas. En primer lugar, la información de los usuarios finales del inventario es crucial. Con frecuencia, el uso final que se desea así como la facilidad de uso son factores significativos que deben considerarse al desarrollar un inventario de emisiones. Más aun, debido a que los inventarios desempeñan un papel fundamental en la planeación de la calidad del aire se debe solicitar información inicial por parte de las agencias regulatorias y gubernamentales responsables de la calidad del aire y de las políticas relacionadas con ésta. En muchos casos, las necesidades y objetivos de estas agencias serán la fuerza motora clave que se encuentra detrás de un inventario específico. Las regulaciones más importantes sobre la calidad del aire en México se presentan en el Volumen I de esta serie de manuales, *Planeación del Programa de Inventarios de Emisiones*. Finalmente, la participación de quienes desarrollarán el inventario de emisiones, incluyendo al gobierno, la industria y los contratistas será importante. Estos individuos deben comprender con claridad los propósitos del inventario para que sus resultados cumplan con todas las necesidades. Al final, la síntesis de las ideas de todos los participantes definirá los propósitos del inventario.



Figura 3-1. Identificación del Propósito del Inventario

Además, el propósito de un inventario de emisiones debe referirse a las necesidades presentes y futuras de la calidad del aire. Se debe hacer un intento para identificar las necesidades futuras de calidad del aire al determinar el alcance del inventario. Algunas veces puede ser difícil proyectar estas necesidades futuras. En otros casos, sin embargo, estas necesidades serán más claras y con una pequeña ampliación de los recursos se puede aumentar de manera significativa la utilidad final del inventario.

La determinación de los propósitos de un inventario de emisiones no tienen que requerir un gran esfuerzo. Una cantidad de tiempo y de esfuerzo razonables invertidos al principio del proceso para identificar los usos y establecer el propósito del inventario, ayudará a asegurar el desarrollo de datos y de información útiles. Una vez que los propósitos han sido identificados de manera explícita, es mucho más probable que el inventario resultante satisfaga cada uno de los usos esperados del conjunto de datos.

4.0 CONTAMINANTES DE un INVENTARIO

En general, un contaminante del aire puede definirse como cualquier sustancia que al ser liberada en la atmósfera altera la composición natural del aire y puede ocasionar efectos adversos en los seres humanos, los animales, la vegetación o los materiales. Los propósitos que se establezcan para un inventario de emisiones van a determinar los contaminantes que deben ser incluidos. Por ejemplo, un inventario de contaminantes criterio incluiría gases orgánicos totales (GOT), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x), partículas de diámetro aerodinámico inferior a 10 micrómetros (PM₁₀) y plomo (Pb). En cambio, un inventario de ozono se enfocaría en sus precursores es decir, GOT, CO y NO_x. Finalmente, un inventario de visibilidad incluiría las emisiones de SO_x, de NO_x, de partículas finas (de diámetro aerodinámico inferior a 2.5 micrómetros - PM_{2.5}), de carbono elemental (CE), de carbono orgánico (C_{org}) y de amoniaco (NH₃).

Una vez que se ha determinado cuales son los contaminantes que deben ser incluidos en el inventario es importante definir claramente a cada uno de ellos. Esto es importante para que todos los datos recopilados sean consistentes y den resultados exactos sobre la emisión del contaminante deseado. Aunque existe una “terminología convencional para los contaminantes” se recomienda que todos sean claramente definidos por escrito al inicio del inventario con el fin de reducir confusiones respecto a los contaminantes por inventariar. Por otra parte, muchos contaminantes se definen por sus nombres químicos los que con frecuencia pueden tener sinónimos y nombres comerciales. A menudo los fabricantes dan nombres comerciales a las mezclas buscando así ocultar información protegida por derechos de marca, por lo que los mismos componentes pueden tener varios nombres comerciales. Por ejemplo, Freón 11 es el nombre comercial del triclorofluorometano (CFC-11). Para garantizar la identificación apropiada de un compuesto químico se debe consultar el número que le corresponde en la clasificación del Chemical Abstract Service (CAS) junto con la lista de sinónimos. Finalmente, supongamos que sólo se dice que un inventario debe incluir emisiones de “partículas”. Entonces, diferentes personas podrían calcular estimaciones de emisiones de partículas totales, de PM₁₀ ó de PM_{2.5}. Para convertir estos diferentes tipos de emisiones de "partículas" a la base común deseada se

requeriría mucho tiempo y esfuerzo adicionales. Al definir de manera explícita los contaminantes desde el inicio del inventario se podría evitar este desperdicio.

Las secciones 4.1 a 4.9 proporcionan definiciones detalladas de los contaminantes o de las categorías de contaminantes que es común incluir en los inventarios.

4.1 Gases Orgánicos Totales / Gases Orgánicos Reactivos

Existen muchas fuentes que emiten gases orgánicos a la atmósfera. Sin embargo, en general los gases orgánicos son emitidos por fuentes de combustión o de evaporación. De manera colectiva, los compuestos comprendidos en las emisiones de hidrocarburos se conocen como gases orgánicos totales (GOT). Este concepto incluye a todos los compuestos carbonáceos excepto carbonatos, carburos metálicos, CO, dióxido de carbono (CO₂) y ácido carbónico. A veces se conoce a los GOT como compuestos orgánicos totales (COT) aunque sólo en el contexto de calidad del aire.

Algunos de los compuestos en esta categoría de contaminantes incluyen algunos aldehídos como el formaldehído y el acetaldehído que son irritantes del tracto respiratorio y compuestos químicos carcinogénicos. El benceno, que también es carcinogénico, puede estar presente. Las exposiciones de corta duración a estos compuestos puede ocasionar irritación del tracto respiratorio. También existe el potencial para un incremento en los casos de cáncer cuando hay exposiciones largas a algunas especies de GOT.

Desde una perspectiva de calidad del aire es importante señalar que algunos de los gases orgánicos totales que se emiten a la atmósfera o no tienen reactividad fotoquímica o la tienen muy baja. En consecuencia, no participan en la formación de ozono. La EPA ha identificado a los siguientes compuestos cuya reactividad fotoquímica es nula o despreciable:

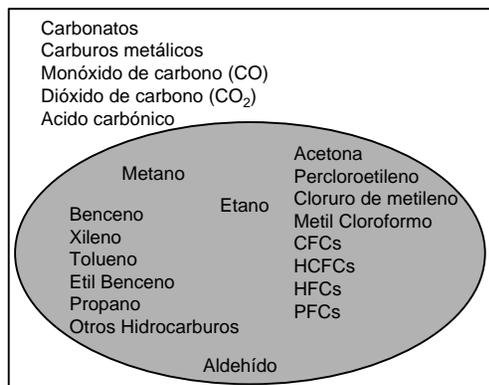
- Metano;
- Etano;

- Acetona;
- Percloroetileno (tetracloroetileno);
- Cloruro de metileno (diclorometano);
- Metil cloroformo (1,1,1- tricloroetano);
- Varios clorofluorocarburos (CFCs);
- Varios hidroclorofluorocarburos (HCFCs);
- Varios hidrofluorocarburos (HFCs) y
- Varios perfluorocarburos (PFCs).

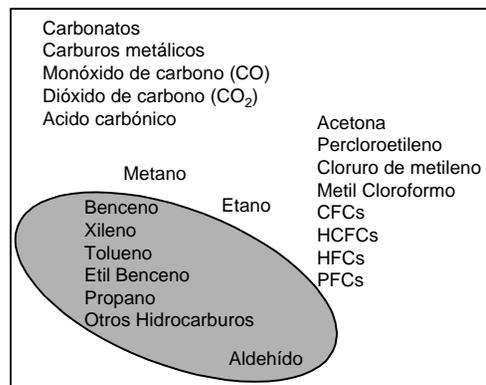
Se puede encontrar información adicional sobre estos compuestos así como un listado de otros compuestos menos comunes que tampoco son reactivos en *el U.S. Code of Federal Regulations* (CFR, 1997). Este listado de compuestos no reactivos se actualiza periódicamente a medida que la EPA designa nuevos compuestos. La lista actual se presenta en el Apéndice A.

Los compuestos químicos considerados reactivos se conocen como gases orgánicos reactivos (GOR). Entonces, por definición los GOR son un subconjunto de los GOT. Los GOR son gases fotoquímicamente reactivos compuestos de hidrocarburos que pueden contribuir a la formación de contaminación fotoquímica.

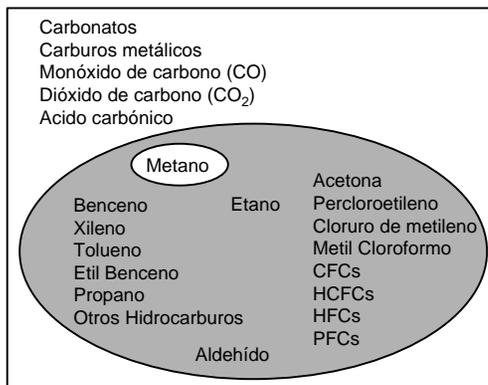
A veces los GOR se denominan compuestos orgánicos volátiles (COVs). Los factores de emisión publicados en el AP-42 (AP-42, 1995) de la EPA se presentan casi exclusivamente para COVs. Otras definiciones de hidrocarburos que en ocasiones aparecen en la literatura sobre calidad del aire y sobre factores de emisión incluyen la de gases orgánicos no metano (NMOG, por sus siglas en inglés), hidrocarburos no metano (NMHC, por sus siglas en inglés), hidrocarburos totales (THC, por sus siglas en inglés) e hidrocarburos (HC). La Figura 4-1 ilustra gráficamente la relación entre estas varias definiciones de hidrocarburos. Las áreas sombreadas indican cuales son los compuestos incluidos en cada definición. En general, las definiciones para NMOG, NMHC, THC e HC se usan sólo para procesos de combustión.



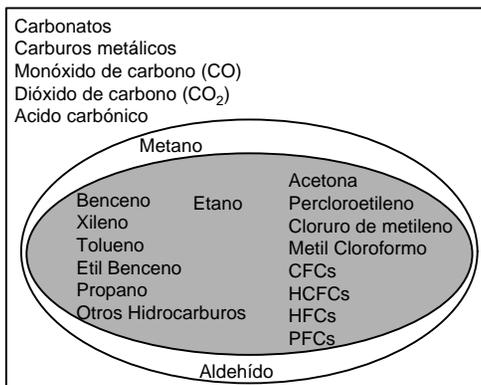
GOT ó COT



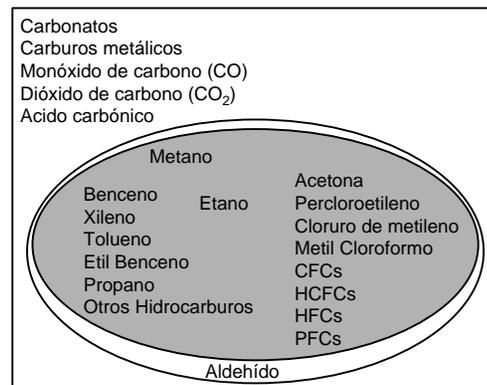
GOR, COR VOC



NMOG ó NMOC



NMHC



THC ó HC

Figura 4-1. Descripción de las Definiciones de Hidrocarburos

Se recomienda que se hagan estimaciones de emisiones tanto para GOT como para GOR de manera que el usuario pueda tener flexibilidad para escoger el grupo de contaminantes que se necesiten para un inventario con un propósito particular. Si se usan factores de emisión para otros hidrocarburos menos comunes se deben ajustar dichos factores a los GOT y los GOR para tener en cuenta la presencia o ausencia de metano, etano y aldehídos como se muestra en la Figura 4-1. En un principio podría parecer innecesario inventariar los GOT pero el cálculo de sus estimaciones de emisión puede facilitar la presentación de las emisiones como gases con efecto invernadero y como compuestos tóxicos del aire. Además, las emisiones de GOT se adaptan mejor para usarse en los modelos tridimensionales de cuadrícula que se emplean para simular la formación de ozono y de aerosoles. Esto se debe a que estos modelos contienen mecanismos químicos que usan estimaciones de emisión basadas en perfiles de GOT especiados.

4.2 Monóxido de Carbono

El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro e inodoro que resulta de la combustión incompleta de combustibles fósiles. Una cantidad significativa del CO emitido en áreas urbanas es producida por los vehículos automotores. Parece que cuando no fumadores se exponen a niveles de CO inferiores a 15 a 20 ppm no se producen efectos adversos sobre la salud. A niveles superiores a éstos la carboxihemoglobina en la sangre se eleva causando efectos adversos en el sistema nervioso y en el cardiovascular. Por otro lado y para empezar, los fumadores tienen un nivel más alto de carboxihemoglobina por lo que pueden experimentar efectos adversos aun a niveles ambientales inferiores de CO.

4.3 Oxidos de Nitrógeno

El término óxidos de nitrógeno (NO_x) es un concepto amplio que incluye al ácido nítrico (NO), dióxido de nitrógeno (NO₂) y otros óxidos de nitrógeno menos comunes. En general estos compuestos son formados durante los procesos de combustión, son precursores del ozono, y normalmente son eliminados de la atmósfera por deposición seca y húmeda.

No se considera que el NO cause efectos adversos sobre la salud en concentraciones ambientales; sin embargo, la exposición al NO₂ puede ocasionar irritación del tracto respiratorio y, si la exposición se prolonga, puede causar decrementos en la función pulmonar.

El NO_x más importante que se produce en la combustión es el NO. Sin embargo, al mismo tiempo es común que se emitan NO₂ y otros óxidos de nitrógeno los que pueden o no distinguirse en los datos disponibles de muestreos. En general, estos compuestos evolucionan constantemente siendo el NO₂ el último producto de oxidación emitido o formado corriente abajo del proceso de combustión. La convención general que se sigue consiste en reportar las distinciones de los contaminantes siempre que esto sea posible pero reportar los NO_x totales en base al peso molecular del NO₂.

Los NO_x se forman en la combustión externa de dos maneras principales: los NO_x térmicos y los NO_x provenientes del combustible. Los NO_x térmicos se forman cuando el nitrógeno y el oxígeno en el aire de combustión reaccionan a altas temperaturas en la flama. Los NO_x del combustible se forman por la reacción de cualquier nitrógeno contenido en el combustible con el aire de combustión. Los NO_x térmicos son la fuente principal de NO_x en la combustión de gas natural y de aceites ligeros y el factor más significativo que afecta su formación es la temperatura de la flama. Un nivel excesivo de aire y la temperatura del aire de combustión también son factores que influyen en la formación de los NO_x térmicos. La formación de los NO_x del combustible depende de su contenido de nitrógeno y puede constituir hasta el 50 por ciento de las emisiones de NO_x de la combustión de productos ricos en nitrógeno, sobre todo carbón y aceites pesados.

4.4 Óxidos de Azufre

Óxidos de azufre (SO_x) es un término general que se refiere al dióxido de azufre (SO₂) y otros óxidos de este elemento. El SO₂ es un gas incoloro de olor fuerte que se forma en la combustión de combustibles fósiles que contienen azufre. Los óxidos de azufre son

compuestos irritantes del sistema respiratorio que pueden ocasionar una respuesta similar al asma o bien agravar una condición asmática preexistente. Los síntomas de una exposición a altas concentraciones ambientales pueden incluir tos, goteo de la nariz y falta de aliento. Estas respuestas pueden ser más severas en fumadores.

Las plantas termoeléctricas que usan carbón o combustóleo con alto contenido de azufre pueden ser fuentes importantes de SO_2 . Algunas veces el SO_2 emitido se oxida a trióxido de azufre (SO_3) y después a ácido sulfúrico (H_2SO_4) o a sulfatos (SO_4^{2-}) como aerosoles. La convención general consiste en reportar las distinciones de los contaminantes siempre que esto sea posible pero reportar los SO_x totales con base en el peso molecular del SO_2 . La cantidad de emisiones de SO_x de fuentes de combustión dependen del contenido de azufre del combustible usado.

Los óxidos de azufre contribuyen al problema de la deposición ácida. Este es un término muy amplio que se refiere a las formas en las que los compuestos ácidos de la atmósfera se depositan en la superficie de la tierra. Puede incluir la deposición húmeda a través de la lluvia ácida, la niebla y la nieve, así como la deposición seca de partículas ácidas (aerosoles). La lluvia ácida se refiere a la precipitación que tiene un pH inferior a 5.6. La precipitación neutra tendría un pH de 7; sin embargo, se ha estimado que la actividad “natural” del agua de lluvia tiene un pH de 5.6 cuando está en equilibrio con la concentración atmosférica promedio de CO_2 (330 ppm) (Seinfeld, 1986). Por lo general, los principales componentes de la lluvia ácida incluyen a los ácidos nítrico y sulfúrico que pueden formarse por la combinación de los óxidos de nitrógeno y los de azufre con el vapor de agua en la atmósfera. Además, las partículas de sulfatos también tienden a ser pequeñas (de diámetro entre 0.2 y 0.9 μm). En consecuencia, pueden ser un componente significativo de las partículas finas y afectar negativamente la visibilidad.

4.5 Partículas

El término partículas se refiere a cualquier sustancia en fase sólida o líquida que se encuentre en el aire. Pueden ser hollín, polvos, aerosoles, humos o neblinas. Algunas

clasificaciones de las partículas incluyen a las partículas totales; partículas primarias y partículas secundarias; partículas suspendidas totales (PST), partículas suspendidas (PS), PM_{10} y $PM_{2.5}$ así como partículas filtrables y partículas condensables.

Las partículas primarias incluyen a los materiales sólidos o líquidos emitidos directamente del proceso (o de la chimenea) que se espera que se conviertan en partículas a la temperatura y presión ambiente. Las partículas secundarias son aerosoles que se forman en el aire a partir de gases por medio de reacciones químicas atmosféricas. La Figura 4-2 ilustra los conceptos de partículas primarias y partículas secundarias. Todas las referencias sobre factores de emisión de partículas (e. g., el AP-42) contienen factores de emisión de partículas primarias por lo que el término "partículas totales" se usa para describir las emisiones que representan sólo a las partículas primarias.

Las PST consisten de toda la materia emitida como sólidos, líquidos y vapores pero que están "suspendidas" en el aire como partículas sólidas o líquidas. Las PST incluyen a todas las partículas de diámetro aerodinámico inferior o igual a $100\ \mu m$. Las partículas con más de $100\ \mu m$ tienden a depositarse rápidamente y no deben considerarse como emisiones al aire. En general, las partículas de diámetro entre 30 y $100\ \mu m$ también se sedimentan con dificultad. Las partículas suspendidas se definen a menudo como todas las partículas de diámetro inferior a $30\ \mu m$ y con frecuencia se usa el término como equivalente de PST. El término PM_{10} se refiere a las emisiones de partículas de diámetro aerodinámico inferior o igual a $10\ \mu m$. De manera similar, $PM_{2.5}$ se refiere a las partículas de diámetro aerodinámico igual o inferior a $2.5\ \mu m$. La Figura 4-3 ilustra las PST, PM_{10} y $PM_{2.5}$. El pequeño tamaño de las PM_{10} ó las $PM_{2.5}$ les permite entrar fácilmente en los alvéolos pulmonares donde se pueden depositar causando efectos adversos sobre la salud. Las partículas pueden causar tos, jadeos y cambios, tanto en la función respiratoria, como en el pulmón mismo. Se cree que el aumento en los niveles de partículas es responsable del incremento en las tasas de mortalidad y de morbilidad en individuos con condiciones cardiovasculares y/o respiratorias preexistentes. Sin embargo, ha sido difícil establecer los niveles en los que se presentan efectos adversos debido a la presencia de otros

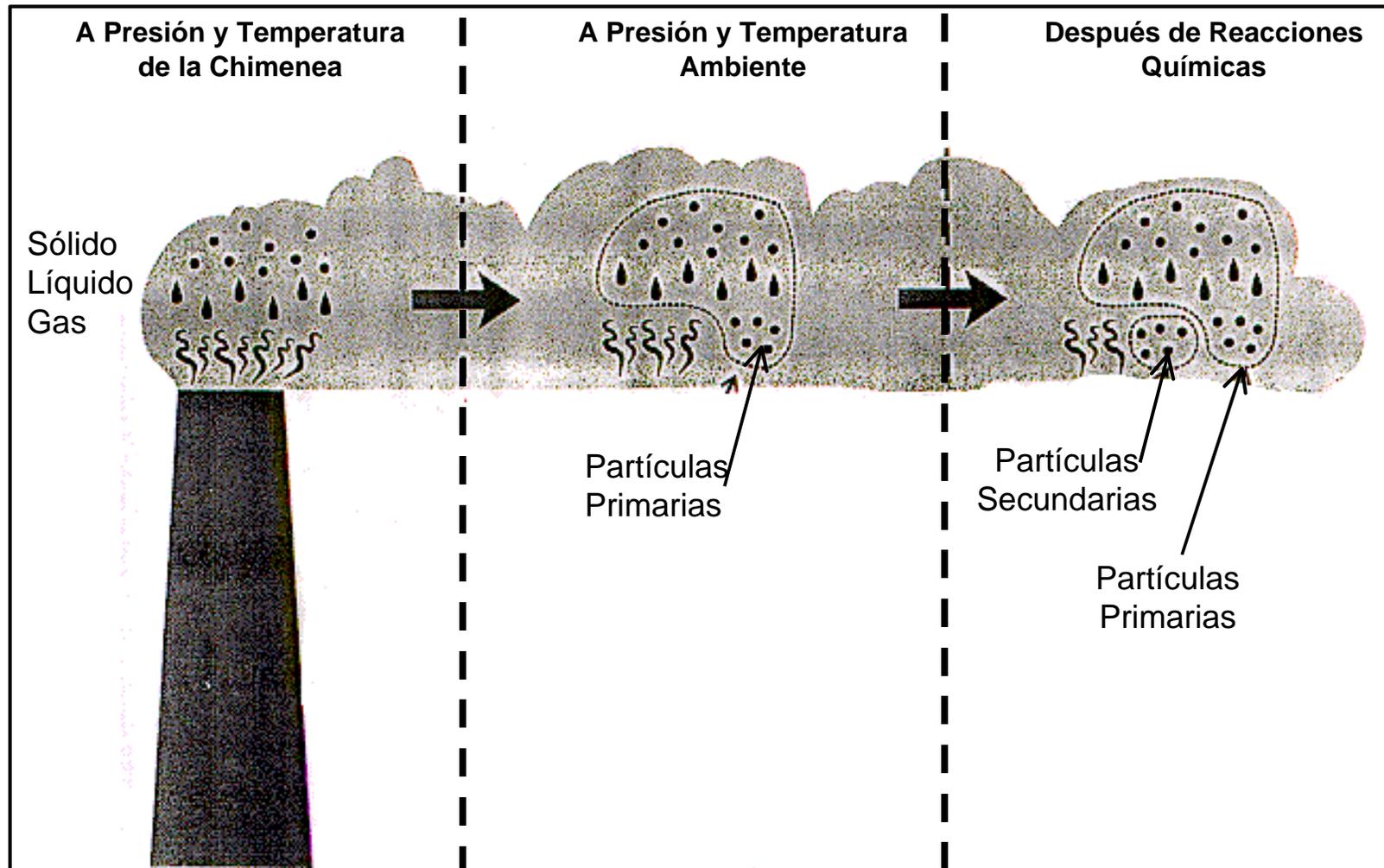


Figure 4-2. Partículas Primarias y Secundarias

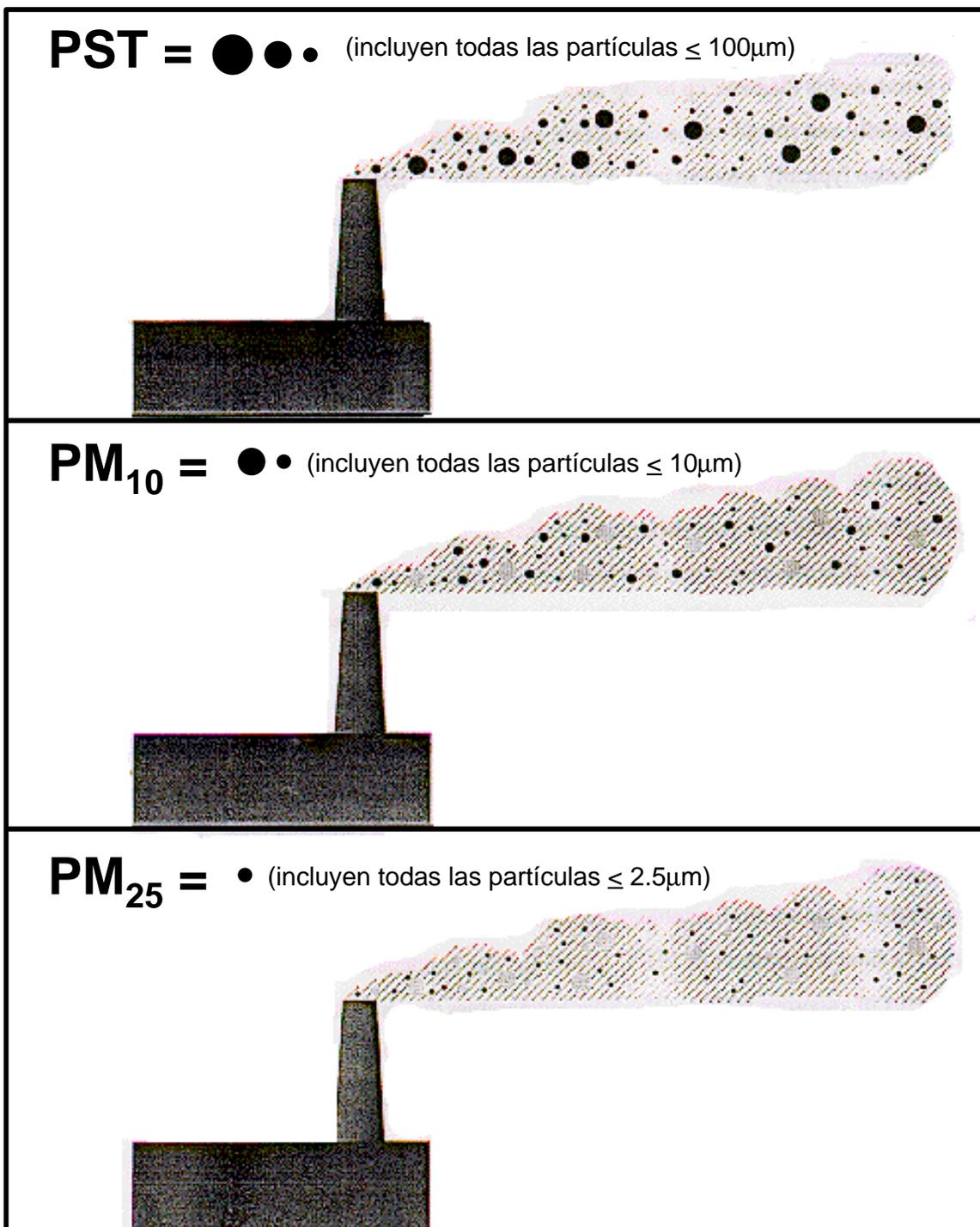


Figura 4-3. PST, PM₁₀ y PM_{2.5}

compuestos químicos que podrían ser responsables de algunos de los efectos observados.

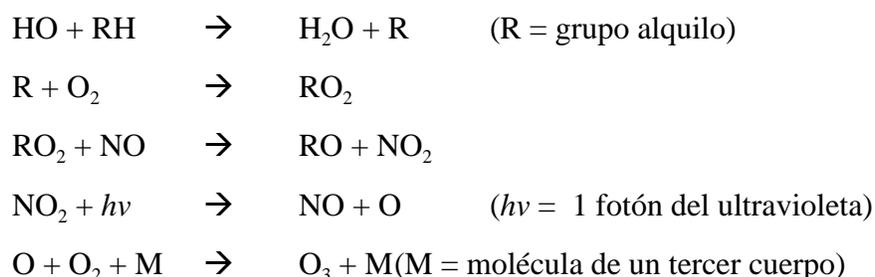
Además, las emisiones de $PM_{2.5}$ también son un problema para la visibilidad.

En el AP-42, los factores de emisiones de partículas totales se pueden dividir en factores de emisión de partículas filtrables y de partículas condensables. Las primeras incluyen material de tamaño menor al establecido y que se colecta en el filtro del tren de muestreo de partículas. A menos que se indique, es razonable suponer que los factores de emisión en el AP-42 para los procesos que operan a temperaturas superiores a la ambiente son para partículas filtrables, de acuerdo con la definición del Método 5 de la EPA o su equivalente (temperatura de filtro de $121^{\circ}C$ [$250^{\circ}F$]). Las porciones condensables de las partículas consisten de vapores a la temperatura del filtro que se colectan en los burbujeadores del tren de muestreo y se analizan por el Método 202 de la EPA o su equivalente. Los factores de emisión de partículas totales son la suma de los factores de emisión de partículas filtrables y de partículas condensables.

4.6 Ozono

El ozono (O_3) es un gas tóxico y reactivo, de olor fuerte y color azul pálido formado por tres átomos de oxígeno. Es el oxidante fotoquímico más abundante. El ozono y los otros oxidantes fotoquímicos no se emiten directamente a la atmósfera si no que se forman por las reacciones químicas entre los hidrocarburos y los NO_x en presencia de luz solar. Por lo tanto no se estima en los inventarios de emisiones. En cambio, se estiman sus precursores.

A continuación se presentan las ecuaciones químicas generales que describen la formación del ozono:



El ozono y otros oxidantes fotoquímicos son irritantes que pueden tener efectos adversos en los pulmones. La exposición a altos niveles ambientales puede ocasionar disminución en la función pulmonar. Entre los efectos adversos a la salud que pueden presentarse como resultado de la exposición al ozono están la respiración rápida y poco profunda, la bronquitis y el enfisema. Además, el ozono es muy eficiente para deteriorar el hule y otros materiales.

4.7 Especies que reducen la Visibilidad

La degradación de la visibilidad es ocasionada por partículas finas que absorben o que dispersan la luz en una dirección diferente a la de la luz incidente. Algunas de estas partículas (partículas primarias) se emiten directamente a la atmósfera; otras (partículas secundarias) se forman en la atmósfera a partir de precursores gaseosos.

En las mediciones de visibilidad se utiliza el coeficiente de extinción, que es la fracción de luz atenuada por dispersión o por absorción cuando un haz de luz atraviesa una unidad de atmósfera. El coeficiente de extinción indica la tasa a la que se pierde o se redirecciona la energía debido a las interacciones con los gases y las partículas suspendidas en la atmósfera. Las partículas con más altos coeficientes de extinción causarían mayor degradación de la visibilidad.

La magnitud de estos efectos de degradación de la visibilidad dependen de varios factores tales como el tamaño y composición de las partículas, y la longitud de onda de la luz incidente. Por lo tanto, no todas las especies tienen el mismo impacto sobre la visibilidad. Las mayores fuentes de deterioro de la visibilidad son el carbono orgánico (C_{org}), el carbono elemental (CE) u hollín, los sulfatos y los nitratos. El carbono orgánico y el carbono elemental son fuentes significativas de degradación de la visibilidad debido a que ambas dispersan y absorben la luz. Las dos formas de carbono se emiten como partículas primarias. Todas las demás especies que reducen la visibilidad sobre todo dispersan la luz y en general son partículas secundarias formadas a partir de precursores gaseosos. Los sulfatos y los nitratos resultan, sobre

todo, de varias reacciones químicas con las emisiones de SO_x y NO_x . Los precursores de ozono también pueden ser importantes debido a que los aerosoles secundarios son algunos de los productos finales del ciclo fotoquímico del llamado smog. Por último, el amoníaco (NH_3) es considerado con frecuencia como una especie que reduce la visibilidad debido a su interacción con los SO_x y los NO_x para formar sulfato de amonio, $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ y nitrato de amonio (NH_4NO_3).

Las partículas y sus precursores pueden permanecer en la atmósfera varios días y transportarse a grandes distancias desde sus fuentes de emisión, afectando la visibilidad en áreas remotas. Las emisiones de muchas fuentes pueden mezclarse durante el transporte para formar una neblina uniforme y extensa conocida como neblina regional. Los cambios en las condiciones meteorológicas, la luz solar y el tamaño y la proximidad de las fuentes son algunos de los factores que modifican el grado de deterioro de la visibilidad en el tiempo y de un lugar a otro.

4.8 Compuestos Tóxicos y Contaminantes Peligrosos del Aire

El término general compuestos tóxicos del aire se usa para referirse a un compuesto o grupo de compuestos químicos nocivos que se encuentran en el aire. A veces se le llama contaminantes peligrosos del aire (HAPs, por sus siglas en inglés). Son considerados tóxicos porque pueden tener efectos en el corto plazo (agudos) o en el largo plazo (crónicos). Esta categoría de contaminantes agrupa a muchas sustancias con efectos variados, a diferentes concentraciones a las que dichos efectos pueden presentarse. Los compuestos van desde los que son carcinógenos, como el 1,3-butadieno y el cloruro de vinilo, hasta los solventes químicos como el tolueno y el etilbenceno que a las concentraciones que se hallan en el aire ambiente pueden limitarse a tener efectos irritantes.

Los compuestos tóxicos del aire pueden existir en forma gaseosa o como partículas. Como ejemplos de compuestos tóxicos están el benceno, tolueno, xileno y etilbenceno. También existe un cierto número de compuestos tóxicos gaseosos que pueden no ser GOT, como el amoníaco y el cloro. Muchos de los compuestos tóxicos como partículas son

metales pesados como el plomo, el cromo y el cadmio. El Apéndice B contiene un listado Federal de los EU, de 189 Contaminantes Peligrosos del Aire. Éste no es una lista exhaustiva de los compuestos tóxicos del aire. Para algunas aplicaciones de inventarios puede ser necesario considerar a otras sustancias como HAPs.

Lo ideal sería estimar las emisiones de estos compuestos usando datos de muestreos en la fuente o factores de emisión. Dos fuentes de factores de emisión son el *Factor Information Retrieval System* (FIRE) (Sistema de Recuperación de Información sobre Factores) (U.S. EPA, 1995) y la *California Air Toxics Emission Factor Database* (CATEF) (Base de Datos de Factores de Emisión de Compuestos Tóxicos del Aire de California (ARB, 1996) del *California Air Resources Board* (ARB) (Directorio de Recursos del Aire de California). Además se requiere hacer un juicio de ingeniería para determinar si un factor de emisión en particular es aplicable para una fuente dada. Cuando los factores de emisión de tóxicos no están disponibles, es necesario combinar las estimaciones de emisión de GOT o de partículas totales con los perfiles de especiación para estimar las emisiones de compuestos tóxicos individuales. Sin embargo, por lo general no se recomienda este enfoque debido a que los perfiles de especiación no se hacen con el fin de estimar las emisiones de compuestos individuales.

4.9 Gases con Efecto Invernadero

El efecto invernadero se presenta cuando la radiación de luz solar que entra queda atrapada por una combinación de gases activos respecto a la radiación (i. e., gases con efecto invernadero o simplemente, gases de invernadero). La energía luminosa del sol (radiación de longitud de onda corta) que pasa a través de la atmósfera de la tierra es absorbida por la superficie de la tierra y reflejada a la atmósfera como energía calorífica (radiación de longitud de onda larga). Entonces la energía calorífica es atrapada por la atmósfera creando una situación semejante a la que se presenta en un invernadero o en un automóvil cuando se suben las ventanilla. Muchos científicos creen que la emisión de estos gases (dióxido de carbono [CO₂], metano [CH₄], óxido nitroso [N₂O], clorofluorocarburos [CFCs] y otros) hacia la atmósfera

puede aumentar el efecto invernadero y contribuir al calentamiento global. A continuación se describe cada uno de estos gases.

El bióxido de carbono (CO_2) es un gas incoloro e inodoro que existe naturalmente en la atmósfera de la tierra. También se emiten cantidades significativas por la combustión de combustibles fósiles. La segunda fuente más importante de emisiones globales de CO_2 ocurre por cambios en el uso del suelo y de los bosques. Los bosques y otra vegetación absorben CO_2 durante su crecimiento. Por lo tanto, la pérdida de área forestal (i. e., deforestación) está llevando a una reducción de la incorporación del CO_2 en años futuros. O, en otras palabras, a un aumento neto del CO_2 atmosférico. Los cultivos o las quemas y/o los desmontes con fines agrícolas también pueden aumentar la liberación o el almacenamiento natural de CO_2 de los suelos (IPCC, 1993).

El metano (CH_4) es el hidrocarburo gaseoso más abundante y estable en la atmósfera. La estimación más reciente de su tiempo de vida en la atmósfera es de 11 años (IPCC, 1993). Las reacciones químicas en las que participa dentro de la tropósfera pueden llevar a la producción de ozono* y la reacción con radicales hidroxilo (OH) en la estratósfera produce vapor de agua. Esto es importante debido a que tanto el ozono como el vapor de agua son gases de invernadero, al igual que el CO_2 que es el producto final de la oxidación del metano. Algunas fuentes antropogénicas de metano importantes son las operaciones en las minas de carbón, la producción de gas natural, los arrozales, la ganadería y la quema de biomasa. También se forma metano por la descomposición bacteriana de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas (e.g., residuos animales, tratamiento de aguas negras domésticas y rellenos sanitarios).

El óxido nitroso (N_2O) es un importante gas de invernadero con una vida atmosférica de 110 - 168 años (WMO, 1992). Después de ser liberado es prácticamente inerte y rara vez participa en reacciones químicas en la tropósfera. También es la fuente principal de NO_x en la estratósfera, lo que está contribuyendo al agotamiento del ozono estratosférico. Más del 20 por ciento de las emisiones globales totales de N_2O y el 50 por ciento de las emisiones totales de

N_2 pueden deberse a emisiones terrestres naturales (IPCC, 1993). La fuente antropogénica más importante de N_2O es el aumento del uso de fertilizantes nitrogenados. También se produce óxido nitroso en los suelos de manera natural por desnitrificación (i. e., la reducción del nitrito o del nitrato a nitrógeno gaseoso como N_2 o como óxido de nitrógeno) y por nitrificación (i. e., la oxidación del amoníaco a nitrato). Los fertilizantes nitrogenados comerciales constituyen una fuente adicional de nitrógeno aumentando así las emisiones de N_2O del suelo. Otras fuentes potencialmente significativas de óxido nitroso incluyen la combustión de combustibles fósiles, la quema de biomasa y la producción de ácido adípico para la industria del nylon. Recientemente ha estado aumentando la importancia de la combustión en fuentes móviles como fuente de emisiones de N_2O debido al uso de catalizadores de tres vías para reducir las emisiones de NO_x (De Soete, 1989).

Los clorofluorocarburos (CFCs) son cualesquiera de un gran número de sustancias artificiales compuestas por cloro, flúor y carbono. Entre algunos ejemplos están el diclorodifluorometano (CFC-12) y el triclorotrifluoroetano (CFC-113). Los CFCs son sumamente estables debido a su halogenación completa. Tampoco son inflamables y por lo general tampoco son tóxicos en dosis bajas. Sin embargo, han sido identificado como gases con efecto invernadero y también como sustancias agotadoras del ozono (ODS, por sus siglas en inglés). Debido a su potencial para agotar el ozono se ha detenido virtualmente toda la producción mundial de CFCs como se indica en el Protocolo de Montreal. Los CFCs tienen puntos de ebullición apropiados para ser excelentes refrigerantes. Su baja tensión superficial y su baja viscosidad los hace ideales como solventes limpiadores. También tienen altas tasas de evaporación y no dejan residuos. También se usan como acarreadores inertes en los esterilizadores de óxido de etileno (EtO).

5.0 CATEGORÍAS DE FUENTE

La contaminación del aire proviene de una compleja mezcla de, literalmente, miles de fuentes que van desde las chimeneas industriales y vehículos de motor hasta el uso individual de limpiadores y pinturas domésticos. Incluso la vida animal y vegetal puede desempeñar un papel importante en el problema de la contaminación del aire. En general, para los propósitos de un inventario de emisiones las fuentes de emisión se agrupan en cuatro tipos diferentes:

- Fuentes puntuales
- Fuentes de área
- Vehículos automotores
- Fuentes naturales.

Esta sección presenta una descripción general de estos diferentes tipos de fuentes de emisión, explica el concepto de ajuste de fuentes puntuales y fuentes de área y presenta una lista de verificación de las categorías de fuente que deben ser incluidas (o cuando menos, consideradas) cualquier inventario de emisiones.

5.1 Fuentes Puntuales

El Volumen IV de esta serie de manuales, *Desarrollo de Inventarios de Fuentes Puntuales*, presenta información detallada sobre esta categoría de fuentes. Sin embargo, antes de comenzar a desarrollar un inventario de fuentes puntuales, deben tomarse dos importantes decisiones. Primero, se debe definir claramente lo que es una “fuente puntual” (i. e., debe establecerse una delimitación entre fuentes puntuales y de área). Segundo, se debe determinar el nivel de detalle deseado.

5.1.1 Delimitación de Fuentes Puntuales y Fuentes de Área

La división de fuentes emisoras en puntuales y de área es arbitraria pero necesaria para permitir la recopilación eficiente de la información que se requiere para apoyar los programas de calidad del aire. Esta división tiene implicaciones importantes, tanto para el desarrollo de los programas regulatorios, como para el tipo de información necesaria para apoyarlos.

Es deseable contar con información detallada sobre cada “punto” en el que se descargan emisiones a la atmósfera. Aunque esto permitiría entender de forma detallada las características de cada fuente emisora, no existe manera práctica de recopilar dicha información. Si se tratan todas las plantas como fuentes puntuales se puede aumentar la exactitud del inventario pero se requerirán muchos más recursos para recopilar y mantener el inventario de fuentes puntuales. Un enfoque alternativo consiste en recopilar información en una base más simple agregando todas las fuentes que estén relacionadas (e. g., todos los automóviles, todas las panaderías) dentro de una sola “fuente de área”.

En México las fuentes puntuales se definen en el Artículo 6 del *Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Control y Prevención de la Contaminación del Aire* como toda instalación establecida en un solo lugar que tenga como propósito desarrollar procesos industriales o comerciales, de servicios o actividades que generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera.

Como se indica en el Artículo 111 Bis de la *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente* y en el Artículo 11 del *Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Control y Prevención de la Contaminación del Aire* las fuentes puntuales de jurisdicción federal incluyen a:

- Los siguientes sectores industriales: químico, petrolero y petroquímico, de pinturas y tintas, de automóviles, de la celulosa y el papel, del hierro y el acero, del vidrio, de la generación de electricidad, del asbesto, del cemento y la cal así como del tratamiento de residuos peligrosos;
- Todos las plantas, proyectos o actividades (industriales, comerciales o de servicios) realizados por entidades de la Administración Pública Federal;
- Las plantas localizadas en la zona adyacente al Distrito Federal y
- Las fuentes que afecten el equilibrio ecológico de un estado o país adyacente.

Estas plantas deben solicitar una licencia de operación a través de la Secretaría (SEMARNAP). Además, anualmente deben presentar estimaciones de sus emisiones y/o las mediciones en chimenea para la planta.

Algunas compañías que tienen un certificado de microindustria pueden estar exentas de los requerimientos de licencia y de certificado de operación para fuentes puntuales si sus actividades quedan exentas según el *Acuerdo por el que se Exceptúan del Trámite para la Obtención de la Licencia de Funcionamiento a las Fuentes Fijas consideradas como Empresas Microindustriales en los Términos de la Ley en la Materia Publicado el 17 de Mayo de 1990*.

Las fuentes puntuales también pueden ser especificadas de muchas otras maneras. Entre éstas se incluye la siguiente definición de fuentes puntuales (considerando a todas las otras fuentes como fuentes de área):

- Fuentes de un tipo dado (e. g., unidad de reformación catalítica fluidizada) o tanto por tipo como por tamaño (e. g., caldera con un consumo de calor >10,000 Btu/hr);
- Fuentes que emiten más de una cantidad especificada de emisiones determinada en alguna base consistente (e. g., calderas que emiten más de 100 toneladas anuales de NO_x);
- Cualquier fuente (independientemente del tipo, tamaño o emisiones) que se localice en una planta de un tipo dado (e. g., refinería de petróleo) o de un

tipo y tamaño dados (e. g., fundición de acero con producción de acero superior a las 1,000 toneladas anuales) y

- Cualquier fuente (independientemente del tipo, tamaño o emisiones) que se localice en una planta con una cantidad de emisiones más grande que la especificada determinada en alguna base consistente.

Algunos ejemplos de bases consistentes para determinar la cantidad de las emisiones son:

- Emisiones reales (lo que realmente se emitió en un periodo de tiempo anterior);
- Emisiones permisibles (el máximo que puede ser emitido conforme a los límites regulatorios) y
- Emisiones potenciales (lo que se emitiría si se operara tiempo completo sin equipo de control).

Además estas definiciones pueden variar según la región regulatoria para tomar en cuenta los diferentes niveles de severidad del problema de la calidad del aire y/o lo estricto que sea el programa regulatorio. Por ejemplo, en los EU se ha establecido una base específica para las áreas que exceden varias normas de calidad del aire ambiente. Dependiendo de la severidad de las excedencias el corte de las emisiones de fuentes puntuales se coloca a un nivel diferente. Como resultado, las áreas con peor calidad del aire tienen el corte de emisiones de fuentes puntuales más bajo. Más aún, se ha estimulado el que cada estado inventaríe las fuentes por debajo de estos cortes en base individual. La decisión de establecer un corte más bajo depende de varios factores locales, por lo general, de los recursos disponibles para obtener y manejar los datos.

A menudo, en los programas ambientales de los EU se ha usado la última definición (i. e., umbrales de emisión a nivel de planta) basados en emisiones reales. Estas fuentes se han designado como “fuentes estacionarias” y están sujetas a regulaciones más estrictas que las fuentes que emiten menos. La Agencia de Protección Ambiental de los EU

(USEPA) ha extendido esta definición regulatoria al terreno del manejo de datos. La USEPA requiere que las agencias estatales presenten los datos sobre las fuentes definidas desde el punto de vista regulatorio como fuentes estacionarias, como “fuentes puntuales”. Todos los datos sobre las plantas remanentes deben presentarse en forma agregada como “fuentes de área”.

A medida que el programa de inventarios de emisiones de México evolucione la definición establecida de fuente puntual puede modificarse para añadir las nuevas fuentes significativas que se vayan identificando o para eliminar las fuentes insignificantes. Una vez más, la meta es aumentar al máximo la exactitud global del inventario de emisiones completo (i. e., fuentes puntuales, de área, vehículos automotores y fuentes naturales) dentro de las limitaciones de los recursos disponible.

5.1.2 Nivel de Detalle

Por lo general, la información sobre fuentes puntuales se recopila por medio de encuestas. Las fuentes puntuales se pueden inventariar a los siguientes tres niveles de detalle (que se ilustran en la Figura 5-1):

- Nivel de planta, que se refiere a una planta o una instalación que podría contener varias actividades emisoras de contaminantes;
- Nivel puntual o de chimenea en donde ocurren las emisiones al aire ambiente y
- Nivel de proceso, que representa las operaciones de la unidad de emisión en una categoría de fuente.

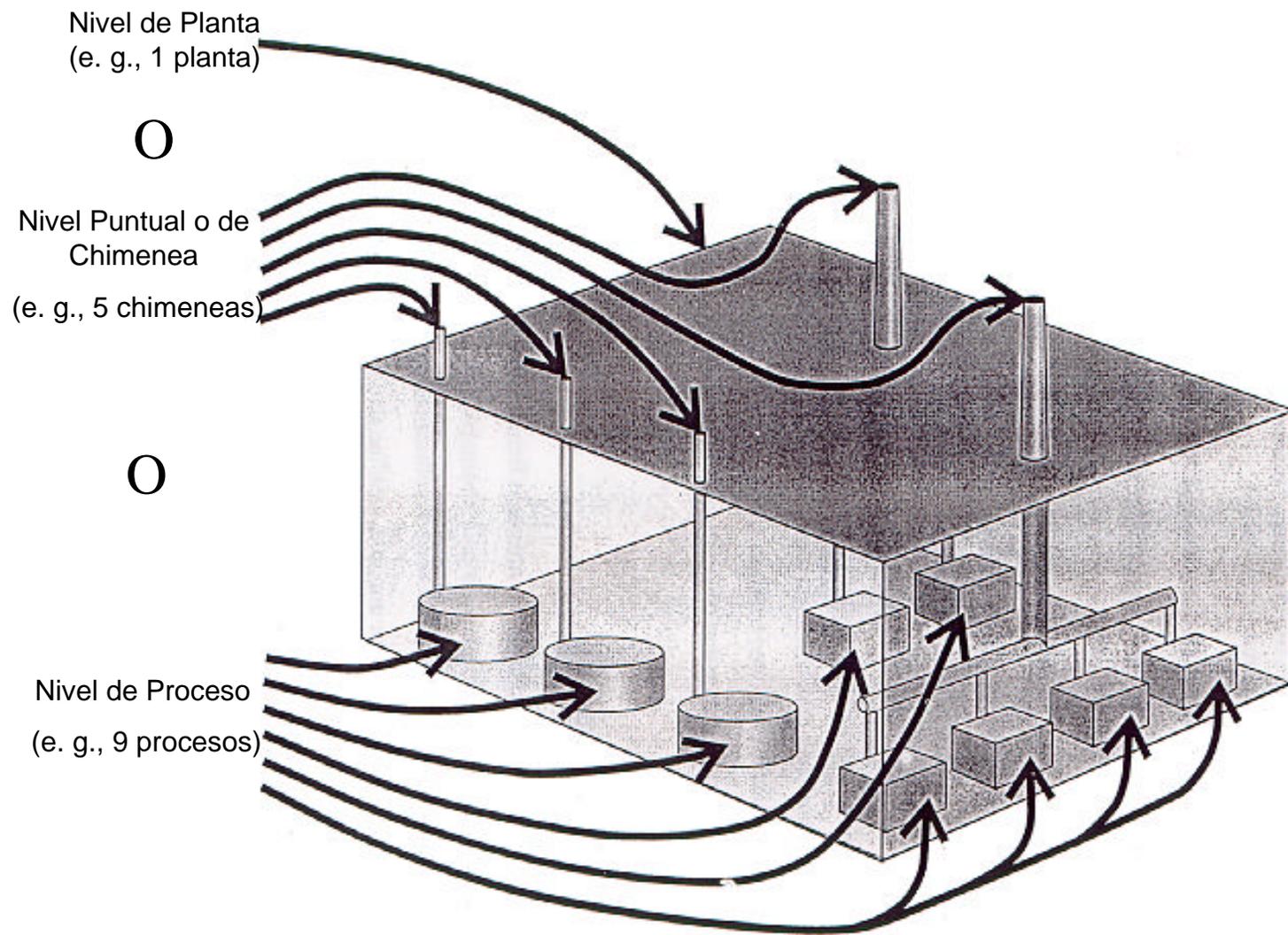


Figura 5-1. Diferentes Niveles de un Inventario de Fuentes Puntuales

Siempre que sea posible, las emisiones deben inventariarse a nivel de proceso a fin de apoyar las actividades de calidad del aire tales como el desarrollo de regulaciones, el cumplimiento, rastreo y otorgamiento de permisos. Por ejemplo, para identificar los procesos o los dispositivos a los que podrían aplicarse las futuras regulaciones y luego estimar el impacto (i.e., costos y beneficios) de dichas regulaciones se tendrían que estimar las emisiones para cada proceso o dispositivo. Otra razón igualmente importante para recopilar datos a este nivel de detalle es que le da a la agencia la información requerida para verificar las estimaciones de las emisiones en toda la planta que fueron proporcionadas por los operadores de la instalación. Sin embargo, las limitaciones en los recursos pueden hacer que las emisiones se inventaríen a nivel de planta o a nivel puntual o de chimenea.

5.2 Fuentes de Area

Las fuentes de área representan las emisiones de las fuentes que son demasiado numerosas y dispersas como para ser incluidas de manera eficiente en un inventario de fuentes puntuales. En conjunto, sin embargo, las fuentes de área son emisoras significativas de contaminantes del aire los que deben incluirse en un inventario de emisiones para asegurar que esté completo. Por ejemplo, con frecuencia las estaciones de servicio y las tintorerías se tratan como fuentes de área. Por lo general estas instalaciones no se incluyen en los inventarios de fuentes puntuales debido al enorme esfuerzo que se requeriría para recopilar los datos y estimar las emisiones de cada planta individual. Las fuentes móviles que no circulan por carreteras (e. g., equipo industrial, equipo de construcción, etc.) a menudo se incluyen en las fuentes de área estacionarias sobre todo debido a que los métodos usados para estimar las emisiones de fuentes de área y fuentes móviles que no circulan por carreteras son muy similares. En contraste, la metodología de inventario aplicada a los vehículos automotores es muy diferentes. En el Volumen V de esta serie de manuales, *Desarrollo de Inventarios de Fuentes de Área*, se puede encontrar información más detallada acerca de las fuentes de área. Los aspectos de las fuentes de área relacionados específicamente con el cálculo de emisiones, como la eficacia y la penetración de la regla también se discuten en el Volumen III de esta serie de manuales, *Técnicas Básicas de Estimación de Emisiones*.

En lugar de hacer distinción entre plantas individuales y dispositivos emisores como se hace en los inventarios de fuentes puntuales, los inventarios de fuentes de área agrupan a las emisiones de fuentes similares en *categorías*. Un inventario de fuentes de área generalmente consiste de las siguientes grandes categorías:

- Combustión en fuentes estacionarias;
- Fuentes móviles que no circulan por carreteras;
- Uso de solventes;
- Almacenamiento y transporte de productos del petróleo;
- Fuentes industriales y comerciales ligeras;
- Fuentes agrícolas;
- Fuentes de manejo de residuos y
- Fuentes de área diversas.

Cada una de estas categorías está comprende otras categorías de fuentes más específicas (i. e., el uso de solventes orgánicos incluye el uso comercial o doméstico de solventes, el lavado en seco y la limpieza de superficies) que se definen por procesos de emisión semejantes o por una similitud en los métodos para la mejor estimación de las emisiones. Un inventario de área completo puede contener 150 o más categorías de fuente individuales. En general, el lavado en seco está representado por dos o mas categorías de fuentes para tomar en cuenta los diferentes solventes que se usan (i. e., percloroetileno vs. solventes con base petróleo). De manera similar, el recubrimiento de superficies puede tener muchas categorías de fuente para tomar en cuenta las diferentes aplicaciones que existen (e. g., latas metálicas, monedas, maquinaria, muebles de madera, etc.).

Las emisiones de las categorías de fuente más grandes se producen por diversos mecanismos. La Tabla 5-1 presenta los diferentes mecanismos asociados con cada una de las grandes categorías de fuentes de área. También se incluyen ejemplos de categorías de fuentes específicas.

Tabla 5-1

Mecanismos de Emisión para Varias Categorías de Fuente de Área

Categoría de Fuente	Combustión	Evaporación	Perturbación Mecánica	Proceso Biológico
Uso de Combustible en Fuentes Estacionarias	✓ (Combustión Residencial)			
Fuentes Móviles que no Circulan por Carreteras	✓ (Equipo de Construcción)	✓ (Equipo Recreativo)		
Uso de Solventes		✓ (Desengrasado)		
Almacenamiento y Transporte de Productos de Petróleo		✓ (Distribución de Gasolina, Fugas de Gas LP)		
Fuentes Industriales y Comerciales Ligeras	✓ (Fabricación de Ladrillos)		✓ (Construcción de Edificios)	✓ (Panaderías)
Fuentes Agrícolas	✓ (Quemas Agrícolas)	✓ (Aplicación de Plaguicidas)	✓ (Cultivo Agrícola)	✓ (Desechos Animales)
Fuentes de Manejo de Residuos	✓ (Incineración)	✓ (Plantas Públicas de Tratamiento)		
Fuentes de Area Diversas	✓ (Incendios silvestres)		✓ (Polvo de Caminos)	✓ (Amoníaco del Ganado)

5.3 Ajuste de Fuentes Puntuales y de Area

Cuando un inventario de fuentes puntuales y un inventario de fuentes de área incluyen emisiones del mismo proceso existe la posibilidad de hacer un doble conteo de las emisiones. En estas situaciones, cuando sea apropiado, la estimación de emisiones de las fuentes de área debe ajustarse hacia abajo. Ciertas categorías de fuentes de área, tales como el uso de solventes comercial y doméstico y el recubrimiento arquitectónico de superficies no requieren ningún ajuste por fuentes puntuales. Otras categorías, como la combustión y el uso de solventes pueden compartir procesos con las fuentes puntuales. Para evitar el doble conteo, la actividad en las fuentes puntuales se resta de la actividad total en las categorías de fuente puntuales y de fuentes de área combinadas. La siguiente ecuación muestra la actividad en fuentes de área resultante:

$$\text{Actividad en Fuentes de Area} = \text{Actividad Total de la Categoría de Fuente} - \text{Suma de la Actividad en Fuentes Puntuales}$$

Si la actividad en fuentes de área resultante es inferior a cero se deben revisar los datos de las fuentes puntuales para buscar errores y corregir los que se encuentren. Si la actividad en las fuentes de área sigue siendo inferior a cero se supone que es igual a cero y que sólo hay emisiones de las fuentes puntuales.

Por ejemplo, si las emisiones de fuentes de área se calculan usando el empleo, el número de empleados en las fuentes puntuales debe restarse del empleo total en la región del inventario para obtener el empleo en las fuentes de área. De manera semejante, si se usan estadísticas de venta de combustible para estimar su uso en la combustión industrial de área, entonces el combustible usado en las plantas consideradas fuentes puntuales debe restarse de las estadísticas globales de combustible. Otro ejemplo que ilustra el uso de solventes en las artes gráficas se presenta en la Figura 5-2.

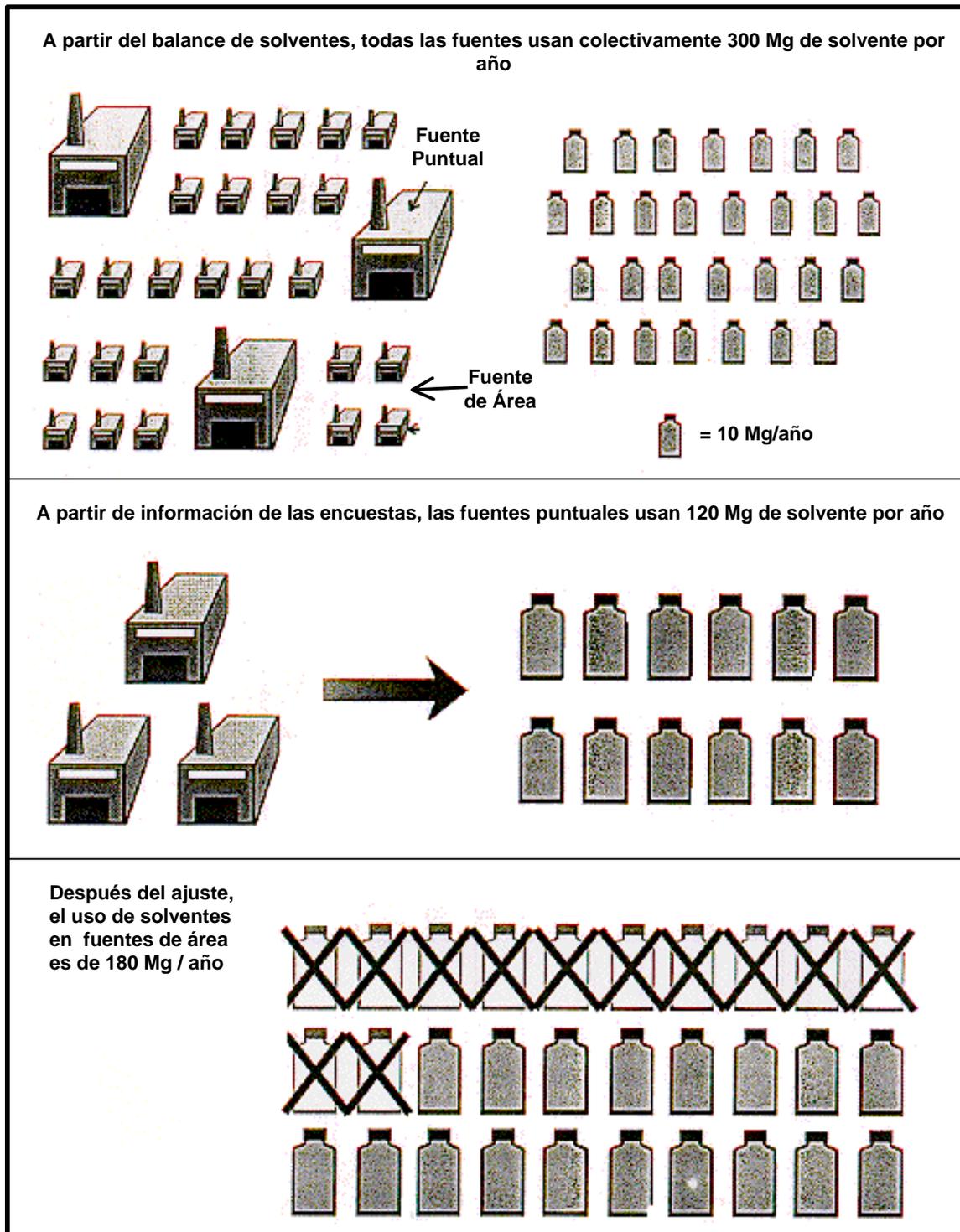


Figura 5-2. Ajuste Hipotético de Fuentes Puntuales y de Área para Solventes en Artes Gráficas

En algunas ocasiones se hace un ajuste de las fuentes puntuales restando las emisiones de fuentes puntuales de las emisiones de todas las fuentes, si bien esto debe hacerse como último recurso. Si se usa este método, se deben emplear las emisiones no controladas (de las fuentes totales combinadas y de las fuentes puntuales). Cualquier ajuste por el control de emisiones que se necesite para las fuentes de área debe hacerse después del ajuste de las fuentes puntuales.

5.4 Vehículos Automotores

Los vehículos automotores que circulan por carreteras son aquellos como los automóviles, los camiones y autobuses diseñados para operar en carreteras públicas. En la mayor parte de las áreas urbanas los vehículos automotores contribuyen en gran medida a las emisiones de GOT, CO, NO_x, SO_x, partículas, compuestos tóxicos del aire y especies que reducen la visibilidad. Debido a la gran magnitud de sus emisiones y a las consideraciones especiales que se requieren para hacer estimaciones de dichas emisiones, los vehículos automotores se tratan separadamente de otras fuentes de área. En el Volumen VI de esta serie de manuales, *Desarrollo del Inventario de Vehículos Automotores* se puede hallar información más detallada sobre las fuentes vehiculares.

Las emisiones de vehículos automotores consisten de un gran número de contaminantes resultantes de varios procesos diferentes (ver Figura 5-3). Las emisiones más comúnmente considerados son las del escape, que resultan de la combustión y se emiten por el tubo de escape del vehículo y las que provienen de varios procesos de emisión evaporativa. Estos procesos, que generan sólo emisiones de GOT, incluyen:

- **Emisiones por remojo en caliente (hot soak)** – Emisiones que ocurren debido a la volatilización del combustible en el sistema de distribución después de apagar el motor. El calor residual de éste volatiliza el combustible.

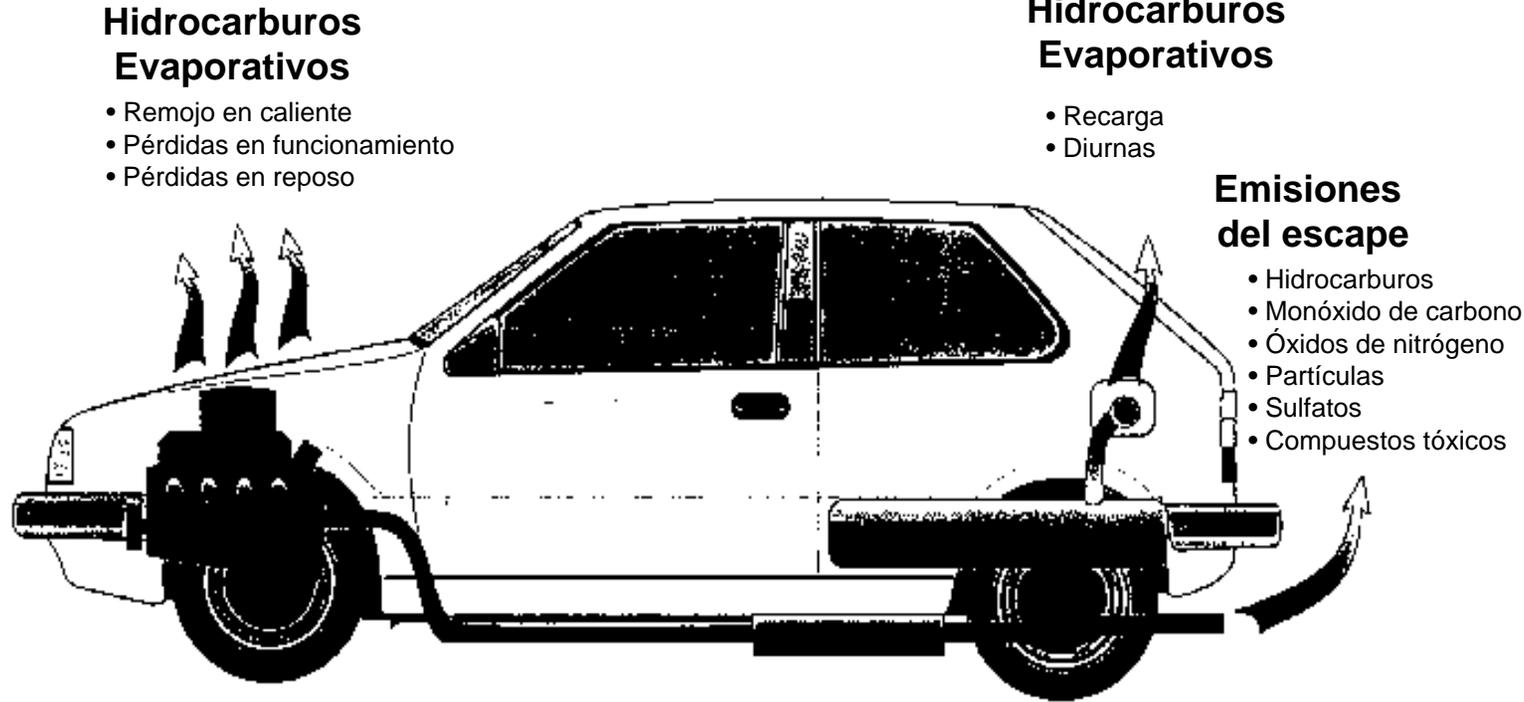


Figura 5-3. Procesos de Emisión en Vehículos Automotores

- **Emisiones evaporativas durante la marcha** – Emisiones evaporativas provenientes de fugas del combustible, líquido o vapor, que ocurren cuando está operando el motor.
- **Emisiones diurnas** – Emisiones del tanque de combustible del vehículo debido a la mayor temperatura de la masa de líquido y a la presión de vapor. Estas emisiones resultan del aumento de la temperatura ambiente, de la entrada de calor desde el sistema de escape del vehículo o del calor reflejado desde la superficie de la carretera.
- **Emisiones evaporativas en reposo** – Emisiones evaporativas que no son las de remojo en caliente, las diurnas ni las debidas a la recarga del tanque. Estas emisiones se presentan cuando el motor no está en operación y se deben sobre todo a fugas de combustible y a la permeación de vapor a través de las líneas del combustible.
- **Emisiones evaporativas durante la recarga de combustible** – Emisiones evaporativas desplazadas desde el tanque de combustible durante la recarga. Aunque el vehículo es la fuente de las emisiones, éstas ocurren mientras el vehículo está en reposo y en lugares conocidos, como las gasolineras. Por lo tanto, estas emisiones se tratan por lo general como una fuente de área y se presentan en el Volumen V de esta serie de manuales: *Desarrollo de Inventarios de Fuentes de Área*. Los factores de emisión de la recarga pueden estimarse usando el modelo MOBILE o bien obtenerse de otras fuentes, como el AP-42.

El interés por obtener estimaciones de la contribución de los vehículos automotores que circulan por carreteras a los inventarios regionales de emisiones en México ha ido en aumento, lo que ha llevado al desarrollo de inventarios de emisiones de vehículos automotores para la Ciudad de México, Monterrey, Ciudad Juárez, Guadalajara y Toluca (Espinosa, et al., 1996). Para tomar en cuenta las diferencias potenciales en las flotillas vehiculares y en los hábitos de manejo en México, el modelo MOBILE basado en datos de los EU ha sido modificado para las áreas metropolitanas de la Ciudad de México, Monterrey y Ciudad Juárez. El modelo MOBIL estima los factores de emisión de los vehículos automotores los que después deben combinarse con los datos de actividad apropiados. Se han hecho múltiples modificaciones al modelo MOBILE porque se sabe que la mezcla de flotillas vehiculares, combustibles usados y los hábitos y condiciones de manejo no son homogéneas en todo México. Por ejemplo, en las regiones fronterizas, la flotilla mexicana puede contener mas vehículos de los

EU y se pueden usar mayores cantidades de combustibles también de los EU. Como otro ejemplo, la gran altitud de la Ciudad de México afecta el proceso de combustión y, por lo tanto, también las emisiones de los vehículos automotores.

5.5 Fuentes Naturales

Además de las actividades humanas, los fenómenos naturales y la vida, tanto animal como vegetal pueden desempeñar un papel importante en el problema de la contaminación del aire. En algunas áreas en las que las emisiones de fuentes naturales pueden ser significativas para el inventario global es importante comprender cual es su contribución dado que, por lo general, la instrumentación de estrategias de control no puede reducirlas con facilidad. A continuación se describen dos fuentes naturales de importancia que a menudo se consideran en los inventario de emisiones al aire.

Emisiones Biogénicas. Un gran número de investigadores han establecido que la vegetación (e. g., hierba, cultivos, arbustos, bosques, etc.) emiten cantidades significativas de hidrocarburos a la atmósfera. Varios estudios (e. g., Pierce et al., 1990; Robinson y Robbins, 1968) han demostrado que las emisiones biogénicas pueden compararse, o rebasar, las emisiones de hidrocarburos no metano (NMHC, por sus siglas en inglés) de fuentes antropogénicas en ciertas áreas.

Emisiones de Suelos. Como se mencionó antes en la exposición sobre gases con efecto invernadero en la Sección 4.9, el óxido nitroso (N_2O) es producido de manera natural en los suelos por desnitrificación (i. e., la reducción de nitritos o nitratos a nitrógeno gaseoso como N_2 ó NO_x) y por nitrificación (i. e., la oxidación de amoníaco a nitrato). Los fertilizantes nitrogenados comerciales constituyen una fuente adicional de nitrógeno, incrementando así las emisiones de N_2O del suelo. La tasa de emisiones de NO_x de los suelos también dependen de otras variables como el tipo de suelo, la humedad, la temperatura, la estación, el tipo de cultivo y otras prácticas agrícolas. Se estima que las emisiones de NO_x de los suelos representan hasta el

16 por ciento de la cantidad global de NO_x en la tropósfera y hasta el 8 por ciento de NO_x en América del Norte (U.S. EPA, 1993).

La erosión del viento es otro fenómeno natural que genera emisiones. Sin embargo, debido a que dichas emisiones se asocian por lo general con tierras alteradas a veces se les trata como fuentes de área. En la Sección 11.5 del Volumen V de esta serie de manuales, *Desarrollo de Inventarios de Fuentes de Area* se da información más detallada sobre las emisiones debidas a la erosión del viento.

Otras categorías más pequeñas de fuentes naturales incluyen a las termitas (CH_4), los relámpagos (NO_x) y los volcanes y alguna otra actividad geotérmica (SO_x). En el Volumen VII de esta serie de manuales, *Desarrollo de Inventarios de Fuentes Naturales* se puede encontrar información mas detallada obre las fuentes naturales se presenta

5.6 Lista Típica de Verificación de Categorías de Fuente

Las fuentes que se incluyen en el inventario deben jerarquizarse en base a su importancia dentro de éste. Los recursos deben asignarse, de preferencia, a las fuentes que son más importantes para satisfacer los usos finales del inventario. Las fuentes de alta prioridad incluyen a aquellas que se sabe que contribuyen de manera significativa a la contaminación del aire, que son fuente de contaminantes específicos seleccionados (e. g., PM_{10}) o que es muy probable que afecten la calidad del aire.

La Tabla 5-2 es una lista típica de verificación de las categorías de fuente que podrían incluirse en un inventario. Para cada categoría de fuente se presentan las principales emisiones esperadas por contaminante. **Cabe señalar que esta lista de verificación sólo debe usarse como una herramienta para iniciar el proceso de identificación de las categorías de fuente que se incluirán en un inventario. Es probable que las condiciones específicas de cada región lleven a añadir o a eliminar elementos de esta lista a fin de obtener un inventario completo.** Por ejemplo, las terminales de autobuses o de camiones, la manufactura de

ladrillos a pequeña escala, los establecimientos de asados al carbón y los vendedores callejeros no son categorías de fuente que se inventarían por lo general en los EU pero se han añadido a la lista de verificación como categorías potenciales para México.

Tabla 5-2 (Continuación)

Categoría de Fuente	Contaminantes del Inventario															
	GOT	GOR	CO	NO _x	SO _x	Partíc.	PM ₁₀	PM _{2.5}	NH ₃	CE	C org.	HAPs	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	CFCs
Fuentes de Área (Continuación)																
Combustión Residencial (Combustibles de Biomasa o Derivados de Residuos)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Locomotoras	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
Embarcaciones Comerciales	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
Aeronaves	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
Otro Equipo Móvil que no circula por Carreteras (Construcción, Industrial, Recreativo, etc.).	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
Cruces Fronterizos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
Terminales de Autobuses y de Camiones	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
Recubrimiento de Superficies Industriales	✓	✓										✓				
Acabado de Carrocerías	✓	✓										✓				
Recubrimiento de Superficies Arquitectónicas	✓	✓										✓				
Pinturas de Tránsito	✓	✓										✓				
Limpieza de Superficies Industriales (Desengrasado)	✓	✓										✓				
Lavado en Seco	✓	✓										✓				
Artes Gráficas	✓	✓										✓				
Aplicación de Asfalto	✓	✓										✓				
Uso Comercial y Doméstico de Solventes	✓	✓										✓				
Distribución de Gasolina	✓	✓										✓				
Recarga de Combustible en Aviones	✓	✓										✓				
Distribución de Gas LP	✓	✓										✓				
Panaderías	✓	✓										✓				
Ladrilleras	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
Actividades de Construcción						✓	✓	✓		✓	✓	✓				
Asados al Carbón	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
Vendedores Callejeros	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
Aplicación de Plaguicidas	✓	✓										✓				
Corrales de Engorda de Ganado						✓	✓	✓	✓			✓				
Quemas Agrícolas	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Aplicación de Fertilizantes									✓			✓		✓		
Desechos de Animales	✓	✓							✓			✓			✓	
Labranza Agrícola						✓	✓	✓		✓	✓	✓				

Tabla 5-2 (Continuación)

Categoría de Fuente	Contaminantes del Inventario															
	GOT	GOR	CO	NO _x	SO _x	Partíc.	PM ₁₀	PM _{2.5}	NH ₃	CE	C org.	HAPs	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	CFCs
Fuentes de Área (Continuación)																
Incineración en Sitio	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Manejo de Residuos – Quema al Aire Libre	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Tratamiento de Aguas Residuales	✓	✓							✓			✓			✓	
Aguas Negras y Aguas Residuales en Canales Abiertos	✓	✓							✓			✓			✓	
Incendios Silvestres e Incendios Prescritos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Incendios de Construcciones	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Polvo de Caminos Pavimentados						✓	✓	✓		✓	✓	✓				
Polvo de Caminos sin Pavimentar						✓	✓	✓		✓	✓	✓				
Erosión del Viento						✓	✓	✓		✓	✓	✓				
Emisiones Domésticas de Amoníaco									✓			✓				
Fuentes de Vehículos Automotores																
Vehículos de Gas de Trabajo Ligero (LDGV)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Camiones de Gas de Trabajo Ligero (LDGT)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Vehículos de Gas de Trabajo Pesado (HDGV)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Vehículos Diesel de Trabajo Ligero (LDDV)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Camiones Diesel de Trabajo Ligero (LDGT)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Vehículos Diesel de Trabajo Pesado (HDDV)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Motocicletas (MC)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Fuentes Naturales																
Hidrocarburos Biogénicos	✓	✓														
NO _x del Suelo				✓										✓		
Termitas															✓	
Rayos				✓												
Volcanes/Otras Fuentes Geotérmicas					✓	✓	✓	✓				✓				

^a Sólo incluye las emisiones relacionadas con los procesos; la combustión en fuentes puntuales se trata como su propia subcategoría.

6.0 OTRAS CARACTERÍSTICAS DE un INVENTARIO DE EMISIONES

Dos de las diez características de un inventario de emisiones (tipos de contaminantes y tipos de fuentes) se describieron en las Secciones 4.0 y 5.0. Las ocho características restantes se determinan sobre todo por el propósito establecido del inventario.

6.1 Año Base

El año base de un inventario identifica el año para el cual se estiman las emisiones y determina la posición del inventario en el tiempo. Esto da una marca fija para comparar los inventario previos y los subsecuentes. Es importante establecer un año base de manera que todas las estimaciones de emisiones tengan una base común y representen las actividades que ocurren durante el mismo periodo de tiempo.

Se puede usar cualquier año como base de un inventario pero en general, esto lo determina el propósito establecido del inventario. Por ejemplo, si se desea ver los efectos de las estrategias de control instrumentadas recientemente el año base será algún año previo a la instrumentación de dichas estrategias. Para haber una comparación de los niveles actuales de emisión con los niveles históricos se puede usar un año base en el pasado. El año base también podría determinado por varios requerimientos regulatorios. La razón principal para esto es que los inventario de emisiones de diferentes regiones se pueden comparar fácilmente entre sí y con las normas regulatorias. En otros casos, la disponibilidad de datos puede determinar cual es el año base de un inventario. Por ejemplo, podría desearse hacer un inventario para 1997 pero si las estadísticas que se van a usar como datos de actividad sólo se han recopilado hasta 1995 es probable que 1995 sea un mejor año base que 1997.

6.2 Características relacionadas con el tiempo

Hay dos características principales relacionadas con el tiempo que deben considerarse para cada inventario: el periodo de tiempo y la variabilidad temporal. Otras características menores pueden ser aplicables para algunos inventarios. El periodo de tiempo se refiere al lapso representado por el inventario. Las emisiones del inventario se presentarán en unidades de masa del contaminante por periodo de tiempo del inventario (e. g., kg de CO/año). Para muchos inventarios a gran escala, el periodo de tiempo será, por lo general, de un año. Sin embargo, en algunas aplicaciones especializadas se pueden requerir periodos más cortos (e. g., un día, un mes, la estación de ozono del verano, la estación calurosa, etc.).

La variabilidad temporal describe la variabilidad de las emisiones en el tiempo. Si las emisiones son constantes en el tiempo, esta variabilidad no es de gran interés. Sin embargo, la mayor parte de las emisiones cambian con el tiempo. Dependiendo de los requerimientos del inventario asociados con su propósito puede ser necesario describir las variaciones de las emisiones en base estacional, mensual o diaria. Incluso, algunos inventarios especializados pueden requerir emisiones en base horaria (o en periodos más cortos). Por ejemplo, las emisiones de los vehículos automotores que circulan por carreteras varían en diferentes periodos de tiempo debido a los diferentes niveles de actividad. Las emisiones vehiculares entre semana pueden ser mayores que en fines de semana debido a los elevados niveles de actividad vehicular asociados con el traslado hacia y desde el trabajo. Asimismo, como se muestra en la Figura 6-1, es probable que las emisiones en la mañana y en las primeras horas de la tarde sean más altas que las emisiones al mediodía o a la medianoche, debido a las horas pico caracterizadas por el gran número de viajes. n elevado tráfico de traslado. Debido a que la distribución temporal de la actividad vehicular presentada en la Figura 6-1 es específica para los EU, la actividad en México puede distribuirse de manera diferente. Dependiendo del propósito del inventario puede ser necesario considerar una o mas de estas variabilidades temporales.

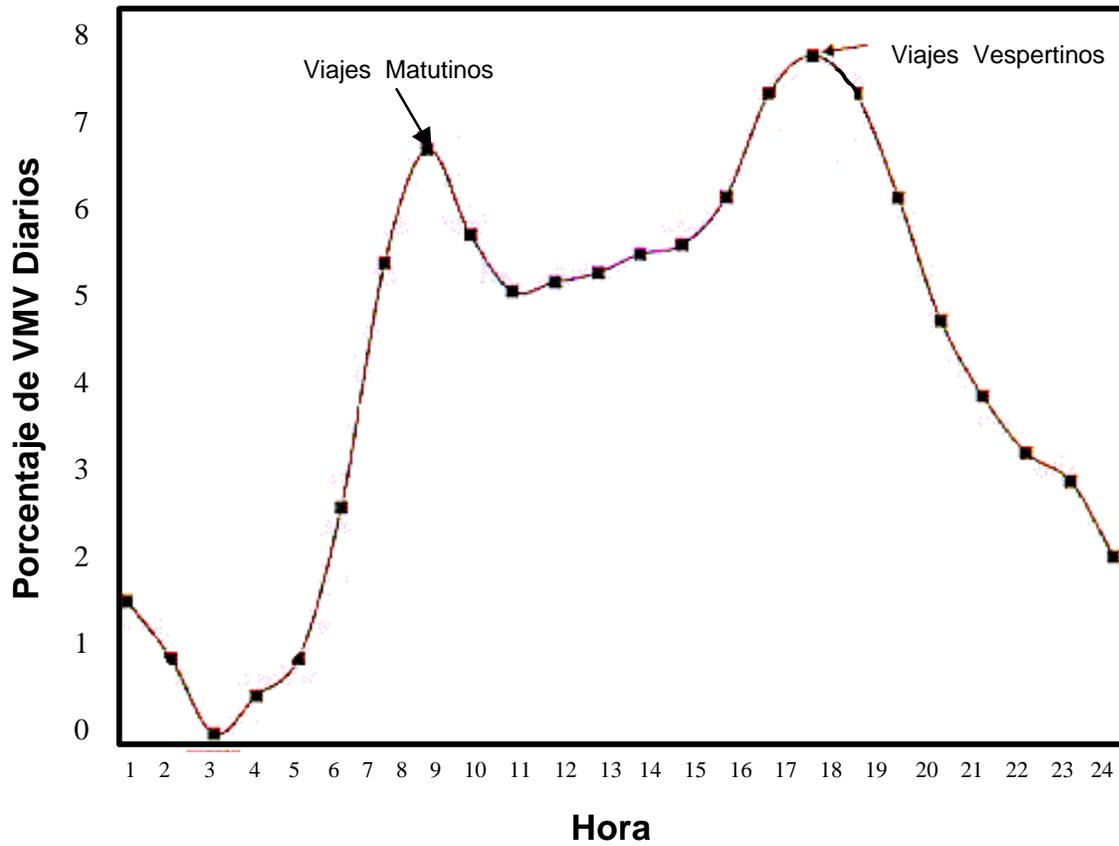


Figura 6-1. Distribución Temporal Hipotética de la Actividad de Vehículos Automotores en los Estados Unidos

6.3 Características Espaciales

En cualquier inventario hay dos características espaciales principales: el dominio del inventario y la resolución espacial. El dominio del inventario representa el área para la cual se van a inventariar las fuentes de contaminantes del aire. A veces este dominio se determina por el propósito del inventario. Con frecuencia, el dominio del inventario corresponde a las fronteras políticas, geográficas o las de las agencias responsables de la calidad del aire. Dependiendo de la aplicación del inventario, puede ser necesario tratar aquellas fuentes externas al dominio definido del inventario que, debido al transporte meteorológico, tengan influencia sobre la calidad del aire al interior del dominio. En la Figura 6-2 se presenta un dominio hipotético cuadrado que mide 25 km por lado.

La resolución espacial indica con que especificidad debe definirse la localización geográfica de las fuentes de contaminación. A veces los inventarios básicos dan solamente los totales de contaminantes para todo el dominio del inventario. Los inventario más complejos, en particular aquellos asociados con modelado de la calidad del aire, requieren con frecuencia una descripción más detallada de la distribución de las emisiones. En general la resolución de las fuentes de área, naturales y vehiculares dentro del dominio de un inventario se hace usando las celdas de una cuadrícula. El dominio de inventario que se presenta en la Figura 6-2 contiene 25 celdas de 5 km por lado. A menudo la exactitud deseada para la calidad del aire determina el tamaño de la celda. Sin embargo, en general, el tamaño de celda requerido también está relacionado con el tamaño del dominio. Los dominios grandes tienen celdas que por lo general miden varios kilómetros por lado, mientras que los dominios de inventario más pequeños pueden tener celdas de sólo unos cuantos cientos de metros por lado. En la Figura 6-2 se puede ver la siguiente distribución espacial de emisiones:

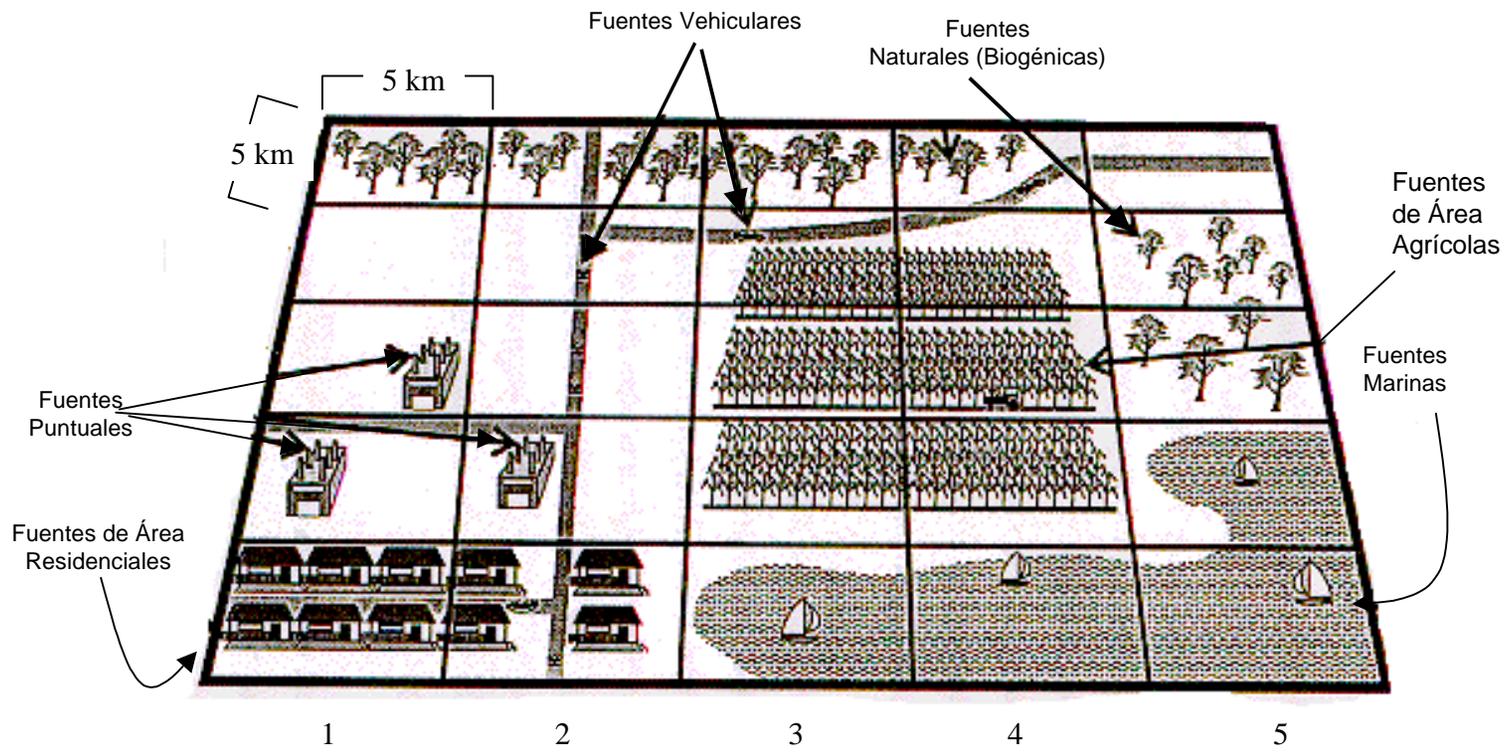


Figura 6-2. Dominio Hipotética de un Inventario y Distribución Espacial de Varios Tipos de Fuentes

- Fuentes de Área de Población y Residenciales: Celdas A1 y A2;
- Fuentes de Área Agrícolas: Celdas B3, B4, C3, C4, D3 y D4;
- Fuentes Marinas: Celdas A3, A4, A5 y B5;
- Vehículos Automotores: Celdas A1, A2, B1, B2, C2, D2, D3, D4, E2, E4 y E5 y
- Fuentes Naturales Biogénicas: Celdas C5, D5, E1, E2, E3 y E4.

Para la mayor parte de tipos de inventarios, las fuentes puntuales necesitarán localizarse geográficamente ya sea usando coordenadas de longitud y latitud o coordenadas del Mercator Transverso Universal (UTM, por sus siglas en inglés). Para algunos inventarios complejos, la exactitud geográfica requerida para la ubicación de las fuentes puntuales puede ser de hasta ± 10 metros. En la Figura 6-2 las tres fuentes puntuales ubicadas en las celdas B1, C1 y C2 requerirán coordenadas de localización detalladas.

6.4 Resolución de Especies

La resolución de especies se refiere a la división de un contaminante del inventario (e. g., GOT, partículas, etc.) en sus componentes químicos individuales [e. g., tolueno, plomo, carbono elemental (CE), carbono orgánico (C org.), etc.] o en grupos específicos (e. g., parafinas, compuestos aromáticos, etc.). La necesidad de una resolución de especies, así como la metodología específica, están determinadas por el propósito del inventario. La resolución de especies se hace sobre todo usando perfiles de especiación que describen la fracción de cada especie química individual. Muchos inventarios no incluyen una resolución de especies detallada. Otras aplicaciones especializadas sí las requieren. Estas aplicaciones incluyen los inventarios de compuestos tóxicos del aire, el modelado fotoquímico y el modelado del balance químico de masa usado para la atribución de fuentes.

Como ya se dijo en la Sección 4.8, los inventarios de compuestos tóxicos del aire buscan cuantificar la cantidad de contaminantes peligrosos del aire (HAPs, por sus siglas en inglés) que se emiten. Lo ideal sería usar factores de emisión para cada HAP individual. Aunque

hay algunos factores de emisión de HAPs para fuentes de combustión y algunas otras, por lo general no existen. Como resultado es frecuente separar las especies de HAPs individuales de los GOT y las partículas usando perfiles de especiación. Como se mencionó en la Sección 4.8, éste no es el enfoque preferido para estimar las emisiones de HAPs. Si se usa, es frecuente que dé como resultado una sobreestimación de los HAPs. El enfoque se ilustra en la Figura 6-3.

En el modelado fotoquímico la especiación es necesaria debido a que las especies de hidrocarburos que se emiten tienen reactividades fotoquímicas diferentes. Las emisiones de hidrocarburos totales se calculan y después se especian en diferentes grupos de hidrocarburos. A fin de representar de manera adecuada las reacciones químicas que ocurren en la atmósfera, a cada grupo de especies se le asigna un nivel apropiado de reactividad fotoquímica.

Por último, la atribución de fuentes (o modelos de receptores) usando un balance químico de masa requiere una resolución de especies bastante detallada. La atribución de fuentes puede determinarse partiendo, al revés, de las concentraciones de GOT y de partículas medidas en un sitio de monitoreo usando cálculos computarizados de matrices de álgebra lineal. En este caso, la resolución de especies proporciona el contenido químico único (en general, de metales y de hidrocarburos) de las emisiones de cada tipo de fuente. Este contenido químico sirve como “huella digital” de la presencia de material de esa fuente en los datos de muestras ambientales en el receptor. Sin la resolución de especies, es imposible instrumentar esta aplicación. Se puede encontrar más información sobre la atribución de fuentes en algunos estudios recientes sobre el tema (Watson et al., 1984; Chow et al., 1992; Scheff et al., 1984).

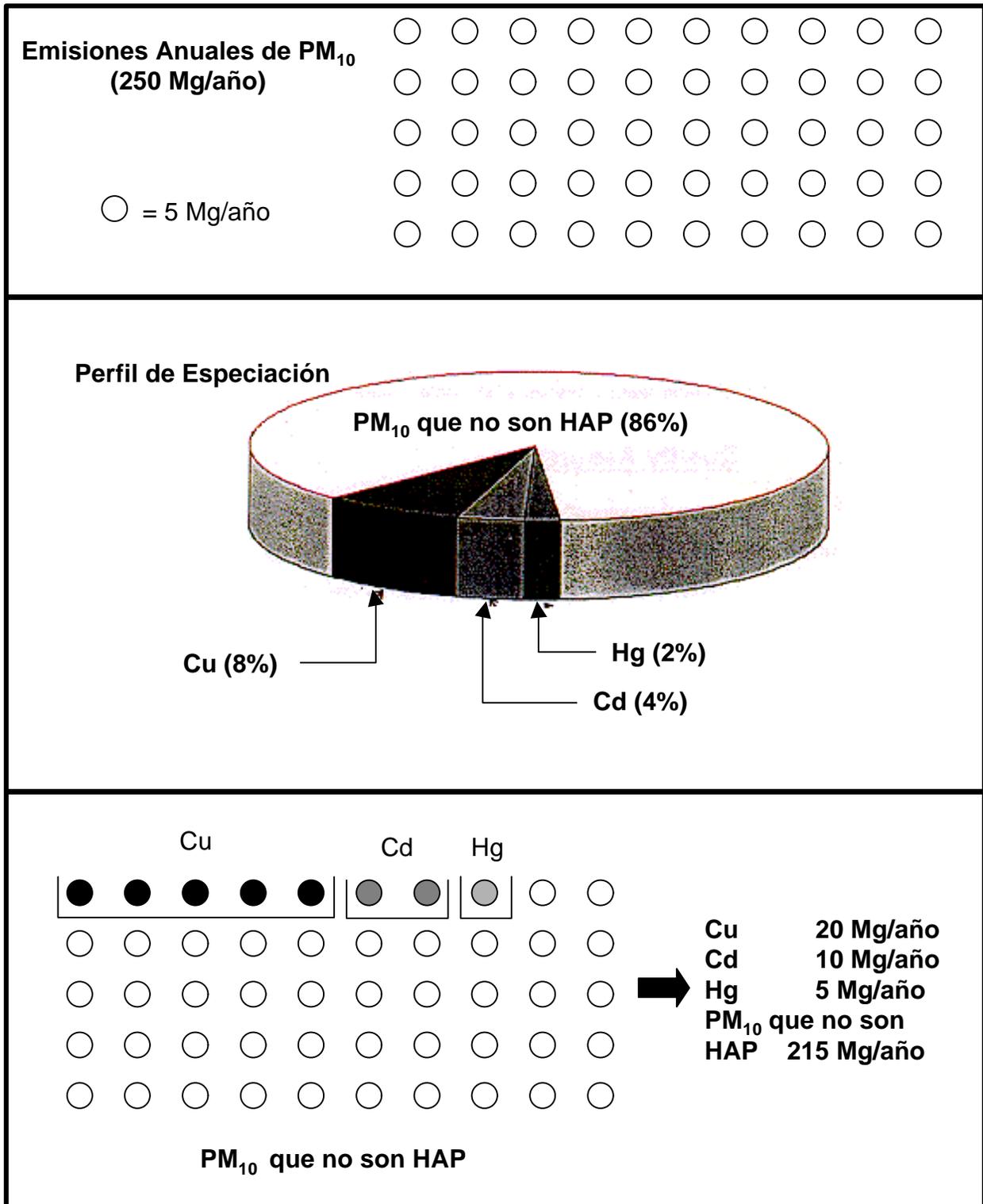


Figura 6-3. Especiación Hipotética de HAPs

6.5 Aseguramiento de la Calidad

El aseguramiento de la calidad (AC) es un elemento indispensable de cualquier inventario de emisiones. Sin importar el tipo de inventario de que se trate se necesita el AC. Sin embargo, la cantidad y enfoque del AC es variable y depende del propósito específico del inventario. Por ejemplo, un inventario detallado para modelado a gran escala por lo general requiere mucho más AC que un inventario de reporte a nivel planta. Además, si un tipo de fuente en particular ya ha sido identificado de manera preliminar como una gran fuente de contaminantes, se podrían dirigir más recursos de AC a este tipo de fuente que a otros que sean menores.

El AC debe llevarse a cabo durante todo el desarrollo del inventario y no como una ocurrencia de última hora. Algunos ejemplos de actividades de AC incluyen:

- El uso de una lista de verificación de las categorías de fuente (como la que se presenta en la Tabla 5-2) confirma que todas las categorías de fuente necesarias han sido incluidas en el inventario;
- Revisar los resultados de los muestreos y los datos de actividad buscando aquellos valores que estén fuera de lugar, antes de calcular las emisiones;
- Confirmar que todos los cálculos de emisión se han hecho de manera apropiada y
- Comparar los resultados del inventario con los de otros inventarios en regiones similares.

Hay también muchas otras actividades de AC no enlistadas anteriormente que pueden ayudar a garantizar un inventario de emisiones de alta calidad.

Aunque los resultados de un inventario pueden afectar la manera en que se lleve a cabo el AC durante el desarrollo del inventario, los recursos necesarios para el AC deben identificarse desde el principio. En la mayor medida posible, el tipo de AC (e. g., AC detallado

línea por línea o AC de alto nivel) y las áreas que requieren mayor concentración de AC deben designarse al comienzo del inventario.

6.6 Manejo de Datos

Otra característica esencial de un.. inventario de emisiones es el manejo de datos requerido. Con el uso tan extendido de las computadoras y con el aumento en los requerimientos de datos, en la actualidad virtualmente todos los datos de un inventario se manejan de manera electrónica. Se debe analizar si el manejo de datos se hace usando una aplicación de tipo hoja de cálculo o una de base de datos. Las primeras tienden a ser más fáciles de usar pero las bases de datos son mucho más poderosas. El método de transferencia de la información relativa al inventario y de cualquier requerimiento de confidencialidad de los datos también debe establecerse al principio del proceso de desarrollo del inventario. El propósito del inventario ayudará a determinar el tipo de manejo de datos requerido. Por ejemplo, un inventario usado alimentar un modelo de calidad del aire puede requerir un manejo de datos diferente al manejo de datos para un inventario diseñado para el cumplimiento regulatorio. Por lo demás, los usos esperados para el inventario en el futuro también pueden influir en el tipo de manejo de datos seleccionado.

6.7 Proyecciones

Las proyecciones predicen un inventario para un año base, hacia delante o hacia atrás en el tiempo. El uso de las proyecciones se determina principalmente por el propósito del inventario. En muchos inventarios no se desarrollan emisiones proyectadas. Las proyecciones se usan sobre todo para rastrear las tendencias pasadas y futuras de las emisiones debido al crecimiento de la actividad y a las estrategias de control instrumentadas. También se usan las proyecciones en los análisis teóricos de diversas estrategias de control propuestas para futura instrumentación. Por ejemplo, las proyecciones podrían usarse para estimar las futuras emisiones de los vehículos automotores con base en el crecimiento esperado de la población. De manera semejante, las proyecciones se pueden usar para rastrear la reducción estimada en las emisiones

debidas a la propuesta de introducción de pinturas reformuladas con menor contenido de solventes. Por lo general, las proyecciones de crecimiento de las emisiones se basan en las proyecciones de crecimiento de otros sustitutos (e. g., población, actividad económica, etc.). Las proyecciones de control, por otro lado, se basan a menudo en las reducciones estimadas por las estrategias de control. Las metodologías de proyección y los datos requeridos deben ser establecidos en las primeras etapas del proceso de desarrollo del inventario. La EPA ha publicado lineamientos relativos a la proyección de emisiones (U.S. EPA, 1991b).

6.8 Estimación de la Incertidumbre

La característica final de un inventario de emisiones es la estimación de la incertidumbre. Estas estimaciones constituyen una valiosa herramienta para evaluar la exactitud de un inventario de emisiones.

La incertidumbre puede estimarse cuantitativa o cualitativamente. Las estimaciones cuantitativas son poco frecuentes y existen varias razones. En primer lugar, no existe un método acordado para hacer estimaciones cuantitativas de la incertidumbre. Por otra parte, el cálculo de estimaciones cuantitativas de la incertidumbre puede ser un proceso muy complejo desde el punto de vista estadístico. Por último, a menudo se requiere un gran número de suposiciones para hacer estimaciones cuantitativas de la incertidumbre.

En general, cuando se hacen estimaciones de la incertidumbre éstas son de naturaleza mas bien cualitativa. Éstas pueden centrarse en las metodologías, en los datos de actividad, en los datos relacionados con las emisiones, en las suposiciones subyacentes o en otros componentes del desarrollo de inventarios. Por ejemplo, la suposición de que las emisiones de las operaciones de recubrimiento de superficies se limitan sólo a los solventes contenidos en el recubrimiento aplicado (sin considera los solventes de la preparación y/o de la limpieza de la superficie) ciertamente llevará a subestimar las emisiones de GOT en el inventario. De manera similar, la suposición de que todas las fuentes puntuales usan el mismo combustible y operan con el mismo calendario va a generar incertidumbre en el inventario, aunque no está claro si ésta

resultaría en una sobre o en una subestimación. Aunque en las estimaciones cualitativas no se calcula estadísticamente la incertidumbre de un inventario de emisiones son valiosas debido a que señalan las debilidades potenciales en el inventario.

7.0 ITERACIÓN DEL PROCESO DE INVENTARIO

Los pasos técnicos para desarrollar un inventario de emisiones se mostraron antes en la Figura 2-1. Estos pasos comienzan con la identificación del propósito del inventario y terminan con la documentación de sus resultados. Es importante señalar que aún si todos los pasos en la Figura 2-1 se instrumentan apropiadamente durante el desarrollo del inventario, esto simplemente representa una iteración del desarrollo del inventario de emisiones. Por lo general se requieren múltiples iteraciones para desarrollar inventarios de emisiones de alta calidad. Este concepto de iteración se representa por los rompecabezas de la Figura 7-1. Los primeros inventarios se caracterizarán por la información faltante y por otras imperfecciones, pero la calidad de los inventarios subsecuentes actualizados mejorará gradualmente.

La meta final es desarrollar un inventario de emisiones que sea completo, exacto y que contabilice las emisiones de contaminantes del aire y los datos asociados de las fuentes dentro de un área geográfica dada en un intervalo de tiempo específico. Sin embargo, las limitaciones prácticas hacen necesario un enfoque iterativo para alcanzar este objetivo. El desarrollo de un inventario, llevado en forma sistemática e iterativa a lo largo del tiempo, reducirá la cantidad de incertidumbre y mejorará la calidad global del inventario de emisiones.

Un inventario de emisiones debe ser completo, lo que quiere decir que deben incluirse todas las fuentes de los contaminantes identificados del inventario. La limitación en los recursos puede reducir el número de fuentes inventariadas a un subconjunto de las fuentes totales existentes. De manera semejante, algunas fuentes de emisiones pueden ser ignoradas o pasadas por alto durante el proceso inicial de inventario. Las revisiones subsecuentes se usan para incluir las fuentes faltantes.

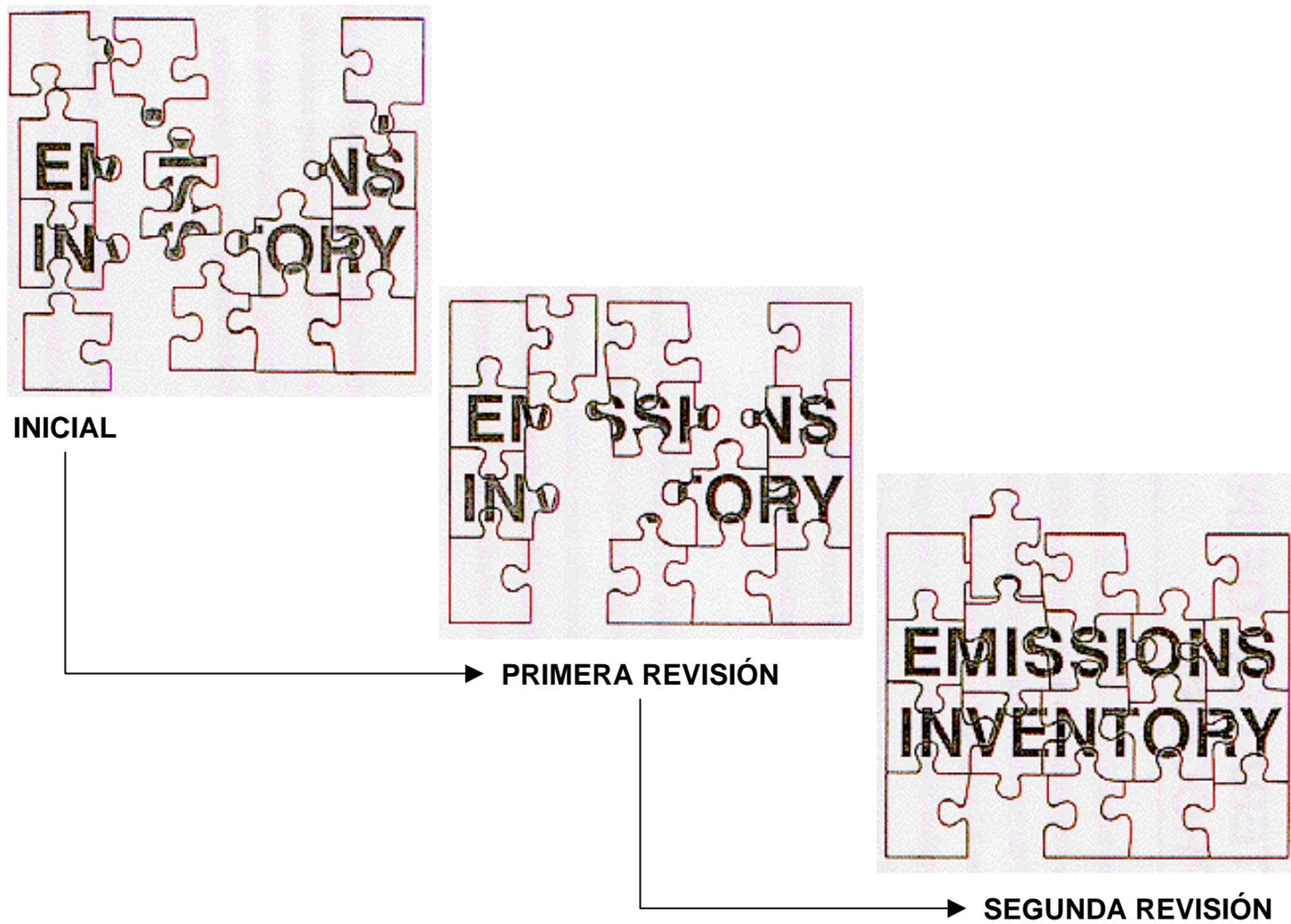


Figura 7-1. Iteraciones de un Inventario de Emisiones

En la mayor medida posible, un inventario de emisiones también debe ser exacto. Los datos incorrectos o las suposiciones demasiado simplistas introducirán inexactitudes en el inventario. Estas inexactitudes pueden ser corregidas en las iteraciones de inventarios posteriores con información más completa o mejorada.

Finalmente, un inventario de emisiones debe representar las emisiones actuales. Algunas aplicaciones del inventario se actualizan cada año y requieren información corriente para ese año específico. Estos inventarios se actualizarán anualmente para rastrear el incremento de emisiones debido al crecimiento en la actividad que las produce o la reducción debida a la instrumentación de diversas estrategias de control. Los datos y la información caducos deben ser actualizados en las iteraciones posteriores del inventario.

8.0 Referencias

AP-42, 1995. *Compilation of Air Pollution Emission Factors (AP-42) - Volume I: Stationary Point and Area Sources*, Fifth Edition. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Carolina. January.

ARB, 1996. *California Air Toxics Emission Factor (CATEF) Database*, Versión 1.2. California Air Resources Board, Sacramento, California. April.

CFR, 1997. U.S. EPA definition of VOC. 40 *Code of Federal Regulations* (CFR) 51.100(s). Latest amendment: Federal Register, Vol. 62, No. 164. August 25, 1997. pp. 44900 - 44903.

Chow, J.C., J.G. Watson, D.H. Lowenthal, P.A. Solmon, K.L. Magliano, S.D. Ziman, and L.W. Richards, 1992. "PM₁₀ Source Apportionment in California's San Joaquin Valley," *Atmospheric Environment* 26A:3335-3354.

De Soete, G., 1989. *Updated Evaluation of Nitrous Oxide Emissions from Industrial Fossil Fuel Combustion*. Reporte a la Comunicad Europea de Energía Atómica. Institute Francais du Petrole, Ref. 37-559.

EIIP, 1997. Emissions Inventory Improvement Program technical reports. Página electrónica - <http://www.epa.gov/ttn/chief/eiip/techrep.htm>.

Espinosa, M.E., V.H. Páramo y J. Sarmiento, 1996. *Mobile Sources Inventories in Mexico*, Paper 96-RA108A.02. Presentado en la 89° Reunión Anual de la Air & Waste Management Association, Nashville, Tennessee. Junio.

IPCC, 1993. *Preliminary IPCC National GHG Inventories: In-Depth Review, Part III*. Intergovernmental Panel on Climate Control. Presentado en el Taller de Trabajo de la IPCC/ODCE sobre los Inventarios Nacionales de GHG: Transparencia en la Estimación y el Reporte. The Hadley Centre, Bracknell, Reino Unido. Octubre 1.

Pierce, T.W., B.K. Lamb, and A.R. Van Meter, 1990. *Development of a Biogenic Emissions Inventory System for Regional Scale Air Pollution Models*, Paper 90094.3. Presentado en la 83° Reunión Anual de la Air & Waste Management Association, Pittsburgh, Pennsylvania, Junio 24-29.

Robinson, E., and R.C. Robbins, 1968. *Sources, Abundance, and Fate of Gaseous Atmospheric Pollutants*. Report SRI Project PR6755, Stanford Research Institute, Menlo Park, California, pp. 1-122.

Scheff, P.A., R.A. Wadden, D.M. Kenski, and J. Chang, 1984. *Receptor Model Evaluation of the SEMOS Ambient NMOC Measurements*, Paper 84-72.3. Presentado en la 77° Reunión Anual de la Air Pollution Control Association, San Francisco, California. Junio.

Seinfeld, J.H., 1986. *Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution*. John Wiley & Sons, Inc., New York.

U.S. EPA, 1991a. *Procedures for the Preparation of Emission Inventories for the Preparation of Emission Inventories for Carbon Monoxide and Precursors of Ozone. Volume I: General Guidance for Stationary Sources*. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Carolina. EPA-450/4-91-016.

U.S. EPA, 1991b. *Procedures for Preparing Emissions Projections*. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Carolina. EPA 450/4-91-019. Internet address - http://www.epa.gov/ttn/chief/ei_guide.html.

U.S. EPA, 1993. *Air Quality Criteria For NO_x, Volume I*, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina. EPA 600/8-91/049a, pp. 4-11 to 4-14.

U.S. EPA, 1995. *Factor Information Retrieval System (FIRE)*, Version 4.0. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Carolina. June.

Watson, J.G., J.A. Cooper, and J.J. Huntzicker, 1984. "The Effective Variance Weighting for Least Squares Calculations Applied to the Mass Balance Receptor Model," *Atmospheric Environment* 18:1347-1355.

WMO, 1992. *Scientific Assessment of Ozone Deletion: 1991*. WMO/UNEP, WMO Global Ozone Research and Monitoring Project, Report No. 25, Ginebra, Suiza.

APENDICE A

HIDROCARBUROS NO REACTIVOS

Compuestos Fotoquímicamente No Reactivos. U.S. EPA

Sustancia Química	Sinónimo
metano	
etano	
cloruro de metileno	diclorometano
1,1,1-tricloroetano	metilcloroformo
1,1,2-tricloro 1,2,2-trifluoroetano	CFC-113
triclorofluorometano	CFC-11
diclorodifluorometano	CFC-12
clorodifluorometano	HCFC-22
trifluorometano	HFC-23
1,2-dicloro 1,1,2,2-tetrafluoroetano	CFC-114
cloropentafluoroetano	CFC-115
1,1,1-trifluoro 2,2-dicloroetano	HCFC-123
1,1,1,2-tetrafluoroetano	HFC-134a
1,1-dicloro 1-fluoroetano	HCFC-141b
1-cloro 1,1-difluoroetano	HCFC-142b
2-cloro 1,1,1,2-tetrafluoroetano	HCFC-124
pentafluoroetano	HFC-125
1,1,2,2-tetrafluoroetano	HFC-134
1,1,1-trifluoroetano	HFC-143a
1,1-difluoroetano	HFC-152a
paraclorobenzotrifluoruro	PCBTF
Xiloxanos completamente metilados cíclicos, ramificados o lineales	
acetona	
percloroetileno	tetracloroetileno
3,3-dicloro-1,1,1,2,2-pentafluoropropano	HCFC-225ca
1,3-dicloro-1,1,2,2,3-pentafluoropropano	HCFC-225cb
1,1,1,2,3,4,4,5,5,5-decafluoropentano	HFC-43-10mee
difluorometano	HFC-32
etilfluoruro	HFC-161
1,1,1,3,3,3-hexafluoropropano	HFC-236fa
1,1,2,2,3-pentafluoropropano	HFC-245ca
1,1,2,3,3-pentafluoropropano	HFC-245ea
1,1,1,2,3-pentafluoropropano	HFC-245eb
1,1,1,3,3-pentafluoropropano	HFC-245fa
1,1,1,2,3,3-hexafluoropropano	HFC-236ea

Compuestos Fotoquímicamente No Reactivos. U.S. EPA (Continuación)

Sustancia Química	Sinónimo
1,1,1,3,3-pentafluorobutano	HFC-365mfc
clorofluorometano	HCFC-31
1-cloro 1-fluoroetano	HCFC-151a
1,2-dicloro 1,1,2-trifluoroetano	HCFC-123a
1,1,1,2,2,3,3,4,4-nonafluoro-4-metoxi-butano	C ₄ F ₉ OCH ₃
2-(etoxidifluorometil) 1,1,1,2,3,3,3-heptafluoropropano	(CF ₃) ₂ CF ₂ OCH ₃
1-etoxi 1,1,2,2,3,3,4,4,4-nonafluorobutano	C ₄ F ₉ OC ₂ H ₅
2-(etoxidifluorometil) 1,1,1,2,3,3,3-heptafluoropropano	(CF ₃) ₂ CF ₂ OC ₂ H ₅
compuestos perfluorocarburos que pertenezcan a estas clases:	
(i) alcanos completamente fluorados cíclicos, ramificados o lineales;	
(ii) Éteres completamente fluorados sin insaturaciones, cíclicos, ramificados o lineales;	
(iii) Aminas terciarias completamente fluoradas sin insaturaciones, cíclicas, ramificadas o lineales y	
(iv) Perfluorocarburos sin insaturaciones que contengan azufre y con enlaces azufre sólo a carbono y flúor.	

Fuente: Federal Register, Vol. 62, No. 164. Agosto 25, 1997. pp. 44900 – 44903.

APENDICE B

CONTAMINANTES PELIGROSOS DEL AIRE

**Listado Federal de los Estados Unidos de
Contaminantes Peligrosos del Aire
(Tomado de la Ley del Aire Limpio – Sección 112(b))**

Número CAS	Nombre Químico
75-07-0	Acetaldehído
60-35-5	Acetamida
75-05-8	Acetonitrilo
98-86-2	Acetofenona
53-96-3	2-Acetilaminofluoreno
107-02-8	Acroleína
79-06-1	Acrilamida
79-10-7	Acrílico, ácido
107-13-1	Acrilonitrilo
107-05-1	Alilo, cloruro
92-67-1	4-Aminobifenilo
62-53-3	Anilina
90-04-0	o-Anisidina
1332-21-4	Asbesto
71-43-2	Benceno (incluyendo el benceno de la gasolina)
92-87-5	Bencidina
98-07-7	Benzotricloruro
100-44-7	Bencilo, cloruro
92-52-4	Bifenilo
117-81-7	Bis(2-etihexil)ftalato (DEHP)
542-88-1	Bis(clorometil) éter
75-25-2	Bromoformo
106-99-0	1,3-Butadieno
156-62-7	Calcio, cinamida
105-60-2	Caprolactama
133-06-2	Captano
63-25-2	Carbarilo
75-15-0	Carbono, disulfuro
56-23-5	Carbono, tetracloruro
463-58-1	Carbonilo, sulfuro
120-80-9	Catecol

Listado Federal de los Estados Unidos de Contaminantes Peligrosos del Aire (Continuación)

Número CAS	Nombre Químico
133-90-4	Clorambeno
57-74-9	Clordano
7647-01-0	Clorhídrico, ácido (sólo gas)
7782-50-5	Cloro
79-11-8	Cloroacético, ácido
532-27-4	2-Cloroacetofenona
108-90-7	Clorobenceno
510-15-6	Clorobencilato
67-66-3	Cloroformo
107-30-2	Clorometil metil eter
126-99-8	Cloropreno
1319-77-3	Cresol / cresílico, ácido (mezcla de isómeros)
95-48-7	o-Cresol
108-39-4	m-Cresol
106-44-5	p-Cresol
98-82-8	Cumeno
94-75-7	2,4-D (incluyendo sales y ésteres)
72-55-9	DDE
334-88-3	Diazometano
132-64-9	Dibenzofurano
96-12-8	1,2-Dibromo-3-Cloropropano
84-74-2	Dibutilo, ftalato
106-46-7	1,4-Diclorobenceno
91-94-1	3,3'-Diclorobencidina
111-44-4	Dicloroetil éter (Bis[2-Cloroetil]éter)
542-75-6	1,3-Dicloropropeno
62-73-7	Diclorvos
111-42-2	Dietanolamina
121-69-7	N,N-Dimetilanilina
64-67-5	Dietilo, sulfato
119-90-4	3,3'-Dimetoxibencidina
60-11-7	4-Dimetilaminoazobenceno
119-93-7	3,3'-Dimetilbencidina
79-44-7	Dimetilcarbamoilo, cloruro
68-12-2	Dimetilformamida
57-14-7	1,1-Dimetilhidracina
131-11-3	Dimetilo, ftalato

Listado Federal de los Estados Unidos de Contaminantes Peligrosos del Aire (Continuación)

Número CAS	Nombre Químico
77-78-1	Dimetilo, sulfato
N/A	4,6-Dinitro-o-cresol (incluyendo sales)
51-28-5	2,4-Dinitrofenol
121-14-2	2,4-Dinitrotolueno
123-91-1	1,4-Dioxano (1,4-Dietileno, oxido)
122-66-7	1,2-Difenilhidracina
106-89-8	Epiclorohidrina (1-cloro-2,3-epoxipropano)
106-88-7	1,2-Epoxibutano
100-42-5	Estireno
96-09-3	Estireno, óxido
140-88-5	Etil acrilato
100-41-4	Etil benceno
51-79-6	Etil carbamato (Uretano)
75-00-3	Etil cloruro (Cloroetano)
106-93-4	Etileno, dibromuro (Dibromoetano)
107-06-2	Etileno, dicloruro (1,2-Dicloroetano)
107-21-1	Etilénglicol
151-56-4	Etilénimina (Aziridina)
75-21-8	Etileno, óxido
96-45-7	Etileno, tiourea
75-34-3	Etilideno, dicloruro (1,1-Dicloroetano)
106-50-3	p-Feniléndiamina
108-95-2	Fenol
7664-39-3	Fluorhídrico, ácido
50-00-0	Formaldehído
75-44-5	Fosgeno
7803-51-2	Fosfina
7723-14-0	Fósforo
85-44-9	Ftálico, anhídrido
76-44-8	Heptacloro
118-74-1	Hexaclorobenceno
87-68-3	Hexaclorobutadieno
77-47-4	Hexaclorociclopentadieno
67-72-1	Hexacloroetano
822-06-0	Hexametileno, diisocianato
680-31-9	Hexametilfósforamida
110-54-3	Hexano

Listado Federal de los Estados Unidos de Contaminantes Peligrosos del Aire (Continuación)

Número CAS	Nombre Químico
302-01-2	Hidracina
123-31-9	Hidroquinona
78-59-1	Isoforona
N/A	Lindano (todos los isómeros)
108-31-6	Maleico, anhídrido
67-56-1	Metanol
72-43-5	Metoxicloro
74-83-9	Metilo, bromuro (Bromometano)
71-55-6	Metil cloroformo (1,1,1-Tricloroetano)
74-87-3	Metil cloruro (Clorometano)
78-93-3	Metil etil cetona (2-Butanona)
60-34-4	Metil hidracina
108-10-1	Metil isobutil cetona (Hexona)
624-83-9	Metil isocianato
80-62-6	Metil metacrilato
1634-04-4	Metil ter-butil éter
74-88-4	Metilo, yoduro (Yodometano)
101-14-4	4,4'-Metilén bis (2-Cloroanilina)
75-09-2	Metileno, cloruro (Diclorometano)
101-68-8	4,4'-Metilén difenil diisocianato (MDI)
101-77-9	4,4'-Metiléndianilina
91-20-3	Naftaleno
98-95-3	Nitrobenceno
92-93-3	4-Nitrobifenilo
100-02-7	4-Nitrofenol
79-46-9	2-Nitropropano
684-93-5	N-Nitroso-N-metilurea
62-75-9	N-Nitrosodimetilamina
59-89-2	N-Nitrosomorfolina
56-38-2	Paratión
82-68-8	Pentacloronitrobenceno (Quintobenceno)
87-86-5	Pentaclorofenol
1336-36-3	Policlorados, bifenilos (Arocloros)
1120-71-4	1,3-Propano sultona
57-57-8	beta-Propiolactona
123-38-6	Propionaldehído
114-26-1	Propoxur (Baygon)

Listado Federal de los Estados Unidos de Contaminantes Peligrosos del Aire (Continuación)

Número CAS	Nombre Químico
78-87-5	Propileno, dicloruro (1,2-Dicloropropano)
75-56-9	Propileno, óxido
75-55-8	1,2-Propilénimina (2-Metilaziridina)
91-22-5	Quinoleína
106-51-4	Quinona (p-Benzoquinona)
1746-01-6	2,3,7,8-Tetraclorodibenzo-p-dioxina
79-34-5	1,1,2,2-Tetracloroetano
127-18-4	Tetracloroetileno (Percloroetileno)
7550-45-0	Titanio, tetracloruro
108-88-3	Tolueno
95-80-7	Toluén-2,4-diamina
584-84-9	2,4- Toluén diisocianato
95-53-4	o-Toluidina
8001-35-2	Toxafeno (camfeno clorado)
120-82-1	1,2,4-Triclorobenceno
79-00-5	1,1,2-Tricloroetano
79-01-6	Tricloroetileno
95-95-4	2,4,5-Triclorofenol
88-06-2	2,4,6-Triclorofenol
121-44-8	Trietilamina
1582-09-8	Trifluoralina
540-84-1	2,2,4-Trimetilpentano
108-05-4	Vinilo, acetato
593-60-2	Vinilo, bromuro
75-01-4	Vinilo, cloruro
75-35-4	Vinilideno, cloruro (1,1-Dicloroetileno)
1330-20-7	Xileno (mezcla de isómeros)
95-47-6	o-Xileno
108-38-3	m-Xileno
106-42-3	p-Xileno
N/A	Antimonio ^a , compuestos ^a
N/A	Arsénico, compuestos ^a (inorgánicos, incluyendo arsina)
N/A	Berilio, compuestos ^a
N/A	Cadmio, compuestos ^a
N/A	Cianuro, compuestos ^{a,b}
N/A	Cobalto, compuestos ^a
N/A	Coque, emisiones de hornos de

Listado Federal de los Estados Unidos de Contaminantes Peligrosos del Aire (Continuación)

Número CAS	Nombre Químico
N/A	Cromo, compuestos ^a
N/A	Fibras minerales finas ^d
N/A	Glicol éteres ^c
N/A	Manganeso, compuestos ^a
N/A	Materia Orgánica Policíclica ^e
N/A	Mercurio, compuestos ^a
N/A	Níquel, compuestos ^a
N/A	Plomo, compuestos ^a
N/A	Radionúclidos (incuyendo Radón) ^f
N/A	Selenio, compuestos ^a

^a Para todos los incisos anteriores que contienen la palabra "compuestos" y también para los glicol éteres es aplicable lo siguiente: a menos que se indique otra cosa, en estos listados se incluye cualquier sustancia química única que contenga al compuesto o elemento químico nombrado (i. e., antimonio, arsénico, etc.), como parte de la infraestructura de esa sustancia.

^b X'CN donde X = H' o cualquier otro grupo en el que pueda ocurrir una disociación formal. Por ejemplo, KCN ó Ca(CN)₂.

^c Incluye los mono y di-éteres de etilenglicol, de dietilenglicol y de trietilenglicol R-(OCH₂CH₂)_n-OR', donde:
 n = 1, 2 ó 3
 R = grupos alquilo ó arilo
 R' = R, H, o grupos que, cuando son removidos, producen éteres glicólicos con la estructura: R-(OCH₂CH₂)_n-OH.
 Los polímeros se excluyen de la categoría de glicoles.

^d Incluyen las emisiones de fibras minerales de plantas que manufacturan o procesan fibras de vidrio, de roca o de escoria (u otras fibras derivadas de minerales) de diámetro promedio igual o inferior a 1 micrómetro.

^e Incluye los hidrocarburos aromáticos policíclicos sustituidos y / o los no sustituidos y los compuestos aromáticos heterocíclicos con dos o más anillos fusionados de los cuales, uno al menos, tenga estructura bencenoide. La Materia Orgánica Policíclica es una mezcla de compuestos orgánicos que contienen uno o más de estos compuestos químicos aromáticos policíclicos. La Materia Orgánica Policíclica, por lo general, se forma o se emite durante algunos procesos térmicos entre los que están: (1) la combustión incompleta; (2) la pirólisis; (3) la volatilización, destilación o procesamiento de combustibles fósiles o bituminosos y (4) la destilación o procesamiento térmico de combustibles no fósiles.

^f Un tipo de átomo que de manera espontánea sufre descomposición radiactiva.