

DCN 97-670-017-05
RCN 670-017-51-02

MANUALES DEL PROGRAMA DE INVENTARIOS DE EMISIONES DE MEXICO

VOLUMEN V - DESARROLLO DE INVENTARIOS DE EMISIONES DE FUENTES DE AREA

FINAL

Elaborado para:

La Asociación de Gobernadores del Oeste
Denver, Colorado

y

El Comité Asesor Binacional

Elaborado por:

Radian International LLC
10389 Old Placerville Road
Sacramento, CA 95827

Marzo 31, 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.

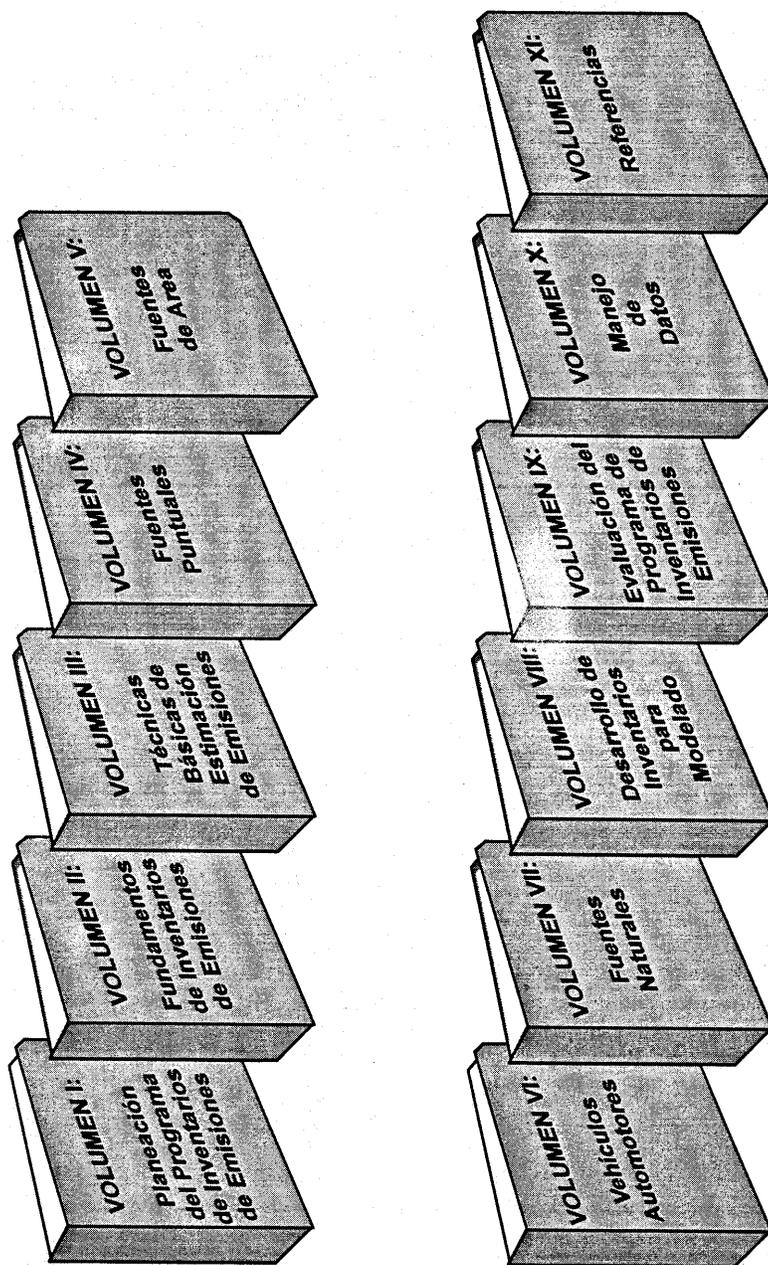


Figura 1. Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México

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.

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 Area (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
ACRONIMOS	xii
1.0 INTRODUCCION	1-1
2.0 PREPARACION DE UN INVENTARIO DE EMISIONES DE FUENTES DE AREA Y DE FUENTES MOVILES QUE NO CIRCULAN POR CARRETERA	2-1
2.1 Descripción de las Fuentes de Emisión	2-2
2.2 Planeación	2-4
2.3 Ajustes a los Estimados de Emisión	2-8
2.3.1 Ajustes de las Fuentes Puntuales	2-8
2.3.2 Ajustes en el Control de Emisiones	2-9
2.3.3 Ajustes Temporales	2-12
2.3.4 Ajuste para los Compuestos No Reactivos	2-16
2.4 Reporte de Estimados de Emisión y Codificación de Datos	2-18
2.5 Diferencias Geográficas y Causas de la Variabilidad	2-20
3.0 TECNICAS DE ESTIMACION DE EMISIONES RECOMENDADAS	3-1
4.0 COMBUSTION EN FUENTES ESTACIONARIAS	4-1
4.1 Combustión Industrial, Comercial e Institucional	4-2
4.2 Combustión Doméstica (Combustibles Comerciales)	4-9
4.3 Combustión Doméstica (Biomasa o Combustibles Derivados de Residuos)	4-16
5.0 Fuentes Móviles que no Circulan por Carreteras	5-1
5.1 Locomotoras	5-2
5.2 Embarcaciones Marítimas Comerciales	5-8
5.3 Aeronaves	5-20

5.4	Otro Equipo Móvil que no Circula por Carretera	5-68
5.5	Cruces Fronterizos	5-78
5.6	Terminales de Autobuses y Camiones	5-84
6.0	USO DE SOLVENTES	6-1
6.1	Recubrimiento de Superficies en la Industria	6-2
6.2	Pintado de Carrocerías	6-9
6.3	Recubrimiento de Superficies Arquitectónicas	6-11
6.4	Pintura de Tráfico	6-13
6.5	Limpieza de Superficies en la Industria (Desengrasado)	6-15
6.6	Limpieza en Seco	6-22
6.7	Artes Gráficas	6-27
6.8	Aplicación de Asfalto	6-31
6.9	Uso Comercial y Doméstico de Solventes	6-36
7.0	ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE DE DERIVADOS DEL PETROLEO	7-1
7.1	Distribución de Gasolina	7-2
7.2	Carga de Combustible en Aeronaves	7-16
7.3	Distribución de Gas Licuado de Petróleo	7-19
8.0	FUENTES INDUSTRIALES LIGERAS Y COMERCIALES	8-1
8.1	Panaderías	8-2
8.2	Ladrilleras	8-5
8.3	Actividades de Construcción	8-9
8.4	Asados al Carbón	8-13
8.5	Vendedores Ambulantes	8-17
9.0	AGRICULTURA	9-1
9.1	Aplicación de Pesticidas	9-2
9.2	Corrales de Engorda de Ganado Vacuno	9-7
9.3	Quema Agrícola	9-10
9.4	Aplicación de Fertilizantes	9-13
9.5	Residuos Animales	9-16
9.6	Labranza Agrícola	9-20

10.0	MANEJO DE RESIDUOS	10-1
10.1	Incineración en Sitio	10-2
10.2	Manejo de Residuos - Quema a Cielo Abierto	10-8
10.3	Tratamiento de Aguas Residuales	10-13
10.4	Aguas Negras y Aguas Residuales en Canales Abiertos	10-18
11.0	FUENTES DE AREA MISCELANEAS	11-1
11.1	Incendios Forestales	11-2
11.2	Incendios de Construcciones	11-9
11.3	Polvo de Caminos Pavimentados	10-12
11.4	Polvo de Caminos no Pavimentados	10-15
11.5	Erosión Eólica	10-19
11.6	Emisiones Domésticas de Amoniac	10-29
12.0	REFERENCIAS	12-1

APENDICE V-A: CODIGOS DE CATEGORIAS DE FUENTES DE AREA

APENDICE V-B: FACTORES DE EMISION DE PROCESOS DE COMBUSTION INDUSTRIALES, COMERCIALES E INSTITUCIONALES (TOMADOS DEL AP-42)

APENDICE V-C: DATOS DE ACTIVIDAD Y FACTORES DE EMISION PARA EQUIPO MOVIL QUE NO CIRCULA POR CARRETERAS

APENDICE V-D: DATOS DE MUESTREO DE CAMINOS PAVIMENTADOS (TOMADOS DEL AP-42)

FIGURAS Y TABLAS

Figuras	Pág.
1 Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México	iii
11.5-1 Efecto de la Extensión del Campo Sobre la Tasa de Emisión Relativa	11-27
11.5-2 Efecto de la Cubierta Vegetativa Sobre la Tasa de Emisión Relativa	11-28

Tablas	Pág.
2-1 Estados Incluidos en las Regiones de Interés Especial	2-6
2-2 Factores de Actividad Estacional para Fuentes de Area y Días por Semana para las Estaciones Pico de Ozono	2-14
3-1 Técnicas de Estimación de Emisiones Recomendadas por Categoría de Fuentes	3-4
4.3-1 Datos de Emisiones de CO, HCT, y NO para Diversos Combustibles de Madera Residual	4-19
5.3-1 Tipos de Aeronaves y Modelos de Motores	5-31
5.3-2 Fuentes Alternativas de Datos de Emisiones para Algunos Motores de Aeronaves	5-37
5.3-3 Tasas de Emisión para Modelo - Motores de Aeronaves Civiles	5-39
5.3-4 Tiempo en Modo por Omisión para Diversas Categorías de Aeronaves	5-67
5.4-1 Otras Categorías de Fuentes Móviles que No Circulan por Carreteras	5-70
7.1-1 Factores de Saturación (S) para Calcular las Pérdidas en la Carga de Derivados Líquidos de Petróleo	7-14
7.1-2 Propiedades (M_V y P_{VA}) de Derivados de Petróleo Líquidos Selectos	7-15
8.3-1 Resumen de las Tasas de Emisiones no Controladas de PM_{10} Estimadas para Sitios de Construcción	8-12

8.4-1 Factores de Emisión de Asados al Carbón 8-15

9.1-1 Factores de Emisiones no Controladas para los Ingredientes Activos de Pesticidas 9-4

10.1-1 Factores de Emisiones no Controladas para los Incineradores en Sitio Diferentes a los de Residuos Municipales 10-5

10.2-1 Factores de Emisión para la Quema a Cielo Abierto de Residuos Municipales 10-11

11.1-1 Consumo Total de Combustible, Factores de Emisión de PM_{2.5} y Estimaciones de la Eficiencia de Combustión para algunos Combustibles Representativos del Oeste de EU 11-:

11.1-2 Algoritmos de los Factores de Emisión 11-7

11.2-1 Contenido de Materiales Combustibles en Diferentes Areas Funcionales en EU 11-11

11.5-1 Factores de Erosionabilidad para Diversas Clases de Texturas de Suelo 11-28

11.5-2 Valores de K, L, y V Para Cultivos Comunes 11-29

11.6-1 Proporciones Típicas de Mascotas para Diversas Regiones 11-33

ACRONIMOS

AC	Aseguramiento de Calidad
ADT	average daily traffic (<i>tráfico diario promedio</i>)
ANAFAPYT	Asociación Nacional de Fabricantes de Pinturas y Tintas
ARB	Air Resources Board (<i>Consejo de Recursos del Aire</i>)
ASA	Aeropuertos y Servicios Auxiliares
Btu	British thermal unit (<i>Unidad Térmica Británica</i>)
CANACINTRA	Cámara Nacional de la Industria de la Transformación
CANALAVA	Cámara Nacional de la Industria de Lavanderías
CC	Control de Calidad
CE-CERT	College of Engineering - Center for Environmental Research and Technology (<i>Colegio de Ingeniería - Centro de Investigación y Tecnología Ambiental</i>)
CFC	Clorofluorocarbono
CICA	Centro de Información sobre Contaminación del Aire
CICOPLAFEST	Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de los Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas
cm	Centímetro
CO	monóxido de carbono
COV	Compuesto orgánico volátil
CH ₄	metano
DBO	Demanda Biológica de Oxígeno
DDF	Departamento del Distrito Federal
DQO	Data Quality Objective (<i>Objetivo de Calidad de los Datos</i>)
EC	Eficiencia de control
EET	técnicas de estimación de emisiones
EIIP	Emission Inventory Improvement Program (<i>Programa para el Mejoramiento de los Inventarios de Emisión</i>)
ER	Efectividad de la regla
EU	Estados Unidos
FAA	Federal Aviation Administration (<i>Administración Federal de Aviación</i>)

FAEED	Federal Aircraft Engine Emission Database (<i>Base de Datos Federal de Emisiones de Motores de Aeronaves</i>)
FE	factor de emisión
FNM	Ferrocarriles Nacionales de México
g	gramo
Gas LP	Gas Licuado de Petróleo
GEM	Gobierno del Estado de México
GOR	Gas orgánico reactivo
GOT	Gas orgánico total
gr	grano
ha	hectárea
HC	hidrocarbano
HCFC	hidrofluorocarbano
HCT	hidrocarburos totales
HDDV	heavy duty diesel vehicles (<i>vehículos pesados a diesel</i>)
HDGV	heavy duty gasoline vehicles (<i>vehículos pesados a gasolina</i>)
hp	caballo de fuerza
hr	hora
IC	combustión Interna
IMP	Instituto Mexicano del Petróleo
INE	Instituto Nacional de Ecología
INEGI	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
kcal	kilocaloría
kg	kilogramo
km	kilómetro
kph	kilómetros por hora
lb	libra
LDDT	light duty diesel trucks (<i>camiones ligeros a diesel</i>)
LDDV	light duty diesel vehicles (<i>vehículos ligeros a gasolina</i>)
LDGT	light duty gasoline trucks (<i>camiones ligeros a gasolina</i>)
LDGV	light duty gasoline vehicles (<i>vehículos ligeros a gasolina</i>)
AD	Aterrizaje y despegue
m ³	metro cúbico
MC	motocicleta

Mg	megagramo (i.e., 10^6 g = 1 tonelada métrica)
mg	miligramo
mm	milímetro
mm Hg	milímetros de mercurio
mol	mole
mph	millas por hora
ND	No Disponible
NFDR	National Fire Danger Rating (<i>Clasificación Nacional del Peligro de Incendio</i>)
NH ₃	Amoniaco
NMHC	non-methane hydrocarbons (<i>hidrocarburos no metano</i>)
NO	Monóxido de nitrógeno (óxido nítrico)
NO ₂	Dióxido de nitrógeno
NO _x	Oxidos de nitrógeno
N-P-K	Nitrógeno-Fósforo-Potasio
O ₂	Oxígeno
PEMEX	Petróleos Mexicanos
PM	Material Particulado (partículas)
PM ₁₀	Partículas de diámetro inferior o igual a 10 micrómetros
PM _{2.5}	Partículas de diámetro inferior o igual a 2.5 micrómetros
POTW _s	publicly owned treatment works (<i>Obras de Tratamiento de Propiedad Pública</i>)
ppmw	partes por millón en peso
PRRP	Penetración de la regla
psi	libras por pulgada cuadrada
psia	libras por pulgada cuadrada absoluta
RVP	Presión de vapor Reid
S	Factor de saturación
S	Azufre
SAF	Seasonal Adjustment Factor (<i>Factor de Ajuste Estacional</i>)
SAF	Sociedad de Silvicultores Americanos
SAGAR	Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural
SCAQMD	South Coast Air Quality Management District (<i>Distrito para el Manejo de la Calidad del Aire de la Costa Sur</i>)

SCERP	Southwest Center for Environmental Research and Policy (<i>Centro del Suroeste para la Investigación y Política Ambiental</i>)
SEMARNAP	Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca
SIG	Sistema de Información Geográfica
SIMS	Surface Impoundment Modeling System (<i>Sistema de Modelado de Estanques Superficiales</i>)
SNIFF	Sistema Nacional de Información de Fuentes Fijas
SO ₂	Dióxido de azufre
SO _x	Oxidos de azufre
SRM	Society for Range Management (<i>Sociedad de Manejo de Praderas</i>)
TIM	Tiempo en Modo
TOC	Compuestos orgánicos totales
ton	Tonelada inglesa (i.e., 2,000 lb)
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
US EPA	United States Environmental Protection Agency (<i>Agencia de Protección Ambiental de EU</i>)
USDA	United States Department of Agriculture (<i>Departamento de Agricultura de EU</i>)
VKT	Kilómetros recorridos por vehículo
vol	Volumen
wt	Peso
yr	Año
ZFN	Zona Fronteriza Norte
ZMCM	Zona Metropolitana de la Ciudad de México
ZMG	Zona Metropolitana de Guadalajara
ZMM	Zona Metropolitana de Monterrey
ZMVM	Zona Metropolitana del Valle de México

1.0 INTRODUCCION

Este manual proporciona una guía para el desarrollo de un inventario de emisiones de fuentes de área y de fuentes móviles que no circulan por carreteras (en lo sucesivo denominadas colectivamente “fuentes de área”). La guía abarca los métodos de inventario, incluyendo las fuentes de datos de actividad y factores de emisión aplicables. Se presenta información general sobre las fuentes de área y las móviles que no circulan por carretera, seguida por una tabla de referencia cruzada que asocia cada categoría de fuente con una o más de las técnicas básicas de estimación de emisiones (TEEs) contenidas en el Volumen III de esta serie de documentos. El *Manual de TEEs Básicas* explica y discute cada una de las técnicas básicas y presenta ejemplos de los cálculos para ilustrar su instrumentación.

Las fuentes de área representan las emisiones de fuentes que son demasiado numerosas y dispersas para ser incluidas de manera eficiente dentro de un inventario de fuentes puntuales. En conjunto, sin embargo, las fuentes de área son emisores significativos de contaminantes al aire, y dichos contaminantes deben ser incluidos en un inventario de emisiones para garantizar que esté completo. Las fuentes móviles que no circulan por carreteras son incluidas con las fuentes estacionarias de área, debido principalmente a que los métodos utilizados para estimar sus emisiones son muy similares a los aplicados para fuentes estacionarias de área. Por otro lado, la metodología de inventario utilizada para vehículos automotores es diferente de manera significativa, lo que amerita su presentación en un manual independiente.

Por definición, en consecuencia, las fuentes de área en general son pequeñas y numerosas. Por ejemplo, las gasolineras y establecimientos de lavado en seco a menudo son tratados como fuentes de área. Dichas instalaciones no son típicamente incluidas en los inventarios de fuentes puntuales debido al enorme esfuerzo que sería requerido para recopilar los datos y estimar las emisiones de cada establecimiento individual. Una manera de definir las fuentes de área se basa en un nivel de emisión de un contaminante determinado en un establecimiento individual (e. g., en EU, si las emisiones de hidrocarburos *a nivel de establecimiento* para un contaminante determinado son menores a 10 toneladas anuales, o menores a 100 toneladas anuales de óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), o dióxido de azufre (SO₂), dicho establecimiento es considerado como fuente de área). El uso final del inventario, la precisión deseada en las emisiones y los recursos disponibles para el desarrollo del inventario, son factores que pueden determinar el punto de corte entre las fuentes puntuales y de área. Si el punto de corte es demasiado alto, muchos establecimientos no serán considerados individualmente como fuentes puntuales, y sus emisiones serán omitidas, o bien, sus emisiones podrían ser estimadas con menor precisión. Si el punto de corte es demasiado bajo, los recursos necesarios para contactar a las plantas y el tamaño de la base de datos de las fuentes puntuales se incrementarán de manera significativa.

Más que distinguir entre los establecimientos individuales y los equipos emisores, que es el método aplicado en un inventario de fuentes puntuales, los inventarios de fuentes de área colocan a las emisiones de fuentes similares dentro de *categorías*. Un inventario de fuentes de área, en general, consiste de las siguientes y amplias categorías:

- Combustión en fuente estacionaria (e. g., combustión doméstica)
- Fuentes móviles que no circulan por carreteras (e. g., trenes y equipo móvil)
- Uso de solventes (e. g., pequeñas operaciones de recubrimiento de superficies)
- Almacenamiento, transporte y distribución de productos (e. g., gasolina)
- Fuentes industriales ligeras y comerciales.
- Agricultura (e. g., corrales de engorda, quema agrícola)
- Manejo de residuos (e. g., rellenos sanitarios)

- Fuentes de área misceláneas (e. g., incendios forestales, erosión eólica, caminos no pavimentados).

Cada una de estas categorías está integrada por subcategorías de fuente más específicas (e. g., el uso de solventes orgánicos incluye el uso comercial y doméstico, el lavado en seco y el lavado de superficies), que son definidas por un proceso de emisión similar, o bien por la similitud de los métodos para una mejor estimación de las emisiones. Un extenso inventario de fuentes de área puede contener 150 o más categorías de fuentes individuales. Por ejemplo, la limpieza en seco típicamente está representada por dos o más categorías de fuente para abarcar los diferentes solventes que son utilizados (i. e., percloroetileno vs. los solventes con base de petróleo).

Desde la perspectiva de una estimación de emisiones, las categorías de fuentes de área pueden ser organizadas en los siguientes cuatro grupos:

Operaciones Primarias de Manufactura. Los establecimientos de manufactura que son demasiado pequeños para ser incluidos en el inventario de fuentes puntuales (e. g., tortillerías o ladrilleras) pueden ser inventariados como fuentes de área a través de la aplicación de una encuesta a un subconjunto de estos establecimientos y la extrapolación de los resultados a toda la industria, con base en algún factor que se asuma asociado con las emisiones (e. g., número de empleados, magnitud de producción, etc.).

Operaciones Clave de Proceso. Otra categoría de fuentes de área está integrada por las operaciones de proceso que son manejadas como un grupo sin intención de identificar el tipo de establecimiento y los productos manufacturados. El desengrasado industrial es un ejemplo de este tipo de categoría. Estas emisiones resultan del solvente utilizado en las tinas, el asperjado y limpieza de matrices, u otras operaciones en una amplia variedad de establecimientos, que harían impráctica la identificación del uso del desengrasado por sector industrial.

Actividades Humanas No Industriales. El siguiente grupo de categorías de área incluye las emisiones que se presentan sobre extensas regiones geográficas y que son resultado de alguna forma de actividad humana. Dos ejemplos incluyen el uso de pesticidas, y la aplicación comercial o doméstica de solventes.

Fuentes Móviles que No Circulan Por Carretera. Estas constituyen el último tipo de fuente. En general, son definidas por tener motores de combustión interna y ser móviles, pero no contar con licencias típicas para ser operadas en caminos públicos. Las categorías más evidentes de fuentes móviles que no circulan por carretera son las aeronaves, locomotoras y embarcaciones marítimas comerciales; otras incluyen al equipo agrícola, de construcción y recreativo, por ejemplo, tractores, motoconformadoras y botes.

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

- La sección 2.0 presenta una guía para elaborar un inventario de fuentes de área, incluyendo las descripciones de fuentes de emisión y técnicas de estimación de emisiones
- La Sección 3.0 presenta la tabla de referencia para fuentes de área y fuentes móviles que no circulan por carreteras, relacionando los métodos de estimación de emisiones discutidos en el Volumen III de la serie, *Técnicas Básicas de Estimación de Emisiones*, con las categorías específicas de fuentes de área

- Las secciones 4.0 a 11.0 presentan cada categoría fuentes de área y de fuentes móviles que no circulan por carreteras, incluyendo una descripción de la categoría, los factores de emisión disponibles, una guía sobre las fuentes de datos de actividades potenciales, y un ejemplo de cálculos.

Las diferentes categorías de fuentes de área y móviles que no circulan por carreteras están estructuradas de la siguiente manera:

- Sección 4.0 - Fuentes Estacionarias de Combustión
- Sección 5.0 - Fuentes Móviles que No Circulan por Carreteras
- Sección 6.0 - Uso de Solventes
- Sección 7.0 - Almacenamiento y Transporte de Productos
- Sección 8.0 - Fuentes Industriales Ligeras y Comerciales
- Sección 9.0 - Agricultura
- Sección 10.0 - Manejo de Residuos,
- Sección 11.0 - Fuentes de Area Misceláneas.

- La Sección 12.0 contiene las referencias citadas en este volumen.

NOTA: Los datos de actividad (e. g., población, combustible quemado, solvente utilizado, superficie, etc.), en general, son **valores hipotéticos** que fueron específicamente desarrollados para los ejemplos de cálculos. Estos valores deben ser reemplazados por los datos específicos de la región para el desarrollo de un inventario de emisiones de área.

Este manual presenta los métodos más recientes recomendados para la estimación de emisiones para fuentes de área en México. Para marzo de 1997, estos métodos son los más adecuados para ser utilizados en este país. Sin embargo, se espera que este documento evolucione en el futuro. En la medida en que nuevos datos y factores de emisión específicos sean desarrollados para México, se deberá reemplazar a la información actualmente contenida en este manual.

2.0 PREPARACION DE UN INVENTARIO DE EMISIONES DE FUENTES DE AREA Y DE FUENTES MOVILES QUE NO CIRCULAN POR CARRETERA

Esta sección presenta algunos otros conceptos relacionados con el desarrollo de un inventario de fuentes de área y móviles que no circulan por carretera (en lo sucesivo denominadas colectivamente “fuentes de área”). El *Manual de TEEs Básicas* debe ser consultado para obtener una guía adicional sobre el desarrollo de un inventario. En esta sección se describen brevemente las fuentes de emisión de área; se presentan aspectos de planeación y de aseguramiento y control de calidad; se discuten las técnicas de estimación de emisiones (TEEs), y se explican e ilustran las necesidades de ajuste para los estimados de emisión. Finalmente, se analizan los procedimientos de reporte y codificación de datos, las diferencias geográficas y las causas de la variabilidad en los estimados de emisiones.

2.1 Descripción de las Fuentes de Emisión

Para propósitos de discusión, las fuentes de área pueden ser organizadas de manera lógica dentro de las siguientes categorías generales:

- Fuentes Estacionarias de Quemado de Combustible
- Fuentes Móviles que No Circulan por Carreteras
- Uso de Solventes
- Almacenamiento y Transporte de Productos
- Fuentes Industriales Ligeras y Comerciales

- Agricultura
- Manejo de Residuos,
- Fuentes de Area Misceláneas.

Las emisiones de cada una de estas fuentes se presentan en una gran variedad de formas. El quemado de combustible puede ocurrir en una caldera, chimenea, motor de combustión interna, o bien en fuentes móviles que no circulan por carretera (e. g., ferrocarriles, embarcaciones o aeronaves). Las emisiones del uso de solventes se generan por evaporación, y pueden ser reducidas evitando la evaporación o disminuyendo la cantidad de solvente usado. En general, las emisiones del almacenamiento y transporte de productos se generan por evaporación (e. g., distribución de gasolina, fugas de gas licuado [LP]). Las emisiones de los procesos de la industria ligera o el comercio se originan por combustión (e. g., fabricación de ladrillos), perturbaciones mecánicas (e. g., construcción), o procesos biológicos (e. g., panificación). Las emisiones agrícolas provienen de la combustión (e. g., quema de residuos de la cosecha previa), evaporación (e. g. aplicación de pesticidas); perturbaciones mecánicas (arado) y procesos biológicos (residuos animales). Las emisiones del manejo de residuos son ocasionadas por la evaporación (establecimientos de tratamiento de propiedad pública [POTWs, por sus siglas en inglés]) y combustión (e. g., incineración). Las emisiones de fuentes de área misceláneas se generan de la combustión (e. g., incendios forestales, incendios estructurales),

perturbaciones mecánicas (e. g., polvo de caminos no pavimentados), y procesos biológicos (e. g., amoniaco [NH₃] de las actividades ganaderas).

Una lista completa de las categorías de fuente se encuentra en la Sección 3.0 de este manual; mientras que la información específica relacionada con cada categoría de fuente se presenta de la Sección 4.0 a la 11.0.

2.2 Planeación

Una planeación exhaustiva al inicio del proceso es esencial para el desarrollo de un inventario de alta calidad. El alcance de esta actividad se define en la fase de planeación, e incluye la identificación de los siguientes aspectos:

- Usos finales del inventario
- Contaminantes a ser incluidos
- Límites geográficos de la región del inventario
- Fuentes de área y fuentes móviles que no circulan por carretera presentes en la región del inventario
- Fuentes de área y fuentes móviles que no circulan por carretera a ser incluidas en el inventario
- TEEs que serán aplicadas para cada categoría de fuente, incluyendo cualesquier ajustes que deban realizarse.

Estos aspectos del alcance deben ser documentados claramente antes de iniciar cualquier actividad sobre la estimación de emisiones. **El documento que contiene esta información se denomina “plan de trabajo del inventario”.**

El propósito y uso que se pretende dar a un inventario son utilizados para determinar los objetivos de calidad de los datos (OCDs), así como los objetivos de control y aseguramiento de calidad (CC/AC). Los OCDs son postulados sobre el nivel de incertidumbre que un responsable de la toma de decisiones está dispuesto a aceptar. Estos aseguran que el inventario final será adecuado para el uso que se le pretende dar. Dichos postulados deben identificar el uso final o el propósito de los datos, y el nivel de incertidumbre anticipado en los estimados de emisión. Los OCDs hipotéticos para un inventario de fuentes de área puede incluir los objetivos con respecto al grado en que los datos estarán completos (e. g., “incluir

todas las fuentes cuya contribución se considera superior a 30,000 kg/año”); objetivos de precisión (e. g., “reducir la incertidumbre de las tres fuentes principales efectuando encuestas para actualizar los datos de emisión”); y factores del grado de comparación (e. g., “el inventario debe incluir todas las fuentes de inventarios previos, y ser elaborado utilizando métodos comparables”).

Los contaminantes a ser incluidos dependen del uso final y propósito del inventario. Por ejemplo, en un inventario de emisiones de área generadoras de ozono, los compuestos orgánicos volátiles (COVs) reactivos, el monóxido de carbono (CO) y NO_x deben ser incluidos. Por otro lado, un inventario que será utilizado en un estudio de visibilidad, debe incluir contaminantes adicionales tales como los óxidos de azufre (SO_x) y los particulados finos ($\text{PM}_{2.5}$).

La región geográfica que será cubierta por el inventario también depende de su uso final. Típicamente, un inventario abarcará un área discreta que tiene un problema común de contaminación del aire y/o una entidad normativa. Un inventario puede ser desarrollado para todo el país, un estado individual, una zona metropolitana o un municipio. Por ejemplo, la clasificación de regiones hecha en 1991 por el Instituto Nacional de Ecología (INE), podría ser utilizada para definir los límites geográficos para el desarrollo del inventario (ver Tabla 2-1). Estas seis regiones fueron establecidas por el INE con base en su calidad del aire, y tienen características ambientales, vegetales y climáticas diferentes.

Tabla 2-1

Estados Incluidos en las Regiones de Interés Especial

REGION I	REGION II	REGION III	REGION IV	REGION V	REGION VI
Baja California	Aguascalientes	Nuevo León	Colima	Distrito Federal	Campeche
Baja California Sur	Chihuahua	San Luis Potosí	Guanajuato	Hidalgo	Chiapas
Nayarit	Coahuila	Tamaulipas	Guerrero	México	Oaxaca
Sinaloa	Durango		Jalisco	Morelos	Quintana Roo
Sonora	Zacatecas		Michoacán	Puebla	Tabasco
				Querétaro	Veracruz
				Tlaxcala	Yucatán

Algunos ejemplos de las regiones geográficas cubiertas en un inventario incluyen un estudio de medidas para el control de la contaminación del aire para la Zona Metropolitana de Monterrey (Radian International, 1996). Esta área abarca la ciudad de Monterrey y los municipios de Juárez, San Pedro, Santa Catarina, San Nicolás, Guadalupe, Apodaca y Escobedo. El Departamento del Distrito Federal (DDF) ha elaborado inventarios anuales para los COVs reactivos, NO_x y CO para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) (DDF, 1995a; DDF, 1996a).

Para determinar las fuentes de área en la región del inventario, una extensa lista de categorías puede ser compilada a partir de la información que se presenta en la Sección 3.0 de este manual.

Algunas de las categorías que pueden ser incluidas en un inventario de fuentes de área corresponden a las emisiones de los pequeños establecimientos industriales. Los datos publicados por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) o la Cámara Nacional de la Industria de la Transformación (CANACINTRA), pueden ser utilizados para determinar el alcance de estos pequeños establecimientos en una región geográfica. Por ejemplo, el INEGI brinda información sobre la distribución geográfica de las principales industrias manufactureras por estado y valor de manufactura agregado, así como el número de empleados por estado y sector industrial para algunas

industrias. Por su parte, la CANACINTRA también publica datos sobre los establecimientos industriales.

Las fuentes a ser incluidas en el inventario deben ser jerarquizadas con base en su importancia para éste. Los recursos deben asignarse preferentemente a las fuentes que son más importantes para satisfacer los usos finales del inventario. Las fuentes de alta prioridad incluyen aquellas que se sabe son contribuyentes significativos a la contaminación del aire, son fuentes conocidas de los contaminantes seleccionados específicos (e. g., PM_{10}); o tienen un potencial importante para afectar la calidad del aire.

La Sección 3.0 presenta las TEEs para cada categoría de fuentes de área. La selección de la TEE adecuada para cada categoría de fuentes de área también implica la identificación de las entidades, tales como Pemex o Ferrocarriles Nacionales de México (FNM), que deberán ser contactadas para obtener la información y datos de actividad. En el proceso de planeación, también se deben identificar las actividades puntuales, móviles, de área y biogénicas complementarias del inventario. La coordinación entre estas actividades es necesaria para asegurar que el inventario esté completo, y que los datos requeridos sean transferidos de un grupo a otro. Por ejemplo, con frecuencia, los datos de fuentes puntuales son necesarios para hacer los ajustes en los estimados de emisión para algunas categorías de fuentes de área.

Los parámetros de control y aseguramiento de la calidad (CC/AC) también deben ser definidos antes de calcular cualesquier emisiones de fuentes de área. Un buen programa de CC/AC asegurará que la recopilación y manejo de los datos, la estimación de emisiones, el reporte de emisiones y los procedimientos para el manejo de la documentación sean cuidadosamente planeados y ejecutados. Un plan de AC debe formar parte del plan de trabajo del inventario para especificar todas las actividades de CC/AC que deberán realizarse.

2.3 Ajustes a los Estimados de Emisión

Es probable que durante la elaboración de estimados de emisión de fuentes de área, o después de que los estimados iniciales han sido elaborados, los valores necesiten ser ajustados para evitar ser duplicados en el inventario de fuentes puntuales; para compensar los controles que estén instalados en algunos procesos; para presentar las emisiones en una base diaria o estaciona, más que anual; o para ajustar las emisiones de compuestos orgánicos totales (COT) si en el inventario sólo se requieren COVs reactivos. **En general, los ajustes deben hacerse a los datos de actividad de fuente de área o a los factores de emisión previo al cálculo, más que en los estimados de emisión mismos.** A continuación se describen los métodos utilizados para hacer estos ajustes.

2.3.1 Ajustes de las Fuentes Puntuales

Cuando un inventario de fuentes puntuales y un inventario de fuentes de área incluyen emisiones del mismo proceso, existe la posibilidad de duplicar dichas emisiones. En estos casos, el estimado de emisión de la fuente de área debe ser ajustado. Ciertas categorías de fuentes de área, tales como el uso comercial y doméstico de solventes, y el recubrimiento de superficies arquitectónicas no requieren ningún ajuste de fuente puntual. Otras, como el quemado de combustible, los procesos industriales y la utilización de solventes pueden compartir procesos con las fuentes puntuales. **Para evitar la duplicación, la actividad de la fuente puntual es restada de la actividad total para la categoría de fuente.** El estimado de emisiones de fuentes de área se muestra en la siguiente ecuación:

$$\text{Actividad de Fuente de Area} = \text{Actividad Total de la Categoría de Fuente} - \text{Suma de la Actividad de Fuentes Puntuales} \quad (2-1)$$

Por ejemplo, si las emisiones de fuentes de área son calculadas utilizando el empleo, el número de empleos en las fuentes puntuales debe restarse del inventario regional de empleo, para arrojar el empleo de las fuentes de área. Si la actividad de fuentes de área resultante es menor que cero,

los datos de fuentes puntuales deben ser revisados, y cualesquier errores encontrados, deben corregirse. Si, después de esto la actividad de fuentes sigue siendo menor que cero, se asume que la actividad de fuentes de área es igual a cero, con emisiones generadas solamente en fuentes puntuales.

En algunas ocasiones, el ajuste a las fuentes puntuales se hace restando las emisiones de las fuentes puntuales a las emisiones de fuentes totales, si bien esto debe utilizarse como último recurso. Si este método fuera aplicado, es necesario asegurarse de utilizar emisiones no controladas (de las fuentes totales y puntuales). Cualesquier ajustes de control de emisiones necesario para las fuentes de área deben hacerse antes del ajuste de fuentes puntuales.

2.3.2 Ajustes en el Control de Emisiones

1.0.2 Emission Control Adjustments

Los controles de fuentes de área son menos comunes que los de fuentes puntuales; sin embargo, cuando se presentan, deben ser incorporados dentro del cálculo de emisiones.

Los tipos de controles utilizados para las fuentes de área incluyen:

prohibiciones, sustitución de productos y cambio en las prácticas laborales, así como equipos en línea para el control de emisiones. Los ejemplos de prohibición de actividades como método de control de emisiones incluyen la quema agrícola, la quema al aire libre y la emisión de drenajes abiertos. El uso de sustitución de productos para controlar las emisiones es particularmente efectivo cuando los recubrimientos con base de solvente son reemplazados por recubrimientos con base de agua. El cambio en las prácticas laborales es una manera efectiva de prevenir la evaporación de solventes; algunos ejemplos incluyen el requerimiento de que las unidades de desengrasado tengan tapas, y que se mantengan tapados cuando no estén en uso; que los trapos impregnados con solvente se mantengan en contenedores cerrados; y que los talleres automotrices utilicen pistolas limpiadoras con unidades de solvente de reserva anexos. El uso de equipos de control incorporados es menos común en las fuentes de área que en las puntuales. Sin embargo, las emisiones de algunas fuentes de área podrían ser fácilmente reducidas utilizando equipos de control. Los ejemplos incluyen las actividades de distribución de gasolina y los rellenos sanitarios.

Los parámetros de eficiencia del control (EC), eficacia de la regla (ER) y penetración de la regla (PR) son aplicados a una estimación de emisiones de fuentes de área si las regulaciones que afectan a cualquiera de las fuentes individuales dentro de la categoría están vigentes. **Las fuentes que no están controladas (no reguladas) carecen de EC, ER o RP aplicable.**

La EC es la eficiencia para la reducción de emisiones, y es un porcentaje que representa la cantidad de las emisiones de la categoría de fuente que es controlada por un equipo de control, cambios en el proceso o reformulación. Como se discutió en el *Manual de TEEs Básicas*, la EC general de un equipo de control es una combinación de la eficiencia de captura del equipo y la eficiencia del equipo de control. La primera es el porcentaje de la corriente de emisiones introducido en el equipo de control. La segunda es el porcentaje del contaminante del aire que es eliminado de la corriente de emisión y no liberado a la atmósfera.

La ER es un ajuste a la EC que incorpora las fallas e incertidumbre que afectan el desempeño real del control. Por ejemplo, el desempeño del equipo de control puede ser afectado por la edad, la falta del mantenimiento o el uso inadecuado del equipo. **Un valor de ER por omisión de 0.80 es recomendado si no es posible obtener la información para determinar el valor real de la ER.**

La PR es el porcentaje de la categoría de fuentes de área que es cubierto por la normatividad aplicable, o que se espera que cumpla con la normatividad. El valor de PR puede estar basado en un porcentaje de la fuente que es regulada, un nivel de corte o la regulación de una actividad. **Tanto la ER y la PR son aplicadas a las categorías de fuentes completas cuando se calculan estimados de emisión de fuentes de área.** La PR es una medición del grado en el que una regla cubre a una categoría de fuente. Por ejemplo, las regulaciones sobre el llenado de tanques subterráneos de gasolina pueden aplicar sólo a estaciones sobre un punto de corte específico, o que fueron construidas después de una fecha determinada.

El valor de la PR debe ser estimado para cada categoría de fuente, dado que no existe un valor por omisión que sea aplicable para todas las categorías de fuente. Este se calcula como:

$$PR = \frac{\text{Emisiones No Controladas Cubiertas por la Regulación}}{\text{Emisiones no Controladas Totales}} \times 100 \quad (2-2)$$

La siguiente ecuación ilustra el efecto de la EC, PR y ER en los estimados de emisiones:

$$\text{Emisiones Controladas} = (\text{Factor de Emisiones No Controladas}) \times (\text{Datos de Actividad}) \times [(1-(EC)(PR)(ER))] \quad (2-3)$$

La EC, ER y PR se discuten con mayor detalle en el *Manual de TEEs Básicas*.

2.3.3 Ajustes Temporales 1.0.3 Temporal Adjustments 1.0.3 Temporal Adjustments

Las actividades de fuente para muchas categorías fluctúan en una base estacional. Dado que las emisiones en general son una función directa de la actividad de fuente, los cambios estacionales en los niveles de actividad deben ser analizados. **En el caso de todas las categorías, si las emisiones estacionales o diarias serán determinadas, las variaciones estacionales deben ser consideradas.** Los factores de emisión para algunas categorías también pueden depender de las variables estacionales. El tipo de información necesaria para calcular las emisiones depende de la categoría de fuente y de la resolución temporal deseada de los estimados de emisión.

Algunas operaciones tales como el recubrimiento de superficies arquitectónicas, tienen mayor actividad en los meses cálidos; mientras que otras, como la calefacción residencial, tendrán actividad solamente en los meses más fríos. Muchas otras fuentes, por ejemplo, los procesos asociados con los establecimientos industriales o las operaciones comerciales, no mostrarán una gran variabilidad estacional en su actividad a lo largo del año.

La mejor manera de calcular los estimados de emisión diarios o estacionales es obtener los datos de actividad que son específicos para la estación de interés. Si esto no fuera posible, puede calcularse un estimado de actividad estacional utilizando un factor de ajuste aplicado a la actividad anual.

Con frecuencia, los factores para hacer los ajustes estacionales son expresados como fracciones, y en estos casos se denominan “factores de ajuste estacional” (FAEs). La siguiente ecuación utiliza un FAE para un inventario de emisiones en la temporada de ozono:

$$\text{Emisiones en la Temporada de Ozono} = \text{FAE} \times \text{Estimado de Emisiones Anuales}$$

(2-4)

Si se calculan las emisiones diarias, los días de actividad por semana y las semanas por

año deben ser identificados, de manera tal que puedan utilizarse en la ecuación de emisiones. Para la mayoría de las fuentes industriales, el número de días a la semana es de cinco; mientras que para las actividades comerciales y domésticas, generalmente se utilizan seis o siete días. La siguiente ecuación muestra los ajustes para calcular un estimado de emisión diario de un proceso con una operación anual uniforme:

$$\text{Emisiones Diarias} = \frac{\text{(Emisiones Anuales)}}{[(\text{Días de Operación /Semana}) \times (\text{Semanas de Operación/Año})]} \quad (2-5)$$

Una combinación de las ecuaciones mostradas anteriormente es necesaria para estimar las emisiones para un día en la temporada de ozono de un proceso que tiene operaciones anuales que varían de acuerdo con la estación. Esto se muestra en la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones Diarias en la Temporada de Ozono} = \frac{[(\text{Emisiones Anuales}) \times \text{FAE}]}{[(\text{Días de Operación /Semana}) \times (\text{Semanas de Operación/Año})]} \quad (2-6)$$

La Tabla 2-2 presenta los FAEs para las temporadas de ozono y monóxido de carbono, así como los días de actividad por semana por omisión que son frecuentemente utilizados en EU para estimar las emisiones estacionales. Estos factores se presentan como ejemplos, y variarán de un área a otra, dependiendo de las condiciones locales. De ser posible, deben generarse los FAEs específicos para México, más que depender de los FAEs estadounidenses presentados en la Tabla 2-2. Los FAEs típicamente se basan en el conocimiento local de las operaciones de la fuente, el juicio ingenieril y las encuestas.

Tabla 2-2

**Factores de Ajuste Estacional para Fuentes de Area y Días por Semana
para las Estaciones Pico de Ozono y CO**

Fuentes de Area	Factores de Actividad Estacional		Días de Actividad por Semana
	Verano	Invierno	
Gasolineras			
Pipas en Tránsito	Variaciones estacionales en el rendimiento entre regiones. Utilizar la temperatura promedio para un día de verano cuando resulte conveniente. Las áreas turísticas pueden mostrar una marcada estacionalidad en las ventas de gasolina.		6
Descarga de Pipas (Etapa I)			6
Carga a Vehículos (Etapa II)			7
Pérdidas por Respiración del Tanque			7
Uso de Solventes			
Desengrasado	0.25		6
Lavado en Seco	0.25		5
Recubrimiento de Superficies			
Arquitectura	0.33		7
Pintado de Autos	0.25		5
Otra Industria Pequeña	0.25		5
Artes Gráficas	0.25		5
Pavimentación de Asfalto	Referirse a las regulaciones y prácticas locales		
Pesticidas	0.33		
Comercial y Doméstico	0.25		7

Tabla 2-2 (Continuación)

**Factores de Ajuste Estacional para Fuentes de Area y Días por Semana
para las Estaciones Pico de Ozono y CO**

Fuentes de Area	Factores de Actividad Estacional		Días de Actividad por Semana
	Verano	Invierno	
Prácticas de Manejo de Residuos			
POTWs	0.35		7
Rellenos Sanitarios Municipales	0.25		7
Uso de Combustibles Fósiles en Fuente Estacionarias			
Doméstica	0.08	0.43	7
Comercial/Institucional	0.15	0.35	6
Industrial	0.25	0.25	6
Disposición de Residuos Sólidos			
Incineración en Sitio	0.25	0.25	7
Incineración Abierta	Referirse a las regulaciones y prácticas locales	Referirse a las regulaciones y prácticas locales	7
Incendios de Estructuras	0.20	0.33	7
Quema Agrícola y Forestal	Referirse a las regulaciones locales	0.10	7
Incendios Forestales	Referirse a las condiciones de incendios locales	0.05	7

2.3.4 Ajuste para los Compuestos No Reactivos

Muchas fuentes diferentes emiten gases orgánicos a la atmósfera. En conjunto, los compuestos que integran las emisiones de hidrocarburos se denominan gases orgánicos totales (GOT). El concepto de GOT incluye todos los compuestos carbónicos, excepto los carbonatos, carburos metálicos, monóxido y dióxido de carbono, y ácido carbónico. Desde una perspectiva de calidad del aire, es importante señalar que algunos de los GOTs emitidos a la atmósfera tienen una reactividad fotoquímica limitada o carecen de ella y, por lo tanto no participan en la formación de ozono. Los compuestos no fotoquímicamente reactivos incluyen:

- Metano
- Etano
- Acetona
- Percloroetileno
- Cloruro de metileno
- Metil-cloroformo (1,1,1-tricloroetano)
- Clorofluorocarbonos (CFCs)
- Hidroclorofluorocarbonos (HCFCs)
- Hidrofluorocarbonos (HFCs)
- Perfluorocarbonos.

Las sustancias consideradas como fotoquímicamente reactivas son denominadas gases orgánicos reactivos (GOR). Entonces, por definición, los GORs son un subconjunto de GOTs. Este manual promueve el desarrollo de estimados de emisión tanto GOT como GOR. Al principio podría parecer innecesario inventariar los GOTs, pero el desarrollo de estos estimados puede facilitar un gran número de funciones de reporte para parámetros tales como los gases con efecto invernadero y los compuestos tóxicos del aire. Adicionalmente, las emisiones GOT son más adecuadas para ser utilizadas

en modelos tridimensionales de simulación de formación y transporte de ozono. Por lo tanto, este manual presenta los factores de emisión de hidrocarburos como GOT, y también la fracción de GOTs que son GOR. A menos que se indique lo contrario, todas las proporciones GOR/GOT fueron obtenidas del *California Air Resources Board* (ARB, 1991b).

2.4 Reporte de Estimados de Emisión y Codificación de Datos

El reporte y la documentación son partes integrales del proceso de desarrollo de inventarios. **Los métodos de reporte y los procedimientos de codificación de datos que serán utilizados deberán ser especificados en el plan de trabajo del inventario.** El nivel de detalle reportado para el inventario dependerá principalmente del uso final para el que esté destinado. Por ejemplo, toda la información utilizada para desarrollar un inventario cuyos resultados afecten directamente las actividades para la elaboración de reglas, deberán estar bien documentados. Debe reportarse información suficiente, de manera tal que los estimados puedan ser reproducidos por los revisores independientes.

Para otros inventarios puede bastar con citar las fuentes de datos, de manera tal que un revisor interesado localice los datos específicos de acuerdo con sus necesidades. Una guía sobre la importancia del reporte y documentación se presenta en el *Emission Inventory Improvement Program, Volume III* (Programa de Mejora del Inventario de Emisiones) (U.S. EPA, 1996b), y en el *Example Documentation Report for 1990 Base Year Ozone and Carbon Monoxide State Implementation Plan Emissions Inventories* (Ejemplo de la Documentación para el Reporte del Año Base 1990 del Plan Estatal de Instrumentación para Ozono y Monóxido de Carbono) (U.S. EPA, 1992b).

Para cada estimado de emisión de fuente de área, será necesario asignar un código numérico a la categoría de fuente. Dicho código facilitará el manejo electrónico y el intercambio de datos entre diferentes regiones. Este manual recomienda la aplicación de un sistema de codificación de 10 dígitos. Cada código se divide en segmentos: xx-xx-xxx-xxx. Los primeros dos dígitos representan las siguientes categorías principales:

- 21 - fuentes estacionarias combustión
- 22 - fuentes móviles
- 23 - procesos industriales
- 24 - uso de solventes
- 25 - almacenamiento y transporte
- 26 - disposición de residuos
- 27 - fuentes naturales
- 28 - fuentes misceláneas.

Los siguientes dos dígitos proporcionan una indicación del tipo de fuente. Por ejemplo, toda la quema de combustible industrial inventariado dentro de las fuentes de área sería 21-02-xxx-xxx. Los seis dígitos restantes describen el tipo de combustible y el tipo de equipo de combustión. Por ejemplo, el gas LP industrial quemado en todos los tipos de caldera es 21-02-007-000 (los últimos tres dígitos se presentan como ceros debido a que no se ha especificado un equipo de combustión particular). Los códigos numéricos recomendados para cada una de las categorías de fuentes de área se presentan de la Sección 4.0 a 8.0 con cada metodología para la estimación de emisiones. Una lista maestra de los códigos de 10 dígitos se presenta en el Apéndice V-A. En algunos casos se han desarrollado nuevos códigos para incorporar algunas fuentes particulares de México. Los códigos específicos para México están marcados con un asterisco (*) en las Secciones 4.0 a 11.0.

2.5 Diferencias Geográficas y Causas de la Variabilidad

Los métodos para estimar las emisiones de fuentes de área y de fuentes móviles que no circulan por carretera, generalmente son más precisas en una escala geográfica grande que en una pequeña. Una importante razón de esta variabilidad involucra el uso de factores de emisión per cápita y por empleado. **Los factores de emisión se refieren a la cantidad de contaminante emitido por una unidad de actividad. Es importante señalar que un factor de emisión promedio no representa la variabilidad geográfica de la actividad;** i e. , los solventes de lavado en seco son mucho más utilizados en las áreas urbanas que en las rurales.

Por ejemplo, si los factores de emisión per cápita fueran utilizados para estimar las emisiones y existieran grandes diferencias regionales en las prácticas de compra, uso de productos o uso de servicios comerciales tales como el lavado en seco y pintado de autos, éstas no serán tomadas en cuenta si se utilizan factores nacionales de emisión per cápita. La variabilidad en las emisiones sólo será reflejada si los factores de emisión per cápita son ajustados de alguna manera. Por ejemplo, sería posible realizar una encuesta y desarrollar factores de emisión estratificados per cápita basados en el ingreso doméstico promedio, para obtener una mejor representación de la actividad de las fuentes de área y de las fuentes móviles que no circulan por carretera.

El uso de factores de emisión por empleado a nivel nacional también introducen incertidumbre. Estos sobrestimarán las emisiones de operaciones que son intensivas en el uso de mano de obra. Una vez más, sería posible efectuar una encuesta para desarrollar factores de emisión por empleado que representen la variabilidad asociada con el número de empleados y los niveles de producción.

3.0 TECNICAS RECOMENDADAS PARA LA ESTIMACION DE EMISIONES

Las emisiones contaminantes del aire provenientes de fuentes de área pueden ser calculadas a través de diferentes técnicas de estimación de emisiones (TEEs). El volumen III de esta serie, el *Manual de TEEs Básicas* describe detalladamente cada una de estas técnicas

Las técnicas utilizadas para estimar las emisiones de fuentes de área varían de acuerdo con la categoría de fuente. La selección de una TEE requiere la evaluación de la disponibilidad de los datos. Si para utilizar un método particular se requiere una gran cantidad de datos, los costos deben ser ponderados contra la calidad deseada en los estimados de emisión. Por ejemplo, si la fuente representa un alto riesgo de efectos ambientales adversos, los costos pueden requerirse TEEs más sofisticadas y costosas. De manera inversa, cuando los riesgos son bajos, los métodos de estimación baratos pueden ser aceptables. De alguna forma, los factores que permiten la selección de una TEE para una categoría de fuente determinada son idénticos a los que definen qué categorías de fuente serán incluidas en el inventario (e. g., uso del inventario, costos, disponibilidad de los datos, etc.).

La Tabla 3-1 recomienda TEEs para diversas categorías de fuentes de área y móviles que no circulan por carreteras, e identifican a los contaminantes que son emitidos por cada una. Las categorías de fuente y las TEEs mostradas en esta tabla son discutidas en las secciones 4.0 a 11.0, no deben ser consideradas como definitivas, sino como lineamientos generales que deberían ser adaptados a las condiciones locales del área de estudio.

En la Tabla 3-1, cada TEE aplicada está calificada con base en el análisis de la fuente de emisión, la disponibilidad de los datos, y el costo y calidad de los estimados de emisión. Una calificación de “1” indica que un método es el más preferible. Si un método no tiene calificación, significa que no está disponible para esa categoría de fuente. A continuación se resumen las TEEs básicas con respecto a las fuentes de área.

No existe una TEE individual que pueda ser utilizada para estimar emisiones en todas las fuentes de área. El volumen III de esta serie, el *Manual de TEEs Básicas* contiene una discusión sobre la selección y uso de las diferentes TEEs, análisis de los costos contra la calidad, así como las ventajas y desventajas de las diversas TEEs.

Factores de Emisión Basados en los Censos. Los factores de emisión relacionan la cantidad de un contaminante emitido con una unidad de actividad. Estos pueden estar basados en el proceso o en el censo. En general, los primeros son utilizados para las fuentes puntuales; mientras que los segundos lo son para las fuentes de área. El uso de factores de emisión basados en el censo es un método eficiente para tipos de fuentes de emisión que están dispersas y son numerosas, que no pueden ser caracterizadas por el conocimiento de las tasas de proceso, de consumo de combustible y/o de alimentación de material. Comparado con otras TEEs, el uso de factores de emisión basados en el censo es la opción más costo-efectiva, dado que los datos de los censos están disponibles para la mayor parte de las regiones del inventario, en el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Sin embargo, cabe señalar que gran parte de los factores de emisión basados en el censo han sido desarrollados a partir de datos estadounidenses. Con el tiempo, estos factores deberán ser reemplazados con otros desarrollados a partir de datos mexicanos. En la medida en que esto suceda, los factores de emisión basados en el censo van a constituir un método sumamente eficiente para el cálculo de emisiones.

Encuesta y Extrapolación. El cuestionario es una técnica utilizada comúnmente para agrupar datos de inventario de fuentes puntuales. Un enfoque de encuesta también puede ser utilizado para reunir la información necesaria para calcular las emisiones de fuentes de área. En estos casos, los cuestionarios son enviados a un conjunto de establecimientos, y los resultados son extrapolados a los establecimientos restantes con base en algún parámetro que esté relacionado con los niveles de emisión. Es importante señalar que, si bien en la Tabla 3-1 el método de encuesta y extrapolación tiene una calificación más alta que el uso de factores, la encuesta debe ser cuidadosamente planeada y ejecutada para que esta calificación tenga validez. Si la encuesta es enviada a un conjunto no representativo de establecimientos si las preguntas no son hechas o respondidas correctamente, o si los datos recibidos de los participantes no son manejados cuidadosamente (i. e., errores en la captura), los resultados serán estimados de emisión sumamente imprecisos.

Modelos de Emisión. Los modelos de emisión están diseñados para producir estimados de emisiones más precisos que un enfoque de factores de emisión. Sin embargo, estos modelos han sido desarrollados sólo para un número limitado de categorías de fuentes de área. La precisión de los resultados de un modelo de emisiones depende no sólo de la calidad de los datos de entrada, sino también de los supuestos sobre los que se basa el modelo.

Balance de Materiales. El enfoque de balance de materiales es adecuado para estimar emisiones asociadas con la evaporación de solventes. En su forma más sencilla, este método asume la evaporación de todo el solvente consumido por una fuente. Como se muestra en la Tabla 3-1, el enfoque de balance de materiales para las fuentes de área está combinado con los resultados de una encuesta, y se extrapola a una categoría de fuentes completa.

Tabla 3-1

Técnicas de Estimación de Emisiones Recomendadas

No. de Sección	Categoría de Fuente de Area	Contaminantes	Factor de Emisión	Encuesta y Extrapolación	Modelo de Emisión	Balace de Materiales
4.1	Combustión Industrial, Comercial e Institucional	GOT, NO _x , CO, PM, SO _x	1			
4.2	Combustión Doméstica (Combustibles comerciales)	GOT, NO _x , CO, PM, SO _x	1			
4.3	Combustión Doméstica (biomasa o combustibles derivados de residuos)	GOT, NO _x , CO, PM, SO _x	1			
5.1	Locomotoras	GOT, NO _x , CO, PM, SO _x	1			
5.2	Embarcaciones Marítimas Comerciales	GOT, NO _x , CO, PM, SO _x	1			
5.3	Aeronaves	GOT, NO _x , CO, PM, SO _x	1			
5.4	Otro Equipo Móvil que no Circula por Carreteras	GOT, NO _x , CO, PM, SO _x	1			

5.5	Cruces Fronterizos	GOT, NO _x , CO, PM, SO _x			1	
5.6	Terminales de autobuses o camiones	GOT, NO _x , CO, PM, SO _x			1	
6.1	Recubrimiento industrial de superficies ^a	GOT	2	1		1
6.2	Pintado de autos ^a	GOT	2	1		1
6.3	Recubrimiento arquitectónico de superficies ^a	GOT	2	1		1
6.4	Pinturas de tráfico ^a	GOT	2	1		1
6.5	Limpieza industrial de superficies ^a (desengrasado)	GOT	2	1		1
6.6	Lavado en seco	GOT	2	1		1
6.7	Artes gráficas ^a	GOT	2	1		1
6.8	Aplicación de asfalto ^a	GOT	2	1		1
6.9	Uso comercial y doméstico de solventes	GOT	1			
7.1	Distribución de gasolina	GOT	1			
7.2	Carga de combustible en aeronaves	GOT	1			
7.3	Distribución de gas LP	GOT		1		1
8.1	Panaderías	GOT	1			

8.2	Fabricación de ladrillos	GOT, NO _x , CO, PM, SO _x	2	1		
8.3	Actividades de construcción	PM	2		1	
8.4	Asados al carbón	GOT, PM	1	1		
8.5	Vendedores ambulantes	GOT, PM	1	1		
9.1	Aplicación de pesticidas ^b	GOT		1		1
9.2	Corrales de engorda de ganado	PM	1			
9.3	Quema agrícola	GOT, CO, PM	1			
9.4	Aplicación de fertilizantes	NH ₃	2	1		1
9.5	Residuos animales	NH ₃	1			
9.6	Arado agrícola	PM	1			
10.1	Incineración en sitio	GOT, NO _x , CO, PM, SO _x	1			
10.2	Manejo de residuos - incineración a cielo abierto	GOT, NO _x , CO, PM, SO _x	1			
10.3	Tratamiento de aguas residuales	GOT	2		1	
10.4	Aguas negras aguas residuales en canal abierto ^b	GOT, NH ₃		1		1
11.1	Incendios forestales	GOT, NO _x , CO, PM, SO _x	1			
11.2	Incendios	GOT,	1			

	estructurales	NO _x , CO, PM				
11.3	Polvo de caminos pavimentados	PM	2		1	
11.4	Polvo de caminos no pavimentados	PM	2		1	
11.5	Erosión eólica	PM	2		1	
11.6	Emisiones domésticas de amoníaco ^b	NH ₃		1		1

^a Los estimados de emisión para las categorías de uso de solventes pueden desarrollarse utilizando factores de emisión o combinando las encuestas y extrapolación con la información obtenida del balance de materiales.

^b Los estimados de emisión para estas categorías son desarrollados combinando las encuestas y extrapolación con la información obtenida del balance de materiales.

^c Las TEES para esta categoría tendrán variaciones con base en las industrias identificadas en el área de inventario.

CO = Monóxido de carbono

Gas LP = Gas licuado de petróleo

NH₃ = Amoniaco

NO_x = Oxidos de Nitrógeno

PM = Partículas

SO_x = Oxidos de azufre

TOG = Gases orgánicos totales.

4.0 QUEMADO DE COMBUSTIBLES EN FUENTES ESTACIONARIAS

Algunas calderas pequeñas, hornos, calefactores, calentadores de agua y motores pueden ser demasiado pequeños para ser incluidos en el inventario de fuentes puntuales del inventario de una región determinada; por lo tanto, podrían ser incorporadas en un esfuerzo de inventario de fuentes de área. Las siguientes subsecciones presentan una guía para el inventario de estas fuentes.

- Combustión Industrial, Comercial e Institucional
- Combustión Doméstica (Combustibles Comerciales)
- Combustión Doméstica (Biomasa o Combustibles Derivados de Residuos).

4.1 Combustión Industrial, Comercial e Institucional

CODIGO DE FUENTE	DESCRIPCION
Industrial	
21-02-001-000	Carbón de Antracita
21-02-002-000	Carbón Bituminoso y Sub-bituminoso
21-02-004-000	Aceite Destilado: Total - Calderas y Motores de combustión interna (CI)
21-02-004-001	Aceite Destilado: Todos los Tipos de Calderas
21-02-004-002	Aceite Destilado: Todos los Tipos de Motores CI
21-02-005-000	Aceite Residual
21-02-006-000	Gas Natural: Total - Calderas y Motores de CI
21-02-006-001	Gas Natural: Todos los Tipos de Calderas
21-02-006-002	Gas Natural: Todos los Tipos de Motores CI
21-02-007-000	Gas Licuado de Petróleo(gas LP)
21-02-008-000	Madera
21-02-009-000	Coque
21-02-010-000	Gas de Proceso
21-02-011-000	Queroseno
21-02-012-000	Aceite Residual
Comercial/Institucional	
21-03-001-000	Carbón de Antracita
21-03-002-000	Carbón Bituminoso y Sub-bituminoso
21-03-004-000	Aceite Destilado: Total - Calderas y Motores de CI
21-03-004-001	Aceite Destilado: Todos los Tipos de Calderas
21-03-004-002	Aceite Destilado: Todos los Tipos de Motores CI
21-03-005-000	Aceite Residual
21-03-006-000	Gas Natural: Total - Calderas y Motores de CI
21-03-006-001	Gas Natural: Todos los Tipos de Calderas
21-03-006-002	Gas Natural: Todos los Tipos de Motores CI
21-03-007-000	Gas LP: Total - Todos los Tipos de Combustores
21-03-007-005	Gas LP: Todos los Tipos de Combustores
21-03-007-010	Gas LP: Pailas para Asfalto
21-03-008-000	Madera
21-03-011-000	Queroseno: Total - Todos los Tipos de Combustores
21-03-011-005	Queroseno: Todos los Tipos de Calderas
21-03-011-010	Queroseno: Pailas para Asfalto
21-03-012-000	Aceite Residual: Todos los Tipos de Calderas
21-03-012-010	Aceite Residual: Pailas para Asfalto en Lotes

DESCRIPCION:

La combustión industrial de combustible es el uso de carbón, petróleo, queroseno, gas natural, gas licuado de petróleo (gas LP) y madera para la generación de calor y energía en los establecimientos industriales. Estos combustibles pueden ser quemados en un gran número de tipos diferentes de equipo, incluyendo calderas, motores de combustión interna (CI), hornos, calentadores y otras unidades de calentamiento que son demasiado pequeñas para ser incluidas en un inventario de fuentes puntuales. Las plantas termoeléctricas son excluidas de esta categoría, y deben ser inventariados como fuentes puntuales.

Los establecimientos comerciales e institucionales son aquellos relacionados con el comercio minorista y mayorista, hoteles, restaurantes, escuelas, hospitales, edificios gubernamentales, etc. Nótese que en esta categoría de fuentes se incluyen las emisiones de combustión de las fuentes específicas de México, tales como las tortillerías y los baños públicos. Las emisiones de estos establecimientos no son inventariados de manera independiente, sino que el consumo de combustible de todas las fuentes es agregado para arrojar un total que es utilizado en el cálculo de emisiones. Esta agregación se hace por tipo de combustible, debido a que los factores de emisión varían con base en éstos. Adicionalmente, la especiación de los estimados de emisión para ser usados en un modelo de red tridimensional requiere la clasificación de las emisiones por tipo de combustible.

CONTAMINANTES: GOT, CO, NO_x, SO_x y PM

GOR: Para las fuentes de combustión se requieren ajustes para incorporar las emisiones de metano y etano no reactivos. Para la mayoría de las categorías de combustión, el AP-42 proporciona factores de emisión para los compuestos orgánicos totales (COT) y el metano. Nótese que los "COT" en el AP-42 son equivalentes a los gases orgánicos totales ("GOT"). En estos casos, dichos datos pueden ser utilizados para desarrollar un factor de emisión (FE) para los gases orgánicos reactivos (GOR) (i. e., $FE_{GOR} = FE_{COT} - FE_{CH_4}$), que debe ser utilizado para estimar las emisiones de GORs. Si los datos disponibles del factor de emisión no tienen el detalle necesario para soportar este enfoque, pueden utilizarse los factores GOR/GOT que se presentan a continuación.

CODIGO DE FUENTE	GOR/GOT	DESCRIPCION
Industrial		
21-02-001-000	ND	Carbón de Antracita
21-02-002-000	ND	Carbón Bituminoso y Sub-bituminoso
21-02-004-000	ND	Aceite Destilado: Total - Calderas y Motores de CI
21-02-004-001	82.8%	Aceite Destilado: Todos los Tipos de Calderas
21-02-004-002	97.2%	Aceite Destilado: Todos los Tipos de Motores CI
21-02-005-000	82.8%	Aceite Residual
21-02-006-000	ND	Gas Natural: Total - Calderas y Motores de CI
21-02-006-001	39.7%	Gas Natural: Todos los Tipos de Calderas
21-02-006-002	7.4%	Gas Natural: Todos los Tipos de Motores CI
21-02-007-000	64.6%	Gas LP
21-02-008-000	ND	Madera
21-02-009-000	ND	Coque
21-02-010-000	ND	Gas de Proceso
21-02-011-000	ND	Queroseno
21-02-012-000	ND	Aceite Residual
Comercial/Institucional		
21-03-001-000	ND	Carbón Antracita
21-03-002-000	ND	Carbón Bituminoso y Sub-bituminoso
21-03-004-000	ND	Aceite Destilado: Total - Calderas y Motores de CI
21-03-004-001	82.8%	Aceite Destilado: Todos los Tipos de Calderas
21-03-004-002	97.2%	Aceite Destilado: Todos los Tipos de Motores CI
21-03-005-000	82.8%	Aceite Residual
21-03-006-000	ND	Gas Natural: Total - Calderas y Motores de CI
21-03-006-001	39.7%	Gas Natural: Todos los Tipos de Calderas
21-03-006-002	7.4%	Gas Natural: Todos los Tipos de Motores CI
21-03-007-000	64.6%	Gas LP: Total - Todos los Tipos de Combustores
21-03-007-005	64.6%	Gas LP: Todos los Tipos de Calderas
21-03-007-010	64.6%	Gas LP: Pailas para Asfalto
21-03-008-000	ND	Madera
21-03-011-000	ND	Queroseno: Total - Todos los Tipos de Combustores
21-03-011-005	ND	Queroseno: Todos los Tipos de Calderas
21-03-011-010	ND	Queroseno: Pailas para Asfalto
21-03-012-000	ND	Aceite Residual: Todos los Tipos de Calderas
21-03-012-010	ND	Aceite Residual: Pailas de Asfalto en Lotes

Nota: Una relación GOR/GOT "ND" indica que no existe una relación específica en la referencia citada del California Air Resources Board (ARB) (*Consejo para los Recursos del Aire de California*). Sin embargo, para "otros" tipos de combustible o categorías de combustión no especificados en su referencia, la California ARB indica que la cifra 69.9% puede ser usada como valor por omisión.

AJUSTES DE FUENTES PUNTUALES

Las emisiones de esta categoría de fuente son estimadas utilizando factores de emisión y los valores del uso industrial, comercial e institucional de combustible (de PEMEX). Para desarrollar un estimado de emisión para los establecimientos industriales, el uso de combustible en los establecimientos industriales incluidos en el inventario de fuentes puntuales debe ser restado del combustible total utilizado. A menos que se cuente con información específica sobre las fuentes puntuales comerciales e institucionales, puede asumirse que todas éstas son fuentes de área.

METODOLOGIA:

La cantidad de cada tipo de combustible debe ser clasificada por el tipo de equipo de combustión para cada tipo de combustible. Si la información sobre los tipos específicos de equipos de combustión no está disponible, deben hacerse supuestos acerca de los tipos de equipo existentes (si tienen fundamentos razonables), o deben usarse los factores de emisión más conservadores (los más elevados).

Los factores de emisión se pueden encontrar en el Capítulo 1 del AP-42 (AP-42, 1995) y en el Apéndice V-B de este volumen (nota: en el AP-42, el término "GOT" es referido como "COT"). Las secciones en este capítulo cubren las emisiones de carbón bituminoso y sub-bituminoso, carbón de antracita, lignita, combustóleo, gas natural, gas LP, residuos de madera y aceite residual.

El combustible utilizado en los establecimientos de fuentes puntuales debe ser restado de las cantidades correspondientes por tipo de equipo:

$$\text{Combustible Quemado en Fuente de Area por Equipo Tipo A} = \left[\begin{array}{c} \text{Combustible Total} \\ \text{Quemado} \\ \text{por Equipo Tipo A} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{Combustible Quemado} \\ \text{en Fuente Puntual} \\ \text{por Equipo Tipo A} \end{array} \right] \quad (4.1-1)$$

Algunos factores de emisión requerirán ser adaptados a las condiciones locales, tales como el contenido de azufre o de ceniza en el combustible, o sus propiedades caloríficas. Para mayor información sobre las propiedades de los combustibles y condiciones de operación, referirse al Volumen IV de esta serie de manuales, *Desarrollo del Inventario de Emisiones: Fuentes Puntuales*, Sección 3.1.1, Características de la Combustión,. Un cálculo típico multiplica las características del combustible por un coeficiente de emisión:

$$\text{Factor de Emisión} = \text{Característica de Combustible} \times \text{Coeficiente de Emisión} \quad (4.1.2)$$

Los factores de emisión para cada tipo de equipo de combustión son multiplicados por el combustible quemado por tipo de equipo en los establecimientos de las fuentes de área, como se muestra a continuación:

$$\text{Emisiones} = \left[\begin{array}{c} \text{Combustible Quemado} \\ \text{en Fuente de Area por} \\ \text{Equipo Tipo A} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{Factor de} \\ \text{Emisión para} \\ \text{Equipo Tipo A} \end{array} \right] \quad (4.1-3)$$

DATOS NECESARIOS:

Datos	Fuentes
Combustible usado en el área de inventario, por tipo	PEMEX
Combustible utilizado por tipo de equipo (si está disponible)	Encuesta o información local, PEMEX
Combustible utilizado en fuente puntual, por tipo de equipo	Base de Datos SNIFF
Características del combustible, de acuerdo con las necesidades	PEMEX
Factores de emisión por tipo de combustible y tipo de equipo	AP-42, 1995 (Apéndice V-B de este manual)

NOTAS:

1. Los datos de uso de combustibles proporcionados por PEMEX deben ajustarse para reflejar cualesquier variaciones locales en los tipos de combustible quemados. Por ejemplo, si se sabe que la madera es sumamente utilizada en el área de inventario, pero PEMEX no proporciona ningún dato sobre el uso de madera, será necesario realizarse una encuesta para determinar el uso local de la madera, o bien evaluar otras fuentes de datos. El Manual de TEEs Básicas describe la metodología para llevar a cabo una encuesta.
2. En caso necesario, puede hacerse el supuesto de que todo el combustible industrial (100%) es consumido en establecimientos de fuentes puntuales; y que todo el combustible comercial e institucional (100%), es consumido en establecimientos de fuentes de área.

EJEMPLO DE CALCULO:

- A. En este ejemplo, 60,000 litros de diesel fueron utilizados en los baños públicos de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) (DDF, 1995a) en 1992. La información obtenida en la Base de Datos del SNIFF indica que ningún baño público es considerado como fuente puntual. Asumir que el contenido de azufre en el combustible es del 0.5% en peso. Las emisiones de SO₂ y CO son calculadas aplicando los siguientes pasos:

Pasos para calcular las emisiones de SO₂:

1. Restar el uso de combustibles de fuentes puntuales:

$$\begin{aligned} \text{Uso de Combustible en Fuentes de Area} &= 60,000 \text{ litros} - 0 \text{ litros} \\ &= 60,000 \text{ litros} \end{aligned}$$

2. El diesel es similar al combustible destilado No.2. Por lo tanto, deberán utilizarse los factores de emisión para el combustible destilado del AP-42, *Sección 1.3, Combustión de Combustóleo* (ver Apéndice V-B). El factor de emisión para el SO₂ es función de un coeficiente y del peso porcentual del contenido de azufre en el combustible:

$$\begin{aligned} \text{Contenido de Azufre} &= 0.5\% \text{ en peso} \\ \text{Factor de Emisión del AP-42 para SO}_2 \text{ (kg/10}^3 \text{ litros)} &= 17 \times 5\% \\ \text{Factor de Emisión para SO}_2 \text{ (kg/10}^3 \text{ litros)} &= 17 \times 0.5 \\ &= 8.5 \text{ kg/10}^3 \text{ litros} \end{aligned}$$

3. Finalmente, las emisiones de SO₂ son calculadas como:

$$60,000 \text{ litros} \times 8.5 \text{ kg/10}^3 \text{ litros} = 510 \text{ kg SO}_2$$

Pasos para calcular las emisiones de CO:

1. La resta de las fuentes puntuales fue calculada anteriormente.
2. El factor de emisión del AP-42 es de 0.6 kg/10³ litros.
3. Finalmente, las emisiones de CO son calculadas como:

$$60,000 \text{ litros} \times 0.6 \text{ kg/10}^3 \text{ litros} = 36 \text{ kg CO}$$

B. En este ejemplo, 67,030,000 litros de gas LP fueron utilizados en las tortillerías de la ZMCM (DDF, 1995a) en 1992. Asumir que la información obtenida de la Base de Datos del SNIFF indica que algunas de estas tortillerías ya están incluidas en el inventario de fuentes puntuales (y que han utilizado 12,000,000 litros de gas LP). Las emisiones de CO son calculadas de acuerdo con los siguientes pasos:

1. Restar el uso de combustible de fuentes puntuales.

$$\begin{aligned} \text{Uso de gas LP en fuentes de área} &= 67,030,000 \text{ litros} - 12,000,000 \text{ litros} \\ &= 55,030,000 \text{ litros} \end{aligned}$$

2. Determinar el factor de emisión de CO:

Para la combustión de gas LP, el AP-42 presenta factores de emisión para la combustión de butano y la de propano (ver Apéndice V-B, Sección 1.5). Para los propósitos de cálculo de emisiones, se asume que el gas LP mexicano está compuesto por aproximadamente 60% de propano y 40% de butano (PEMEX, 1996).

$$\begin{aligned} FE &= (60\% \times FE_{\text{propano}}) + (40\% \times FE_{\text{Butano}}) \\ &= (60\% \times 0.2) + (40\% \times 0.3) \\ &= 0.24 \text{ kg CO}/10^3 \text{ litros} \end{aligned}$$

3. Finalmente, las emisiones de CO son calculadas como:

$$(55,030,000 \text{ litros}) \times (0.24 \text{ kg}/10^3 \text{ litros}) = 13,200 \text{ kg CO}$$

4.2 Combustión Doméstica (Combustibles Comerciales)

CODIGO DE FUENTE	DESCRIPCION
21-04-001-000	Carbón de Antracita
21-04-002-000	Carbón Bituminoso y Sub-bituminoso
21-04-004-000	Aceite Destilado
21-04-005-000	Aceite Residual
21-04-006-000	Gas Natural: Total
21-04-007-000	Gas LP
21-04-011-000	Queroseno

DESCRIPCION:

La categoría de combustión doméstica (combustibles comerciales) se refiere a la combustión de carbón, aceite, gas natural y gas LP, para la calefacción de viviendas individuales y unidades habitacionales. Los combustibles no comercialmente disponibles (e. g., madera, residuos de cosechas, aceites y solventes residuales, llantas, etc.), están excluidos de esta categoría y deben ser inventariados dentro de la categoría de combustión doméstica (biomasa y combustibles derivados de residuos).

Adicionalmente, las emisiones de fugas y evaporación de los sistemas de almacenamiento y distribución de gas LP deben ser inventariados como fuentes de distribución de gas LP.

En México, diversos tipos de combustible son utilizados a nivel doméstico, principalmente para cocinar y en calentadores de agua. Cada año, cerca de dos millones de toneladas de gas LP son utilizadas para la cocina y calefacción doméstica en la Ciudad de México. La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) es el mayor mercado de gas LP a nivel mundial, con un consumo de 70,000 barriles al día. El uso del gas LP para cocinar y en calentadores de agua en México es común en todas las regiones; de acuerdo con los datos del INEGI, aproximadamente el 70% de las casas habitación en este país usan gas para cocinar. Sin embargo, en la ciudad de Monterrey, Nuevo León, el gas natural es el principal combustible doméstico, mientras que en Chiapas y Oaxaca predominan la madera y el carbón.

CONTAMINANTES: GOT, CO, NO_x, SO_x, y PM

GOR: Para los ajustes de las fuentes de combustión, es necesario tomar en cuenta las emisiones de metano y etano. Para la mayoría de las categorías de combustión, el AP-42 proporciona los factores de emisión para COT y metano. Nótese que en el AP-42, el término "COT" es equivalente a "GOT." En tales casos, estos datos deben ser utilizados para desarrollar un FE GOR (i. e., $EF_{GOR} = FE_{COT} - FE_{CH_4}$) y este factor de emisión GOR debe ser utilizado para estimar las emisiones GOR. Si los datos disponibles para el factor de emisión no están lo suficientemente detallados como para soportar este enfoque, entonces pueden utilizarse los factores GOR/GOT que se

proporcionan a continuación:

CODIGO DE FUENTE	GOR/GOT	DESCRIPCION
21-04-001-000	ND	Carbón Antracita
21-04-002-000	ND	Carbón Bituminoso y Sub-bituminoso
21-04-004-000	ND	Aceite Destilado
21-04-005-000	82.8%	Aceite Residual
21-04-006-000	ND	Gas Natural: Total - Todos los Tipos de Combustores
21-04-007-000	64.6%	Gas LP: Total - Todos los Tipos de Combustores
21-04-011-000	ND	Queroseno: Total - Todos los Tipos de Combustores

Nota: Una relación GOR/GOT "ND" indica que no existe ninguna relación específica en la referencia citada del California ARB. Sin embargo, para "otros" tipos de combustible o categorías de combustión no especificados en su referencia, la California ARB indica que la cifra 69.9% puede ser usada como valor por omisión.

AJUSTES DE FUENTES PUNTUALES:

En general, las emisiones para esta categoría de fuente no son incluidas en un inventario de fuentes puntuales. Por lo tanto, no se espera que los ajustes de fuentes puntuales sean necesarios. Sin embargo como se ilustra en el ejemplo de cálculo, se debe tener cuidado para asegurar que los datos de uso del combustible reflejen sólo el uso **doméstico**, y no incluyan ningún uso industrial o comercial.

METODOLOGIA:

Es necesario determinar la cantidad de cada tipo de combustible quemado para el uso doméstico en la región del inventario. Si las estadísticas disponibles no satisfacen directamente las necesidades del esfuerzo de inventario [e. g., se dispone de las estadísticas a nivel estatal, pero: (1) la región del inventario incluyen porciones de diversos estados; o (2) el inventario requiere estimados de emisión a nivel municipal], entonces podrían utilizarse los datos de censo (e. g., población o vivienda) para resolver este problema. El siguiente ejemplo de cálculo ilustra este procedimiento.

Los factores de emisión pueden encontrarse en el Capítulo 1 del AP-42 (AP-42, 1995) y en el Apéndice V-B de este volumen (note: en el AP-42, el término “GOT” es referido como “COT”). Las secciones en el Capítulo 1 cubren las emisiones para carbón bituminoso y sub-bituminoso, carbón de antracita, lignita, combustóleo, gas natural, gas LP, residuos de madera y aceite residual. Si el AP-42 no proporciona específicamente los factores de emisión “domésticos” para un tipo de combustible determinado (e. g., combustión de gas LP), deben aplicarse los factores de emisión institucionales o comerciales.

Algunos factores de emisión requerirán ser adaptados a condiciones locales tales como el contenido de azufre o de ceniza en el combustible, o su contenido calorífico. Para mayor información sobre las propiedades de los combustibles y condiciones de operación, referirse al Volumen IV de esta serie de manuales, *Desarrollo del Inventario de Emisiones: Fuentes Puntuales*, Sección 3.1.1, Características de la Combustión,. Un factor de emisión PM o SO_x típico está formado por las características del combustible (contenido de ceniza o azufre), multiplicadas por un coeficiente de emisión (constante empírica):

$$\text{Factor de Emisión} = \text{Característica del Combustible} \times \text{Coeficiente de Emisión} \quad (4.2-1)$$

Para cada tipo de combustible, la cantidad que es quemada por fuentes domésticas se multiplica por los factores de emisión para cada tipo de equipo de combustión, como se muestra a continuación:

$$\text{Emisiones} = \left[\begin{array}{c} \text{Combustible Quemado} \\ \text{en Fuente de Area por} \\ \text{Equipo Tipo A} \end{array} \right] \cdot \left[\begin{array}{c} \text{Factor de Emisión} \\ \text{para Equipo Tipo A} \end{array} \right] \quad (4.2-2)$$

DATOS NECESARIOS:

Datos	Fuentes
Combustible utilizado en un inventario de área, por tipo de combustible	PEMEX
Datos de población o vivienda	INEGI, 1993
Características del combustible, conforme a las necesidades	PEMEX
Factores de emisión por tipo de combustible y tipo de equipo	AP-42, 1995 (ver Apéndice V-B de este manual)

NOTAS:

1. Los datos de uso de combustibles proporcionados por PEMEX deben ajustarse para reflejar cualesquier variaciones locales en los tipos de combustible utilizados. Por ejemplo, si se sabe que el carbón es sumamente utilizado en el área de inventario, pero PEMEX no proporciona ningún dato sobre el uso de carbón, debe realizarse una encuesta para determinar el uso local del carbón.
2. Si los datos de las características del combustible no están disponibles en PEMEX, la Norma Oficial Mexicana NOM-086-ECOL-1994 contiene las siguientes especificaciones para el contenido de azufre en combustibles, que pueden ser utilizadas como valores por omisión:

Tipo de Combustible	Máximo Nivel de Azufre (wt%) ^a	Valor Típico de Azufre en 1995 (wt%) ^b
Magna Sin	0.10	—
Magna Sin (Zona Fronteriza Norte, ZFN))	0.10	—
Magna Sin (ZMCM) [a partir de 1998 también en la Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM) y Zona Metropolitana de Guadalajara, (ZMG)]	0.10	0.048
Nova Plus	0.15	—
Nova Plus (ZMCM) (a partir de 1998 también en la ZMM y ZMG)	0.15	0.07
Diesel Sin (ZMCM, ZMM y ZMG)	0.05	0.041
Diesel Desulfurado	0.5	—
Diesel Industrial	0.5	—
Gasóleo Industrial	2.0	—
Combustóleo Pesado	4.0	—
Combustóleo Hidrotratado (ZMCM) (a partir del 1º de enero de 1988)	1.0	—
Combustible Ligero (para zonas críticas)	2.0	—
Gas Natural	0.32 dm ³ /m ³	—
Gas licuado de petróleo (Gas L.P)	0.14 kg/mg	—
Turbosina	0.3	—

^a Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-086-ECOL-1994

^b Fuente: Programa para mejorar la calidad del aire en el Valle de México 1995-2000; DDF, GEM, SEMARNAP, SSA; 1996.

3. No existen estudios detallados sobre la eficiencia del equipo de combustión de gas LP en México, pero en general, es baja. En algunos casos, hasta el 20% de los hidrocarburos son emitidos sin ser quemados, y este equipo tiende a trabajar con un exceso de aire, que reduce la eficiencia térmica aún más (DDF, *et al*, 1996). Si estuvieran disponibles, los datos específicos para México deben ser utilizados para ajustar los factores de emisión del AP-42, para reflejar la combustión incompleta.

EJEMPLO DE CALCULO:

Este ejemplo muestra la manera de calcular las emisiones de la combustión doméstica de gas LP en la Delegación Benito Juárez del DF, y se basa en los datos obtenidos para estimar las emisiones de la combustión doméstica para el inventario de fuentes de área (DDF, 1995a). Las emisiones de SO₂ y CO son calculadas de acuerdo con los siguientes pasos:

1. Determinar la cantidad doméstica de gas LP usada en la ZMCM:

En el Oficio GPASI-1511/93, PEMEX reportó que la cantidad total de gas LP consumida en la ZMCM en 1993 fue de $3,830.31 \times 10^3 \text{ m}^3$. Con base en las cifras de 1992, PEMEX estimó que el 80% del gas LP total utilizado fue para propósitos domésticos. Por lo tanto:

$$\begin{aligned} \text{Uso Doméstico Total de Gas LP en la ZMCM} &= (3830.31 \times 10^3 \text{ m}^3) \times (80\%) \\ &= 3,064.25 \times 10^3 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

2. Determinar la cantidad de gas LP doméstico utilizada en la Del. Benito Juárez:

No fue posible obtener los datos específicos del uso de combustible en la delegación por parte de PEMEX. Por lo tanto, se utilizaron los datos poblacionales del INEGI para disgregar los datos del uso de combustible en la ZMCM en las delegaciones individuales. La población total de la ZMCM fue de 14,564,679 habitantes, y en la Del. Benito Juárez fue de 407,811 habitantes. Por lo tanto:

$$\begin{aligned} \text{Uso Doméstico Total de Gas LP en la delegación Benito Juárez} &= (3064.25 \times 10^3 \text{ m}^3) \times (407,811 / 14,564,679) \\ &= 85.799 \times 10^3 \text{ m}^3 \\ &= 85,799 \times 10^3 \text{ litros} \end{aligned}$$

Nota: Es preferible utilizar los datos de vivienda si la mayor parte del combustible es utilizado para calefacción. Sin embargo, en este caso, la mayor parte del gas LP es usado para cocinar, por lo tanto, los datos de población son preferibles.

3. Determinar el factor de emisión de SO₂:

Los factores de emisión del AP-42 para SO₂ (0.0115 y 0.0125) son función de un coeficiente (i. e., 0.011 y 0.012) y del contenido de azufre en el combustible (i. e., S, expresado en gr/100 ft³). Con base en el parámetro equivalente utilizado por el DDF (i. e., 0.009 g/100 m³):

$$\begin{aligned} S(\text{gr}/100 \text{ ft}^3) &= (0.009 \text{ g}/100 \text{ m}^3) \times (\text{m}^3/35.31 \text{ ft}^3) \times (\text{lb}/453.6 \text{ g}) \times (7000 \text{ gr}/\text{lb}) \\ &= 0.0039 \text{ gr}/100 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Para la combustión de gas LP, el AP-42 presenta los factores de emisión para la combustión de butano y propano (ver Apéndice V-B, Sección 1.5). Por lo tanto, la composición del gas LP utilizado en la región del inventario es necesaria para determinar el conjunto de factores de emisión que debe ser utilizado (o incluso si se debe utilizar una combinación de ambos). En los países altamente industrializados, el gas LP contiene cuando menos un 95% de propano. Sin embargo, en México se vende una mezcla en la que el propano predomina, pero que también contiene una significativa proporción de butano, isobutano, propileno y butilenos (DDF, *et al.*, 1996). Para los propósitos de estimación de emisiones, se asume que el gas LP mexicano es aproximadamente 60% propano y 40% de butano (PEMEX, 1996). Por lo tanto, si los datos regionales específicos no son obtenidos para la delegación Benito Juárez, los factores de emisión del gas LP pueden ser calculados como se muestra a continuación:

$$\begin{aligned} FE_{(\text{SO}_x)(\text{Benito Juárez})} &= (60\% \times FE_{\text{Propano}}) + (40\% \times EF_{\text{Butano}}) \\ &= (60\% \times 0.012S) + (40\% \times 0.011S) \\ &= (0.6 \times 0.012 \times 0.0039) + (0.4 \times 0.011 \times 0.0039) \\ &= 4.52 \times 10^{-5} \text{ kg SO}_x/1,000 \text{ litros} \end{aligned}$$

NOTA: Dado que los factores de emisión “domésticos” no están especificados en esta Sección del AP-42, se utilizan los factores de emisión “comerciales”.

4. Entonces, las emisiones de SO₂ son calculadas como:

$$(85,799 \times 10^3 \text{ litros}) \times (4.52 \times 10^{-5} \text{ kg}/10^3 \text{ litros}) = 3.9 \text{ kg SO}_2$$

5. Determinar el factor de emisión de CO:

Como se mostró anteriormente, si los datos regionales específicos no son obtenidos para la delegación Benito Juárez, los factores de emisión del gas LP pueden ser calculados como se muestra a continuación

$$\begin{aligned} FE_{CO(\text{Benito Juárez})} &= (60\% \times FE_{\text{Propano}}) + (40\% \times FE_{\text{Butano}}) \\ &= (60\% \times 0.2 \text{ kg/1000 litros}) + (40\% \times 0.3 \text{ kg/1000 litros}) \\ &= 0.24 \text{ kg CO/1000 litros} \end{aligned}$$

6. Entonces, las emisiones de CO son calculadas como:

$$(85,799 \times 10^3 \text{ litros}) \times (0.24 \text{ kg/10}^3 \text{ litros}) = 20,600 \text{ kg CO}$$

4.3 **Combustión Doméstica (Biomasa o Combustibles Derivados de Residuos)**

CODIGO DE FUENTE:	DESCRIPCION:
21-04-008-000	Madera o Biomasa
21-04-013-000*	Otros Combustibles Derivados de Residuos

* Código propuesto específico para México para las categorías de fuente no típicamente inventariadas en EU.

DESCRIPCION: La categoría de combustión doméstica (biomasa y combustibles derivados de residuos) incluye la combustión de madera, biomasa, boñiga, materiales de desecho, llantas y otros combustibles derivados de residuos, Estos son utilizados para propósitos tanto de calentamiento como de cocinado doméstico, En la mayoría de las áreas, la normatividad reciente ha prohibido la quema de llantas y otros materiales derivados de residuos que emiten fuertes olores y/o contaminantes tóxicos. Sin embargo, es probable que la quema clandestina de estos materiales siga ocurriendo en algunas áreas.

A diferencia de los combustibles comerciales utilizados en la combustión doméstica (descritos en la Sección 4.2), la biomasa y otros combustibles derivados de residuos no son usualmente distribuidos a nivel comercial (con excepción de la madera), y tienden a ser utilizados por las clases socioeconómicas bajas de la población. Por estas razones, la determinación de la cantidad de la biomasa y los combustibles derivados de residuos que se utilizan en una región, puede ser problemática. La siguiente información proporciona una guía con respecto a la manera de estimar las emisiones en esta categoría.

CONTAMINANTES: GOT, CO, NO_x, SO_x, y PM₁₀

GOR: Para la combustión doméstica de madera, el GOR está compuesto por un 41.5% de GOT. Las fracciones de GOR no han sido desarrolladas para los combustibles derivados de residuos, si bien otros combustibles de biomasa y material de desecho probablemente tienen fracciones GOR similares, al ser comparadas con la combustión doméstica de madera.

AJUSTES DE FUENTE PUNTUAL: Ninguno.

METODOLOGIA:

La cantidad de cada tipo de biomasa y otro combustible derivado de residuos para uso doméstico necesita ser determinado para la región de inventario. El primer paso consiste en estimar la fracción de viviendas que usan estos tipos de combustibles; y el segundo paso es determinar el uso de combustible por vivienda.

De manera ideal, la fracción total de viviendas que usan biomasa u otro combustible derivado de residuos debe ser determinada a través de una encuesta específica para la región. Si la información del estudio no está disponible, el número de viviendas puede ser calculado a partir de las estadísticas del INEGI y otros censos que identifiquen el número de viviendas que usan combustibles comerciales (i. e., carbón, petróleo, gas natural y gas LP). Al restar la fracción de viviendas que utilizan éstos últimos del número total de viviendas, se obtiene la fracción que utiliza biomasa u otro combustible derivado de residuos. Es importante darse cuenta de que las estadísticas del INEGI y otros censos pueden presentar información a nivel estatal o nacional que puede no ser adecuada a nivel local. Estas situaciones ameritan la realización de una encuesta local.

Después de que se ha establecido el número de viviendas que utilizan biomasa y otro combustible derivado de residuos, el siguiente paso es determinar la cantidad de combustible quemado por vivienda. La cantidad de combustible utilizado para cocinar puede ser similar en diferentes regiones; sin embargo, el que se usa para fines de calefacción está en función de las condiciones meteorológicas. Obviamente, las localidades más frías tenderán a utilizar más combustible para calefacción que aquellas con climas cálidos.

Una vez más, la encuesta local es el método preferible a ser utilizado para estimar el uso de combustible por vivienda. Si la información de una encuesta local no está disponible, las estadísticas del INEGI o los funcionarios locales pueden ser consultados para obtener los estimados. Sin embargo, debido a que los combustibles no están comercialmente disponibles, es poco probable que el INEGI o los funcionarios locales hayan recopilado estadísticas del uso de estos combustibles por vivienda.

Si se carece de la información a partir de datos de encuestas o estadísticas, es posible hacer un estimado grueso del uso por vivienda de biomasa y otro combustible derivado de residuos, utilizando el concepto de "equivalencia de combustible". El uso de carbón, gas natural, gas LP y otros tipos de combustibles comerciales por vivienda puede ser estimado dividiendo el uso doméstico

total de un combustible comercialmente disponible, entre el número total de viviendas que utilizan ese combustible específico. El uso por vivienda derivado para un combustible comercial específico tiene un contenido de energía determinado que es equivalente a cierta cantidad de madera, hule u otro combustible derivado de residuos. Este cálculo se muestra en la siguiente ecuación.

$$\text{Combustible}_{\text{BW}} = \text{Combustible}_{\text{comm}} \times \left(\frac{\text{EC}_{\text{Comm}}}{\text{EC}_{\text{BW}}} \right) \times \left(\frac{\text{Eff}_{\text{comm}}}{\text{Eff}_{\text{BW}}} \right) \quad (4.3-1)$$

donde:

- Combustible_{BW} = Uso anual por vivienda de la biomasa o combustible derivado de residuos (kg/año)
- Combustible_{Comm} = Uso anual por vivienda del combustible comercial (kg/año ó litro/año)
- EC_{Comm} = Contenido energético del combustible comercial (kcal/kg ó kcal/litro)
- EC_{BW} = Contenido energético de la biomasa o combustible derivado de residuos (kcal/kg)
- EFF_{Comm} = Eficiencia de combustión del combustible comercial
- EFF_{BW} = Eficiencia de combustión de la biomasa o combustible derivado de residuos.

Las eficiencias de la combustión de combustible comercial y de la biomasa u otro combustible derivado de residuos también se incluyen en la Ecuación 4.3-1. Sin embargo, debido a las variables y eficiencias desconocidas, con frecuencia estos efectos son ignorados. El método de "equivalencia de combustible" es aproximado, y debe ser utilizado solamente cuando no se disponga información de encuestas o censos locales. Este método fue utilizado para la estimación de GOT y PM₁₀ como parte de un inventario de tóxicos del aire en Nogales, Sonora.

Los factores de emisión para la combustión doméstica de madera (chimeneas y estufas de madera) basados en los factores de emisión estadounidenses, pueden encontrarse en las secciones 1.9 y 1.10 del AP-42 (AP-42, 1995), y en el Apéndice V-B de este volumen (nota: en el AP-42, "GOT" es referido como "COT"). Los datos de emisión específicos para México, para la combustión de madera residual, han sido desarrollados por los investigadores en la Universidad de Utah y el Southwest Center for Environmental Research and Policy (SCERP) (*Centro del Suroeste para la Investigación y Política Ambiental*) (Summit, et al, 1996). Estos datos fueron obtenidos en un número limitado de pruebas de fuente con calentadores domésticos adquiridos en Ciudad Juárez,

utilizando diversos combustibles de madera residual (tarimas estadounidenses y mexicanas y tablas de aglomerado), Los datos de emisión para CO, hidrocarburos totales (HCT), óxido nítrico (NO) se presentan en la Tabla 4.3-1; los datos de emisiones para PM todavía están en desarrollo. Debe notarse que existe una gran incertidumbre asociada a estas emisiones, debido al limitado número de pruebas en fuente.

Tabla 4.3-1

Datos de Emisiones de CO, HCT y NO para Diversos Combustibles de Madera Residual

Tipo de Combustible	CO (g/kg madera)	HCT (g/kg madera)	NO (g/kg madera) ^a
Tarima de EU	45 ± 4.5	3.0 ± 1.3	0.76 ± 0.19
Tarima de México	31 ± 7.5	2.3 ± 1.2	0.62 ± 0.040
Tabla de aglomerado	66 ± 23	3.3 ± 1.8	3.5 ± 0.96

Fuente: Summit, *et al.*, 1996

^a Sólo están disponibles las emisiones de NO, Al parecer, el dato para NO no fue desarrollado. El NO_x es la combinación de NO y NO₂, expresada como NO₂.

Los factores de emisión para la combustión doméstica de otros tipos de residuos basados en los factores estadounidenses pueden encontrarse en la Sección 2.5 del AP-42; misma que también incluye los factores de emisión para la quema a cielo abierto de residuos agrícolas y llantas, que pueden ser utilizados para estimar las emisiones de la combustión doméstica de estos combustibles. El uso de los factores de emisión de, sin embargo, pueden tener una elevada incertidumbre debido a las diferentes condiciones de combustión.

Se recomienda que México desarrolle factores de emisión específicos para las prácticas reales de combustión y los combustibles que están siendo utilizados. Hasta que dichos factores hayan sido desarrollados, es recomendable que los factores de emisión presentados en la Tabla 4.3-1 sean utilizados de acuerdo con las necesidades. Si estos factores no fueran aplicables, entonces deben utilizarse los factores de emisión del AP-42 que se presentan en el Apéndice V-B de este manual.

Para cada tipo de combustible, las emisiones son calculadas multiplicando la cantidad de combustible quemado por su factor de emisión, tal y como se muestra a continuación:

$$\text{Emisiones} = \text{Combustible}_{\text{Total}} \times \text{FE} \quad (4.3-2)$$

DATOS NECESARIOS:

Datos	Fuentes
Número de viviendas que usan biomasa o combustibles derivados de residuos	Encuesta o información local, INEGI
Uso de combustible por vivienda	Encuesta o información local, INEGI, o método de la "equivalencia de combustible"
Factores de emisión por tipo de combustible	AP-42, 1995 (ver Apéndice V-B), ó Summit <i>et al.</i> , 1996 (ver párrafos anteriores)

EJEMPLO DE CALCULO:

La información de la encuesta local indica que un área metropolitana tiene 80,000 viviendas, 1.5% de las cuales queman tarimas de madera. Sin embargo, dicha información no indica la cantidad promedio de tarimas quemadas en estas viviendas. Una vivienda típica que usa gas LP utiliza 600 litros anuales. Las emisiones anuales de CO para tarimas utilizadas como combustible doméstico se calculan se acuerdo con los siguientes pasos:

1. Calcular el número de viviendas que usan tarimas de madera como combustible:

$$80,000 \times 0.015 = 1,200 \text{ viviendas que usan tarimas de madera como combustible}$$

2. Calcular el contenido de energía del gas LP:

Asumir que el gas LP local está formado por 60% de propano y 40% de butano (valores redondeados de PEMEX, 1996). Asimismo, asumir que el contenido de energía del butano es de 6,790 kcal/litro, mientras que el del propano es de 6,090 kcal/litro (AP-42, 1995)

$$(0.6 \times 6,090) + (0.4 \times 6,790) = 6,370 \text{ kcal/litro gas LP}$$

3. Calcular el uso anual por vivienda de tarimas como combustible.

Asumir que el contenido de las tarimas de madera es de 4,445 kcal/kg (Summit, *et al*, 1996). Asumir también que las eficiencias de combustión del gas LP y las tarimas de madera son idénticas y que pueden ser ignoradas.

$$\left(\frac{600 \text{ litros gas LP}}{\text{vivienda}} \right) \times \left(\frac{6,370 \text{ kcal}}{\text{litros gas LP}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ kg madera}}{4,445 \text{ kcal}} \right) = \frac{860 \text{ kg madera}}{\text{vivienda-año}}$$

4. Calcular la emisión anual de CO:

$$1,200 \text{ viviendas} \times \left(\frac{860 \text{ kg madera}}{\text{vivienda-año}} \right) \times \left(\frac{31 \text{ g CO}}{\text{kg madera}} \right) = 31,992 \text{ kg CO}$$

5.0 FUENTES MOVILES QUE NO CIRCULAN POR CARRETERAS

En general, sólo los vehículos de motor que circulan por carretera (e. g., automóviles, camiones, autobuses, motocicletas), son incluidos en el inventario de fuentes móviles para una determinada región de inventario. Por lo tanto, las fuentes móviles que no circulan por carreteras deben ser incluidas en un inventario de fuentes de área. La guía para el inventario de estas fuentes se presenta en las siguientes subsecciones:

- Locomotoras
- Embarcaciones marítimas comerciales
- Aeronaves
- Otro equipo móvil que no circula por carretera (incluyendo equipo recreativo, de construcción, industrial, de jardinería, agrícola, comercial ligero, de explotación forestal y de servicio de aeropuertos).
- Cruces fronterizos
- Terminales de autobuses y camiones.

5.1 Locomotoras

CODIGO DE FUENTE	DESCRIPCION
22-85-002-005	Locomotoras de arrastre
22-85-002-010	Locomotoras de patio

DESCRIPCION:

En México, el servicio de ferrocarriles es proporcionado por una sola empresa de propiedad pública: Ferrocarriles Nacionales de México (FNM), que tiene dos tipos de operación: de arrastre (foránea) y de patio (o cambio). Las locomotoras de arrastre generalmente viajan entre localidades distantes, desde una ciudad a otra (incluyendo el servicio de carga intermodal, el servicio de carga mixto y el transporte de pasajeros), usando locomotoras con una potencia de 3,000 hp. Las locomotoras de patio básicamente son responsables del movimiento de vagones dentro de un patio de trenes particular, tienen una potencia de 1,800 hp.

En la mayoría de los sistemas ferroviarios existen dos tipos de locomotoras: diesel y diesel-eléctricas. Las primeras son alimentadas por la electricidad que es generada en las plantas estacionarias de energía y distribuida por un tercer riel, o por un sistema aéreo. Las emisiones son producidas solamente en la planta de generación eléctrica y no son cubiertas en un inventario de fuentes móviles que no circulan por carreteras. Las locomotoras diesel-eléctricas utilizan un motor de diesel, y un alternador o generador para producir la electricidad requerida para alimentar los motores de tracción.

CONTAMINANTES: GOT, CO, NO_x, SO_x, PM

GOR: Las emisiones de GOR constituyen 97.2% del GOT para la combustión diesel.

AJUSTE DE FUENTES PUNTUALES: Ninguno.

METODOLOGIA:

Las emisiones de las locomotoras de arrastre y de patio deben ser calculadas por separado. En esta guía se presentan los métodos para cada una de estas operaciones. Nótese que en esta sección sólo se consideran las emisiones de las locomotoras diesel-eléctricas.

Operaciones de arrastre

Para esta categoría de fuentes, las emisiones se estiman con base en la cantidad de combustible quemado.

Si las locomotoras en línea sólo viajan dentro del área del inventario, el consumo de combustible puede ser determinado directamente a partir de la cantidad dispensada. Son embargo, las locomotoras de arrastre no limitan sus recorridos dentro del área de un inventario y, por lo tanto, no necesariamente consumen el combustible en la misma localidad en que fue dispensado. Para estimar las emisiones, primero debe estimarse la cantidad de combustible quemado en el área de interés.

Es recomendable que el consumo de combustible sea determinado de acuerdo con la longitud de la vía, de manera tal que el porcentaje de combustible quemado se base en el porcentaje de la longitud de la vía dentro del área del inventario, tal y como se indica en la siguiente ecuación.

$$F_{ci} = F_{cn} \times \frac{TL_i}{TL_n}$$

$$C_{ci} = C_{cn} \times LV_i/LV_n \quad (5.1-1)$$

donde: C_{ci} = Consumo de combustible ferroviario para el área de inventario i (litros)
 C_{cn} = Consumo nacional de combustible ferroviario (litros)
 LV_i = Longitud de las vías en el área de inventario i (km)
 LV_n = Longitud nacional de las vías ferroviarias (km).

Para estimar las emisiones, los factores de emisión deben ser aplicados a los valores de consumo de combustible, como se indica en la siguiente ecuación:

$$EL_{pi} = C_{ci} \times FE_{lp} \quad (5.1-2)$$

donde: EL_{pi} = Estimado de emisiones anuales (kg) para el contaminante p para el área de inventario i, para operaciones ferroviarias largas
 F_{ci} = Consumo de combustible ferroviario para el área de inventario i (litros/año)
 FE_{lp} = Factor de emisión para el contaminante p (kg/litro) (de la tabla de datos).

Los datos de longitud de las vías se pueden obtener de FNM, midiendo la distancia en los mapas locales, o utilizando los datos del estudio del Sistema de Información Geográfica (SIG) del Departamento de Transporte de EU (<http://www.bts.gov/cgi-bin/gis/ntad-download.pl/mexrail>). Si, por ejemplo, se ha estimado que el 10 por ciento de la longitud nacional de las vías corre dentro del área de inventario, para determinar el combustible total consumido en ésta es necesario multiplicar el consumo nacional total por 0.10.

DATOS NECESARIOS- Operaciones en Línea:

Datos	Fuentes
Datos nacionales del combustible ferroviario (1996): 652.4 × 10 ⁶ litro/año	Nava, 1996
Longitud nacional de vías (1996): 20,447 km	Nava, 1996
Longitud de vías en el área de inventario Uso de combustible en el área de inventario	FNM, mediciones en los mapas locales o base de datos SIG
Factores de Emisión:	Calculado utilizando la Ecuación (5.1-1)
GOT 0.0025 kg/litro	U.S. EPA, 1992a
CO 0.0075 kg/litro	
NO _x 0.0591 kg/litro	
SO ₂ ^a 0.0043 kg/litro	
PM 0.0014 kg/litro	

^a Las emisiones de SO₂ son calculadas sobre un contenido de azufre supuesto en el combustible de 0.25% en peso.

$$\text{i. e., } \frac{0.863 \text{ kg combustible}}{\text{litro de combustible}} \times \frac{0.0025 \text{ kg S}}{\text{kg combustible}} \times \frac{2 \text{ kg SO}_2}{\text{kg S}} = \frac{0.004315 \text{ kg SO}_2}{\text{litro de combustible}}$$

EJEMPLO DE CALCULO:

Calcular las emisiones GOT para un Area de Inventario A, que tiene 1,100 km de vías. En 1996, la longitud nacional de las vías era de 20,447 km y el consumo nacional de combustible ferroviario fue de 652.4 millones de litros. El uso de combustible en el área de inventario es de:

$$\begin{aligned} &= 652.4 \times 10^6 \text{ litros} \left(\frac{1,100 \text{ km}}{20,447 \text{ km}} \right) \\ &= 35.0 \times 10^6 \text{ litros} \end{aligned}$$

Las emisiones de GOT estimadas son:

$$\begin{aligned} &= (35.0 \times 10^6 \text{ litros}) \times (0.0025 \text{ kg/litro}) \\ &= 87,500 \text{ kg} \\ &= 87.5 \text{ Mg} \end{aligned}$$

Operaciones de Patio

Las emisiones de las locomotoras de patio se obtienen multiplicando el número de unidades que operan dentro del área del inventario, por las emisiones generadas por cada unidad durante el año. La ecuación es:

$$EP_{pi} = NP_i \times FE_{pp} \quad (5.1-3)$$

donde:

EP_{pi}	=	Emisiones anuales estimadas (kg) para el contaminante p para un área de inventario i, para las operaciones de locomotoras de patio
NP_i	=	Número de locomotoras de patio que operan en un área de inventario i
FE_{pp}	=	Factores de emisión para las locomotoras de patio para el contaminante p (kg/año) (de la tabla de datos).

Debido a que este tipo de locomotoras opera dentro de los límites de un patio de trenes, es posible estimar el número de éstas que operan dentro del área de inventario, a través de entrevistas a los gerentes de patio, quienes mantienen registros sobre las operaciones de las locomotoras. Si este enfoque no es productivo, el número puede ser determinado manualmente, contando el número de unidades que operan en cada patio de trenes durante un día determinado. Este método es adecuado porque el número de locomotoras permanece relativamente constante durante todo el año.

El promedio anual de emisiones mostrado en la siguiente tabla fue calculado con base en el supuesto de que un motor de patio promedio consume 856 litros de combustible diarios. Si bien estos datos fueron desarrollados en EU, se considera que son aplicables en México. Dado que es posible asumir que las locomotoras de patio operan 365 días al año (esto supone el reemplazo de una unidad que es retirada para reparación), el motor promedio consume 312,440 litros de combustible al año. La emisión anual por locomotora de patio fue determinado multiplicando el estimado de consumo de combustible (312,440 litros/año) por cada factor de emisión en la tabla de datos.

DATOS NECESARIOS - Operaciones de Patio:

Datos	Fuentes
Número de locomotoras de patio en operación en el área de inventario	Gerente de patio o conteo manual
Factores de Emisión	U.S. EPA, 1992a
GOT 1,893 kg/locomotora/año	
CO 3,345 kg/locomotora/año	
NO _x 18,873 kg/locomotora/año	
SO ₂ ^a 1,395 kg/locomotora/año	
PM 516 kg/locomotora/año	

^a Las emisiones de SO₂ son calculadas sobre un contenido de azufre supuesto en el combustible de 0.25% en peso. Ver nota 3.

$$\text{i. e., } \frac{0.004315 \text{ kg SO}_2}{\text{litro de combustible}} \times \frac{0.0025 \text{ litro de combustible}}{\text{año}} = \frac{1.395 \text{ kg SO}_2}{\text{locomotora año}}$$

EJEMPLO DE CALCULO:

El Area de Inventario A tiene 21 locomotoras de patio en operación.

Las emisiones GOT calculadas son:

$$\begin{aligned} &= 21 \times (1893 \text{ kg/locomotora/año}) \\ &= 39,753 \text{ kg} \\ &= 39.8 \text{ Mg} \end{aligned}$$

NOTAS:

1. Para que un inventario de locomotoras sea considerado completo, deben estimarse las emisiones tanto de las locomotoras en línea como de las de patio.
2. El factor de emisión de libras de SO₂/litro de combustible cambiará con la densidad de éste y su contenido de azufre de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\text{factor de emisión} \left(\frac{\text{kg SO}_2}{\text{litro de comb.}} \right) = \frac{\text{kg de comb.}}{\text{litro de comb.}} \times \begin{array}{l} \% \text{ de azufre en} \\ \text{combustible, expresado} \\ \text{como decimal} \end{array} \left(\frac{\text{kg S}}{\text{kg comb.}} \right) \times \frac{2 \text{ kg SO}_2}{\text{kg S}}$$

por ejemplo:

$$\left(\frac{0.0043 \text{ 15 kg SO}_2}{\text{litro.}} \right) = \frac{0.863 \text{ kg}}{\text{litro}} \times \left(\frac{0.0025 \text{ kg S}}{\text{kg}} \right) \times \frac{2 \text{ kg SO}_2}{\text{kg S}}$$

3. Las emisiones de locomotoras de la U.S. EPA 1992a, Sección 6.0, fueron utilizadas para convertir los factores de emisión de unidades inglesas a métricas. El factor de emisión para SO₂ presentado para las operaciones de patio fue obtenido aplicando un uso de combustible supuesto de 322,312 litros/año (85,410 gal/año) por locomotora. Resalta el hecho de que la U.S. EPA 1992a utiliza un uso de combustible ligeramente menor por locomotora de 312,259 litros/año (82,490 gal/año) para todos los otros contaminantes enlistados.

5.2 Embarcaciones Marítimas Comerciales

CODIGO DE FUENTE	DESCRIPCION
22-80-002-xxx	Embarcaciones marítimas: combustible diesel
22-80-003-xxx	Embarcaciones marítimas: aceite residual

DESCRIPCION:

Las embarcaciones marítimas comerciales incluyen todos los botes y barcos utilizados directa o indirectamente para el comercio. Esto incluye embarcaciones que van desde botes charter de 7 metros de eslora, hasta grandes buques-tanque y embarcaciones militares que pueden exceder los 300 metros de eslora. A pesar de la amplia gama de embarcaciones representadas en esta categoría, la mayor parte de ellas tiene motores diesel (embarcaciones de motor) o turbinas de vapor (barcos de vapor). En general, los motores de gasolina no son utilizados para las embarcaciones marítimas comerciales. Los botes recreativos de gasolina se describen en la Sección 5.4.

El combustible predominante en todas las embarcaciones de motor y la mayoría de los barcos de vapor es el aceite, tanto destilado como en grados residuales. En los barcos de vapor, típicamente se utiliza combustible residual, por ejemplo, aceite pesado No. 6 o Bunker C. Los motores diesel de velocidad moderada requieren una mezcla de aceite destilado y residual para tener una operación satisfactoria. Las embarcaciones de motor utilizan máquinas que requieren aceite destilado. También se manejan otros combustibles, aunque en una proporción limitada. La madera, carbón y bagazo son consumidos en situaciones sumamente excepcionales.

CONTAMINANTES: GOT, CO, NO_x, SO_x, PM

GOR: Para embarcaciones de motor, las emisiones de GOR constituyen 97.2% del GOT (destilado); y para las de vapor, las emisiones de GOR constituyen 82.8% del GOT (aceite residual).

AJUSTES DE FUENTE PUNTUAL: Ninguno.

Existen dos métodos para la estimación de emisiones para las embarcaciones marítimas comerciales. El primer método se basa en la cantidad de combustible vendido para uso marítimo. Las emisiones son estimadas con base en los supuestos con respecto al porcentaje del combustible vendido que en realidad es utilizado dentro del área del puerto, y en la tasa de emisión asociada con el uso del combustible. El segundo método busca proporcionar una estimación más precisa basada en los datos de movimiento del barco. Esta sección describe ambos métodos. Los cálculos requieren sólo de un método, no de ambos, que dependerá de la disponibilidad de los datos locales. Es razonable suponer que las embarcaciones marítimas comerciales utilizadas en todo el mundo tendrán características de emisión similares. Si bien los datos aquí proporcionados provienen de referencias estadounidenses, constituyen estimados de emisión razonables para las embarcaciones marítimas que entran en los puertos mexicanos.

Método de las Ventas de Combustible

METODOLOGIA:

El método de las ventas de combustible asume que el 25% del aceite residual, y 75% del aceite destilado vendido en puerto es utilizado en puerto; que todo el aceite destilado es utilizado en embarcaciones de motor y que todo el aceite residual, en barcos de vapor. Las cantidades totales estimadas de aceite residual y destilado usadas en puerto son:

$$\begin{aligned} C_{ri} &= 0.25 \times C_{rs} \text{ para residual} \\ C_{di} &= 0.75 \times C_{ds} \text{ para destilado} \end{aligned} \quad (5.2-1)$$

donde: C_{ri} y C_{di} = Cantidades de aceite residual y destilado, respectivamente, utilizadas en el puerto i
 C_{rs} y C_{ds} = Cantidades totales de aceite residual y destilado vendidas en el área de inventario para uso marítimo.

Para calcular los estimados, se aplica un factor de emisión a las cantidades Q_{ri} y Q_{di} . Estos factores de emisión para embarcaciones de motor se muestran en la tabla de datos, y se dan para dos categorías: fluviales y costeras. Un puerto fluvial recibe embarcaciones que navegan a lo largo de la cuenca de un río. Un puerto marino recibe embarcaciones que viajan dentro y a través de un océano. Para calcular las emisiones para embarcaciones de motor y barcos de vapor debe utilizarse la siguiente ecuación:

$$E_{ip} = (C_{ri} \times FE_{rp}) + (C_{di} \times FE_{dp}) \tag{5.2-2}$$

donde: E_{ip} = Cantidad de emisiones de contaminante p producido anualmente por embarcaciones que operan dentro de un área i
 C_{ri} y C_{di} = Cantidades de aceite residual y destilado, respectivamente, usadas en el puerto i
 FE_{rp} y FE_{dp} = Factores de emisión para el contaminante p, para el aceite residual y destilado, respectivamente.

DATOS NECESARIOS - Método de las Ventas de Combustible:

Datos	Fuentes
Uso anual de combustible (residual y diesel)	Autoridad portuaria local o Dirección General de Puertos
Porcentaje de combustible utilizado en puerto (25% para combustibles residuales y 75% para combustible diesel)	U.S. EPA, 1989
Factores de Emisión: Barcos de Vapor (Combustibles residuales) GOT ^a 0.463 kg/1000 litro GOR 0.383 kg/1000 litro (3.2 lb/10 ³ gal) CO despreciable NO _x 4.362 kg/1000 litro (36.4 lb/10 ³ gal) SO _x 19 × % azufre [kg/1000 litro] (159 × % azufre [lb/10 ³ gal]) PM 1.198 kg/1000 litro (10 lb/10 ³ gal) Embarcaciones de Motor (combustibles diesel): Embarcaciones Fluviales GOT 6.2 kg/1000 litro GOR 6.0 kg/1000 litro CO 12.0 kg/1000 litro NO 33.0 kg/1000 litro SO _x 3.2 kg/1000 litro Embarcaciones Costeras GOT 6.2 kg/1000 litro GOR 6.0 kg/1000 litro CO 13.0 kg/1000 litro NO _x 32.0 kg/1000 litro SO _x 3.2 kg/1000 litro	U.S. EPA, 1989

^a El factor de emisión GOT derivado del factor de emisión GOR y las relaciones GOR/GOT se presentaron previamente en esta sección.

EJEMPLO DE CALCULO - Método de las Ventas de Combustible:

El puerto costero A surte anualmente 1 millón de litros de diesel a embarcaciones de motor y 459,000 litros de combustible residual a barcos de vapor.

El combustible utilizado en el puerto es:

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Residual} & C_{ir} & = 0.25 \times C_{rs} \\
 & & = 0.25 \times 459,000 \text{ litros} \\
 & & = 114.750 \text{ litros} \\
 \\
 \text{Diesel} & C_{rs} & = 0.25 \times C_{ds} \\
 & & = 0.75 \times 1,000,000 \text{ litros} \\
 & & = 750,000 \text{ litros}
 \end{array}$$

Los estimados de emisión para GOT son:

$$\begin{aligned}
 E_{ip} &= (Q_{ri} \times FE_{rp}) + (Q_{di} \times FE_{dp}) \\
 &= 114.750 \text{ litros (0.463 kg/1,000 litros)} + 750,000 \text{ litros (6.2 kg/1,000 litros)} \\
 &= 53.1 + 4,650 \text{ kg} \\
 &= 4,703 \text{ kg} \\
 &= 4.7 \text{ Mg}
 \end{aligned}$$

Método de los Movimientos del Barco**METODOLOGIA:**

Este método utiliza datos relacionados con el número de embarcaciones en diversas categorías de tamaños que usan un puerto particular, así como supuestos sobre la actividad del barco en los muelles y sus movimientos dentro y fuera de la bahía. Este enfoque tiene asociados dos tipos independientes de emisiones:

- Emisiones en ruta (i. e., emisiones de las embarcaciones mientras transitan en la bahía)
- Emisiones en muelle (i. e., emisiones de las embarcaciones que están atracadas en los muelles cargando o descargando mercancías)

A continuación se discuten los métodos para estimar emisiones a partir de las emisiones en ruta y en muelle.

Emisiones en Ruta

El primer elemento requerido de los datos es el número de embarcaciones, por categoría de tamaño, que usan el puerto. Hay cuatro categorías que son de interés:

- Embarcaciones de calado menor a dos metros
- Embarcaciones de calado mayor a dos metros pero menor a cuatro
- Embarcaciones de calado mayor a cuatro metros pero menor a seis
- Embarcaciones de calado de seis metros o más.

Estos datos son utilizados para calcular las emisiones de embarcaciones en ruta y en muelle.

Las emisiones en ruta se generan mientras la embarcación está entrando, saliendo o maniobrando en puerto. Los estimados de las emisiones producidas por las embarcaciones en ruta se pueden desarrollar con base en el tiempo promedio de viaje de las embarcaciones que entran, maniobran y abandonan el puerto, aplicando un factor de consumo para estimar el uso del combustible dentro del puerto, y aplicando una tasa de emisión basada en la cantidad del combustible usado.

Se asume que las embarcaciones de calado menor que seis metros (profundidad requerida del agua para que las embarcaciones cargadas puedan operar) tienen motores diesel que utilizan combustibles destilados; mientras que aquellas con calados mayores que 6 metros se alimentan con vapor. Si bien las grandes embarcaciones alimentadas con diesel son capaces de quemar aceite residual, se asume que durante la ruta o la maniobra en el puerto utilizan aceite destilado. Más aún, se asume que todos los barcos de vapor siempre utilizan aceite residual.

Para estimar el tiempo de viaje promedio, se determina la distancia entre los límites exteriores del área de estudio y el centroide teórico de actividad dentro del puerto. Esta distancia es incrementada hasta 120%, para considerar las maniobras y la salida del puerto, y es dividida entre una velocidad promedio supuesta en puerto de 13 km por hora, para arrojar el tiempo promedio en ruta de cada embarcación que usa el puerto. Esto es:

$$\bar{t} = \frac{2.2d}{13} = 0.169d$$

(5.2-3)

donde: \bar{t} = Tiempo de viaje promedio para embarcaciones que usan el puerto (hr)
 d = Distancia entre el límite exterior del área de estudio y el centroide supuesto de

actividad portuaria.

Los datos de tiempo promedio de viaje pueden ser aplicados a las tasas de consumo de combustible para estimar el consumo en ruta, como se indica en la siguiente ecuación:

$$Q_{ijd} = \bar{t} \times FC_{jd} \times N_{jd} \quad (5.2-4)$$

- donde: Q_{ijd} = Consumo en ruta de una embarcación de tipo j (de vapor o de motor) con calado d para el área de inventario i (litros)
- \bar{t} = Tiempo promedio de viaje (hr)
- FC_{jd} = Tasa de consumo de combustible de una embarcación tipo j y calado d (litros/hr)
- N_{ijd} = Número de embarcaciones de tipo j y calado d en un área de inventario i.

Las tasas de consumo de combustible para las embarcaciones que operan en un puerto mexicano se proporcionan en la tabla de datos; y se presentan tasas diferentes para las embarcaciones de motor y vapor. Para determinar la distribución de las embarcaciones que operan en un puerto mexicano, es necesario determinar el número relativo de embarcaciones con y sin bandera estadounidense que visitan el puerto. Esencialmente, todas las grandes embarcaciones con bandera estadounidense son de vapor, mientras que las de otras banderas tienen motores diesel. A partir de esta información, es posible hacer una aproximación de la composición de embarcaciones de motor y de vapor.

Una vez que se ha calculado el uso de combustible asociado con las operaciones en ruta, es posible determinar las emisiones aplicando los factores de emisión de la tabla de datos, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$E_{ijp} = Q_{ijd} \times FE_{jpd} \quad (5.2-5)$$

- donde: E_{ijp} = Cantidad de emisiones de un contaminante p generadas anualmente por una categoría de embarcaciones tipo j con calado d, que operan dentro de aguas con un área i
- Q_{ijd} = Cantidad de combustible (residual o destilado) en litros, consumido por embarcaciones tipo j con calado d
- FE_{jpd} = Factor de emisiones para el contaminante p y embarcación tipo j con calado d, de la tabla de datos.

DATOS NECESARIOS - Método de Movimientos de Barcos - Emisiones en Ruta

Datos	Fuentes
Distancia entre el límite exterior del área de estudio y el centroide supuesto de actividad portuaria	Medido con ayuda de la autoridad portuaria local o la Dirección General de Puertos
Tiempo de viaje	Calculado de acuerdo con la Ecuación 5.2-3
Tipo de embarcación (de motor o vapor) Calado de la embarcación Número de embarcaciones de cada tipo y calado	Autoridad portuaria local o Dirección General de Puertos
Tasas de consumo de combustible Embarcaciones de motor Calado <2m 19 litros/hr (5 gal/hr) Calado ≥2 <4m 38 litros/hr (10 gal/hr) Calado ≥4 <6m 167 litros/hr (44 gal/hr) Calado ≥6m 484 litros/hr (128 gal/hr) Barco de Vapor Calado ≥6m 606 litros/hr (160 gal/hr)	U.S. EPA, 1989
Consumo de combustible para cada tipo y calado de embarcación	Calculado de acuerdo con la Ecuación 5.2-4
Factores de Emisión Embarcaciones de Motor Calado <2m GOT ^a 6.30 kg/1000 litro GOR 6.12 kg/1000 litro (51.1 lb/10 ³ gal) CO 5.67 kg/1000 litro (47.3 lb/10 ³ gal) NO _x 46.65 kg/1000 litro (389.3 lb/10 ³ gal) SO _x 3.24 kg/1000 litro (27 lb/10 ³ gal) Calado ≥2 <4m GOT ^a 5.48 kg/1000 litro GOR 5.33 kg/1000 litro (44.5 lb/10 ³ gal) CO 11.95 kg/1000 litro (99.7 lb/10 ³ gal) NO _x 40.57 kg/1000 litro (338.6 lb/10 ³ gal) SO _x 3.24 kg/1000 litro (27 lb/10 ³ gal)	U.S. EPA, 1989
Embarcaciones de Motor Calado ≥4 <6m GOT ^a 2.07 kg/1000 litro GOR 2.01 kg/1000 litro (16.8 lb/10 ³ gal) CO 7.45 kg/1000 litro (62.2 lb/10 ³ gal) NO _x 20.03 kg/1000 litro (167.2 lb/10 ³ gal) SO _x 3.24 kg/1000 litro (27 lb/10 ³ gal)	U.S. EPA, 1989

		Datos	Fuentes
Calado $\geq 6m$	GOT ^a	6.16 kg/1000 litro	
	GOR	5.99 kg/1000 litro (50 lb/10 ³ gal)	
	CO	13.18 kg/1000 litro (110 lb/10 ³ gal)	
	NO _x	32.35 kg/1000 litro	
	SO _x	3.24 kg/1000 litro (27 lb/10 ³ gal)	
Barcos de Vapor Calado $\geq 6m$	GOT ^a	0.10 kg/1000 litro	
	GOR	0.08 kg/1000 litro (0.7 lb/10 ³ gal)	
	CO	0.42 kg/1000 litro (3.5 lb/10 ³ gal)	
	NO _x	6.69 kg/1000 litro (55.8 lb/10 ³ gal)	
	SO _x	19 × % azufre [kg/1000 litro] (159 × % azufre [lb/10 ³ gal])	
	PM	2.4 kg/1000 litro (20 lb/10 ³ gal)	

^a El factor de emisión GOT derivado del factor de emisión GOR y las relaciones GOR/GOT se presentaron previamente en esta sección.

Emisiones en Muelle

Las grandes embarcaciones (calado de 6 metros o más) producen emisiones mientras están atracados en el muelle, dado que los sistemas auxiliares diesel de generación o las calderas principales permanecen en operación para alimentar las funciones básicas de la embarcación. Por otro lado, las calderas de la mayor parte de los barcos de vapor que estarán en puerto por menos de dos días se apagan sólo en raras ocasiones, debido al tiempo relativamente largo que es necesario para reiniciar y preparar su operación. Para estimar las emisiones producidas por estas embarcaciones, debe desarrollarse un estimado del número promedio de días en puerto, y debe determinarse una tasa de consumo de combustible. Después de que la cantidad total de combustible consumido en puerto es estimada, se aplica un factor de emisión para generar el estimado de emisión.

La estancia promedio de una embarcación comercial de gran tamaño es de uno a tres días. Un estimado para un puerto particular puede determinarse cuestionando a la autoridad portuaria, a la empresa naviera o bien, utilizando un valor por omisión de tres días.

Se asume que las tasas de consumo de combustible para las embarcaciones de vapor y motor son 7,192 litros diarios de aceite residual, y 2,490 litros diarios de aceite destilado, respectivamente. Una vez más, se asume que todas las embarcaciones con bandera estadounidense son de vapor, y las de otras banderas, de motor. El combustible usado por cada tipo de embarcación en puerto se calcula como se muestra a continuación:

$$Q_{ij} = N_{ij} \times D_{ij} \times f_{cj} \quad (5.1-6)$$

donde:	Q_{ij}	=	Consumo anual de combustible de aceite residual o destilado, en el área i, por tipo de embarcación j (embarcaciones de vapor o motor) (litros)
	N_{ij}	=	Número total de embarcaciones tipo j que utilizan el puerto i
	D_{ij}	=	Tiempo de estancia promedio de una embarcación tipo j en un área i (días)
	f_{cj}	=	Tasa de consumo de combustible para una embarcación tipo j (se asume que es de 7,192 litros diarios de aceite residual para barcos de vapor, y de 2,498 litros diarios de aceite destilado para embarcaciones de motor).

Las emisiones producidas por los barcos atracados en muelle son:

$$E_{ijp} = Q_{ij} \times FE_{jp} \quad (5.2-8)$$

donde:	E_{ijp}	=	La cantidad de emisiones del contaminante p producidas anualmente por las embarcaciones de la categoría j mientras están en puerto en aguas de área i
	Q_{ij}	=	La cantidad de combustible consumida en muelle por embarcación tipo j (en 1,000 litros)
	FE_{jp}	=	El factor de emisión para el contaminante p y la embarcación tipo j.

DATOS NECESARIOS - Método de Movimientos de Barcos - Emisiones en Muelle

Datos	Fuentes
Número anual y tipo (embarcaciones de motor/vapor) que visitan el puerto	Autoridad portuaria local o Dirección General de Puertos
Duración promedio de la estadía (días)	Autoridad portuaria local o Dirección General de Puertos
Tasa de consumo de combustible Embarcaciones de motor 2,498 litros/día (660 gal/día) Embarcaciones de vapor 7,192 litros/día (1,900 gal/día)	U.S. EPA, 1989
Combustible consumido	Calculado de acuerdo con la Ecuación 5.2-6
Factores de Emisión Embarcaciones de Motor GOT ^a 7.27 kg/1000 litros GOR 7.07 kg/1000 litros (59 lb/10 ³ gal) CO 5.27 kg/1000 litros (44 lb/10 ³ gal) NO _x 43.62 kg/1000 litros (364 lb/10 ³ gal) SO _x 3.24 kg/1000 litros (27 lb/10 ³ gal) PM despreciable Embarcaciones de Vapor GOT ^a 0.46 kg/1000 litros GOR 0.38 kg/1000 litros (3.2 lb/10 ³ gal) CO despreciable NO _x 4.36 kg/1000 litros (36.4 lb/10 ³ gal) SO _x 19 × % azufre [kg/1,000 litros] (159 × % azufre [lb/10 ³ gal]) PM 1.20 kg/1000 litros de combustible (10 lb/10 ³ gal)	U.S. EPA, 1989

^a El factor de emisión GOT derivado del factor de emisión GOR y las relaciones GOR/GOT se presentaron previamente en esta sección.

EJEMPLO DE CALCULO - Método de Movimientos de Barcos:

- La distancia desde el límite exterior del área de estudio hasta el centroide del Puerto A es de 30 km;
- El Puerto A es visitado por 10 embarcaciones de motor y dos barcos de vapor por semana (520 embarcaciones de motor y 104 barcos de vapor, anualmente)
- Todas las embarcaciones de motor tienen calado de entre dos y cuatro metros. Todas las embarcaciones de vapor tienen calado de seis metros o más.

- El número de días que las embarcaciones permanecen atracadas es 2.

Emisiones en Ruta

El tiempo calculado de viaje es de:

$$\begin{aligned}\bar{t} &= 0.169d \\ &= 0.169 \text{ hr} / \text{km} \times 30 \text{ km} \\ &= 5.07 \text{ hr}\end{aligned}$$

El consumo calculado de combustible es de:

Embarcaciones de motor	=	(5.07 hr) (38 litros/hr) (520 embarcaciones)
	=	100,183 litros
Barcos de vapor	=	(5.07 hr) (606 litros/hr) (104 embarcaciones)
	=	319,532 litros

Las emisiones estimadas de GOT son:

Embarcaciones de motor	=	(100,183 litros) (5.48 kg GOT/1,000 litros)
	=	549 kg
Barcos de vapor	=	(319,532 litros) (0.10 kg GOT/1,000 litros)
	=	32 kg

Emisiones totales en ruta = Emisiones de embarcaciones de motor + Emisiones de embarcaciones de vapor

Emisiones en Muelle

El consumo calculado de combustible es de:

Embarcaciones de motor _{ij}	=	(520 embarcaciones) (2 días) (2,498 litros/día)
	=	2,597,920 litros
Barcos de vapor _{ij}	=	(104 embarcaciones) (2 días) (7,192 litros/día)
	=	1,495,936 litros.

Las emisiones calculadas son:

Embarcaciones de motor	=	(2,597,920 litros) (7.27 kg GOT/1,000 litros)
	=	18,887 kg

$$\begin{aligned} \text{Barcos de vapor} &= (1,495,936 \text{ litros}) (0.46 \text{ kg GOT}/1,000 \text{ litros}) \\ &= 688 \text{ kg} \end{aligned}$$

Las emisiones estimadas de GOT son:

$$\begin{aligned} \text{Emisiones TOG} &= \text{Emisiones de embarcaciones de} &+ &\text{Emisiones de embarcaciones de} \\ \text{totales en muelle} &\text{motor} &&\text{vapor} \\ &= 18,887 \text{ kg} + 688 \text{ kg} \\ &= 19,575 \text{ kg.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Emisiones TOG totales} &= \text{Emisiones en ruta} &+ &\text{Emisiones en muelle} \\ &= 581 \text{ kg} + 19,575 \text{ kg} \\ &= 20,156 \text{ kg.} \end{aligned}$$

NOTAS:

1. El método del uso de combustible combina las actividades en ruta y en muelle en el estimado del combustible consumido en puerto, Si el método del movimiento del barco es utilizado para estimar emisiones de esta fuente, las emisiones en ruta y en muelle deben ser calculadas por separado y, posteriormente, combinadas para arrojar las emisiones totales de las embarcaciones marítimas comerciales.
2. Para identificar las variaciones estacionales en emisiones, las tabulaciones mensuales de la actividad de las embarcaciones debe obtenerse con la autoridad portuaria local.

5.3 Aeronaves

CODIGO DE FUENTE	DESCRIPCION
22-75-000-000	Total de Aeronaves
22-75-001-000	Militares
22-75-020-000	Total de Comerciales
22-75-050-000	Aeronaves civiles

DESCRIPCION:

Las aeronaves civiles incluyen todas las categorías de naves con alas fijas y rotatorias, desde el motor individual más pequeño, de propiedad y operación privada, hasta las aeronaves comerciales de mayor tamaño. Dentro de la categoría civil, existen tres subcategorías: aeronaves comerciales, aerotaxis y aeronaves de aviación general. En el desarrollo de un inventario de emisión, es necesario tomar en cuenta los diferentes tipos de aeronaves que utilizan cada aeropuerto. Las aeronaves comerciales se usan en vuelos regularmente programados. Los aerotaxis también viajan con un programa, llevando pasajeros y/o carga, pero en general son naves más pequeñas y operan en una base más limitada que los transportes comerciales. La aviación general incluye a cualquier nave no militar que no se utiliza en un servicio programado, La aviación de negocios realiza viajes, normalmente en un esquema no programado. Para propósitos de elaboración de un inventario de emisiones, los aviones de negocios son combinados con las aeronaves de aviación general debido a que su tamaño, frecuencia de uso y perfiles de operación son similares. En esta guía de inventario, son referidos simplemente como aviación general. De manera similar, los aerotaxis son manejados en gran medida dentro de la categoría de aviación general, debido a que típicamente tienen los mismos tipos de aeronaves. Los helicópteros, o aeronaves de alas rotatorias, pueden encontrarse en todas las categorías. Su operación es distinta debido a que no siempre operan en un aeropuerto, sino que pueden despegar y aterrizar en un helipuerto, en un hospital, estación de policía u otra localidad.

En general, las aeronaves comerciales son la mayor fuente de emisiones. Si bien constituyen menos de la mitad de todas las aeronaves en operación alrededor de un área metropolitana, sus emisiones representan un gran porcentaje de las emisiones totales debido a su tamaño y frecuencia de operación. Esto no será aplicable, desde luego, a las ciudades que no tienen grandes aeropuertos civiles.

Los contaminantes son emitidos por una aeronave cuando los motores están en operación. En el contexto del desarrollo de un inventario de emisiones, sin embargo, el interés está limitado a aquellas porciones del vuelo que se presentan entre el nivel de piso y una altitud definida como altura de inversión. Dentro de esta franja, el aire es

sumamente estable y las emisiones tienden más a difundirse que a ser transportadas. Como resultado, las emisiones por debajo de la altura de inversión tienen un efecto sobre la calidad del aire a nivel de piso, debido a la mezcla que se presenta dentro de la celda de aire.

Las emisiones de las aeronaves son afectadas el ajuste de la válvula de estrangulación, es decir, el porcentaje de máximo poder que los motores producen en un tiempo dado. Sin embargo, el ajuste de potencia es predecible, dado el modo de operación específico en el que la aeronave está funcionando. Para propósitos del desarrollo del inventario, se considera que existen cinco modos de operación:

- Aproximación (30-40% de estrangulación)
- Carreteo/Reposo Llegada (3-7% de estrangulación)
- Carreteo/Reposo Salida (3-7% de estrangulación)
- Despegue (100% de estrangulación)
- Ascenso (85-90% de estrangulación).

En conjunto, estos cinco modos integran el ciclo de aterrizaje y despegue (AD), que constituye las bases para asignar las emisiones de la aviación a una región determinada. Las emisiones para un modo dado son calculadas con base en el periodo de tiempo que la aeronave pasa en un modo específico. Este periodo se denomina Tiempo En Modo (TIM, por sus siglas en inglés).

La duración de la aproximación y ascenso depende en gran medida de la meteorología local. Debido a que el periodo de interés se ubica durante la operación de la nave dentro de la zona de modelado del aire. El espesor de la capa de inversión determina el tiempo en que la aeronave se encuentra en esta zona. La masa de aire colocada debajo de la capa de inversión y que tiene una altura conocida como altura de mezclado, constituye la zona de mezclado. Dentro de esta zona existe una gran turbulencia que permite que el aire se mezcle, diluyendo así la contaminación. Por otro lado los contaminantes emitidos dentro de la capa de inversión, que es una zona de gran estabilidad, quedan atrapados en su interior.

Cuando la aeronave se encuentra sobre la capa de inversión, ya sea en su descenso o en su ascenso a la altitud de crucero, las emisiones tienden a dispersarse más que a quedar atrapadas por la inversión, y no tienen efectos a nivel de suelo.

El tiempo de carreteo e inactividad, ya sea desde la pista a la puerta (carreteo/llegada) o de la puerta a la pista, depende del tamaño y diseño del aeropuerto, el tráfico o congestión en tierra, y de los procedimientos operativos específicos del aeropuerto. El tiempo de carreteo y espera es el más variable de los modos AD, dado que puede variar significativamente en cada aeropuerto a lo largo del día, en la medida en que la actividad cambia; y a nivel estacional, conforme la actividad en los viajes aumenta o disminuye.

El periodo de despegue, caracterizado principalmente por la operación al 100% de estrangulación, en general dura hasta que la nave alcanza entre 150 y 300 metros sobre el nivel de piso, cuando la potencia del motor es reducida e inicia el modo de ascenso. Esta altura de transición es bastante regular y no varía demasiado de una localidad a otra, o entre las categorías de aeronaves.

Se asume que las aeronaves comerciales utilizadas alrededor del mundo tienen características de emisión similares. Si bien los datos que aquí se presentan fueron desarrollados en EU, podrían constituir estimados de emisión razonables para las aeronaves que operan en los aeropuertos mexicanos.

CONTAMINANTES: GOT, CO, NO_x, SO₂, PM

GOR: Para aviones de reacción, las emisiones de GOR constituyen 84.4% del GOT.
Para aviones de pistón, las emisiones de GOR constituyen 96% del GOT.

AJUSTES DE FUENTES PUNTUALES: Ninguno.

METODOLOGIA:

Los pasos en la metodología para la estimación de emisiones son básicamente los mismos para todas las clasificaciones de aeronaves y todas las localidades, si bien algunos de los factores utilizados para la generación de un inventario son específicos del sitio. Los pasos son:

1. Identificar todos los aeropuertos a ser incluidos en el inventario.
2. Determinar la altura de mezcla a ser aplicada en el ciclo AD.
3. Definir las características de la flota aérea para la categoría de aeronaves que utiliza cada aeropuerto.
4. Determinar la actividad del aeropuerto como el número de ADs para

cada categoría de aeronave.

5. Calcular las tasas de emisión a partir de las tasas de flujo de combustible y los índices de emisión para cada categoría (posteriormente discutidos en esta sección).
6. Estimar un TIM para cada categoría de aeronaves en cada aeropuerto.
7. Calcular las emisiones con base en la actividad del aeropuerto, el TIM y los factores de emisión de las aeronaves.

La altura de la zona de mezcla influye el TIM sólo para la aproximación y ascenso. Este factor es importante, en particular cuando se calculan las emisiones NO_x más que las GOT o de CO. Si las emisiones NO_x son un componente importante del inventario, deben recopilarse los datos específicos sobre las alturas de mezcla. Si las emisiones de NO_x no son importantes, la altura de mezcla tendrá un efecto mínimo sobre los resultados, y el valor por omisión de 900 metros puede ser utilizado para obtener resultados más generalizados.

Para definir las características de la flota y la actividad del aeropuerto en México, debe contactarse a Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA) o al personal del aeropuerto de interés. Es necesario que los datos AD sean recopilados para cada tipo de aeronave en la flota.

Deben identificarse los motores utilizados en cada tipo de aeronave para seleccionar los factores de emisión del paso 5. La Tabla 5.3-1 enlista las aeronaves y los motores correspondientes a cada una de ellas. Muchos aviones utilizan un solo modelo de motor, mientras que otros están certificados para usar motores de dos o tres fabricantes diferentes. Cuando un solo motor es enlistado para un modelo de aeronave, pueden usarse los datos de emisión para dicho motor. Para las aeronaves con motores de más de un fabricante, la identificación de la mezcla de motores utilizados en la flota aérea que opera en un aeropuerto específico puede ser extremadamente compleja.

Para desarrollar una mezcla de motores representativa de los aviones con más de un modelo de motor, la Tabla 5.3-1 muestra el porcentaje de cada motor que se puede encontrar en esos aviones en la flota aérea estadounidense, a un lado del número de modelo de motor. El procedimiento recomendado para compensar la falta de datos detallados sobre los motores es usar los porcentajes mostrados en la tabla como factores de ponderación. Por ejemplo, los aviones de carga Boeing 757-200 han sido vendidos a las aerolíneas estadounidenses con motores tanto PW2040 de Pratt & Whitney como RF.211-535E4 de Rolls Royce. El número de aviones con cada modelo de motor es de 15 y 43, respectivamente, lo que arroja los porcentajes mostrados en la Tabla A de 26 y 74. Estos valores pueden ser usados para dividir los ADs totales de aviones de carga B 757-200 en dos grupos que representan ambos tipos de motor.

Esto hace que el inventario sea más representativo que el asignar un solo motor para todas las versiones de carga de los B 757-200, dado que los factores de emisión son diferentes para cada motor.

Después de identificar los motores incluidos en la flota aérea, se utilizan los factores de emisión para calcular la masa de emisiones. Para algunos de los motores mostrados en la Tabla 5.3-1, los factores de emisión no han sido determinados nunca. En estos casos, es necesario utilizar los factores de un motor alternativo. La Tabla 5.3-2 enlista los motores alternativos recomendados por los fabricantes. Para la mayoría de estos motores existen factores de emisión disponibles a partir de un motor muy similar, generalmente uno del mismo modelo y de una serie relacionada. Un pequeño grupo de motores carece de datos sobre las emisiones y sobre las alternativas sugeridas. En estos casos, se pueden aplicar tres enfoques. Primero, los datos necesarios pueden encontrarse en la última versión de la Federal Aircraft Engine Emission Database (FAEED) (*Base de Datos Federal de Emisiones de Aeronaves*) [ver <http://www.epa.gov/oar/omswww/aviation.html>].

Debe recurrirse a Federal Aviation Administration (FAA) (*Administración Federal de Aviación*) para obtener la última versión de la base de datos. Segundo, para un avión con diversos tipos de motores, en los que los datos de emisión no estén disponibles para un motor, el procedimiento recomendado es determinar la participación de mercado entre los motores para los que sí existen datos. Tercero, si la información sobre la tasa de emisión (consumo de combustible e índice de emisión) para un modelo de motor no puede ser localizada, debe contactarse directamente al fabricante.

Después de que los tipos de motor han sido identificados, las tasas de flujo de combustible e índices de emisión pueden encontrarse en la Tabla 5.3-3. Los índices de emisión son proporcionados para tasas de flujo de combustible específicas que son representativas de los arreglos de potencia usados durante los diferentes modos de operación. El índice de emisión multiplicado por la tasa de flujo de combustible arroja una tasa de emisión.

El paso 6 consiste en especificar un tiempo TIM para cada tipo de aeronave. El tiempo de despegue es bastante estándar para los aviones comerciales, y representa el tiempo para el ascenso inicial desde nivel de tierra hasta aproximadamente 150 metros. El tiempo de despegue por omisión para calcular las emisiones es del 0.7 minutos (42 segundos) y, a menos que se disponga de datos más específicos, es el que debe usarse en esta metodología. El tiempo en los modos de aproximación y ascenso dependen de la altura de mezcla. Como se mencionó anteriormente, una altura de mezcla por omisión de 900 metros fue supuesta para calcular un tiempo de aproximación de 4 minutos y un tiempo de ascenso de 2.2 minutos, que pueden ser utilizados si no se dispone de información específica sobre la altura de mezcla. A continuación se presenta el procedimiento para ajustar estos tiempos con respecto a diferentes alturas de mezcla.

El modo con la duración más variable para cada aeropuerto específico es el tiempo de carreteo/reposo. El tiempo total de carreteo/reposo para un aeropuerto muy congestionado puede ser hasta tres o cuatro veces más largo que para un aeropuerto con poco tránsito. Típicamente, el tiempo de carreteo de llegada es menor que el de salida, debido a que, en general, existen menos retrasos para los aviones que llegan que para los que están en espera para despegar. En el caso de un aeropuerto grande y congestionado, el tiempo de carreteo de salida puede ser hasta tres veces mayor que el de llegada. Este tiempo también puede variar dependiendo del tipo de avión. Por ejemplo, los jets de fuselaje ancho pueden usar puertas especiales en las terminales, que los colocan más lejos de la pista, que los jets de fuselaje angosto o los pequeños aviones de conexión regional, de manera tal que sus tiempos de carreteo tanto de entrada como de salida son más largos. Debido a la variación del tiempo de carreteo y reposo, es importante obtener datos específicos para los aeropuertos de interés en un inventario. Las aerolíneas comerciales deben mantener registros de sus tiempos de carreteo y reposo en cada aeropuerto para cada tipo de avión diferente, de manera tal que sus horarios reflejen las variaciones diarias y estacionales anticipadas. Por lo tanto, los departamentos de Operaciones de Vuelo de las aerolíneas en sus oficinas generales son las mejores fuentes de datos para el tiempo de carreteo y reposo por tipo de avión en un aeropuerto particular. Dado que todas las aerolíneas que usan un aeropuerto particular tendrán tiempos de carreteo y reposo similares, sólo es necesario obtener la información de una sola fuente. Si estos tiempos no estuvieran disponibles para un aeropuerto particular, la Tabla 5.3-4 enlista los valores por omisión para los periodos de carreteo y reposo, así como para otros modos, para las diferentes clasificaciones de aeronaves. Para los aviones comerciales, esta información se basa en datos recopilados antes de 1971 para aeropuertos de gran tamaño durante periodos de congestionamiento. Para los cálculos de un inventario, los tiempos en modo de carreteo y reposo de llegada o salida son sumados para obtener el tiempo total.

El paso final en el procedimiento consiste en calcular las emisiones totales para cada tipo de avión y sumarlas para obtener una tasa de emisión total para la aviación comercial. La siguiente serie de ecuaciones ilustra el cálculo.

Ajuste del TIM de Acercamiento y Ascenso para Representar las Condiciones Locales

Estas ecuaciones ajustan los TIMs que se basan en la altura de mezcla por omisión de 900 metros, para un valor específico de aeropuerto basado en la altura de mezcla local. La ecuación 5.3-1 supone que el modo de ascenso comienza con la transición del despegue al ascenso a 150 metros, y continúa hasta que el avión sale de la capa de mezcla.

$$\begin{aligned} \text{TIM}_{\text{App}} &= \text{TIM}_{\text{App-Def}} \left(\frac{H}{900} \right) \\ \text{TIM}_{\text{Clim}} &= \text{TIM}_{\text{Clim-Def}} \left(\frac{H - 150}{750} \right) \end{aligned} \quad (5.3-1)$$

donde:

- TIM_{App} = Tiempo real en modo de aproximación (minutos)
- $\text{TIM}_{\text{App-Def}}$ = Tiempo por omisión en modo de aproximación (minutos) (ver Tabla 5.3-4)
- H = Altura de mezcla utilizada en el modelado de calidad del aire para el tiempo y región de interés
- TIM_{Clim} = Tiempo real en modo de ascenso (minutos)
- $\text{TIM}_{\text{Clim-Def}}$ = Tiempo por omisión en modo de ascenso (minutos) (ver Tabla 5.3-4).

Si el procedimiento detallado de estimación está siendo seguido con base en aviones y motores específicos, los estimados específicos por aeropuerto para cada TIM pueden ser utilizados si están disponibles con los funcionarios del aeropuerto. Es posible que estos datos varíen ampliamente debido a los diferentes tipos de servicios proporcionados por esta categoría de aviones. De otra manera, el procedimientos de estimación se basa en los TIMs por omisión de la Tabla 5.3-4. Las emisiones deben ser calculadas por separado para las diferentes categorías de aviones.

Calcular las Emisiones para Cada Tipo de Aeronave

$$E_{ij} = \sum [(\text{TIM}_{jk}) \times (\text{FF}_{jkl} / 1000) \times (\text{EL}_{ijkl}) \times (\text{NE}_j)] \quad (5.3-2)$$

donde:

- E_{ij} = Emisiones totales de contaminante i, producidas por un avión tipo j para un ciclo AD (kg)
- TIM_{jk} = Tiempo en modo para el modo k (despegue, ascenso, aproximación, carreteo y espera), en minutos, para un avión tipo j

- FF_{jkl} = Flujo de combustible para el modo k, para el motor L utilizado en un avión tipo j (kg/minuto) (de la Tabla 5.3-3)
 EL_{ijkl} = Índice de emisión para el contaminante i en el modo k para un avión tipo j, para un motor L (kg/1,000 kg combustible) (de la Tabla 5.3-3)
 NE_j = Número de motores utilizados en un avión tipo j (de la Tabla 5.3-1).

Para estimar las emisiones, debe utilizarse la siguiente ecuación:

$$E_{aij} = E_{ij} \times AD_j \quad (5.3-3)$$

- donde: E_{aij} = Emisiones totales de un contaminante i para un tipo de avión j (kg)
 E_{ij} = Emisiones totales de un contaminante i, producidas por un tipo de avión j para un AD (kg)
 AD_j = Número de ADs para un tipo de avión j.

Para estimar las emisiones totales de la actividad de la aviación, las emisiones de cada avión son sumadas posteriormente.

Enfoque Alternativo para la Aviación General y Aerotaxis

En algunos casos, los datos AD sobre la aviación general y los aerotaxis pueden no ser reportados con el detalle requerido para utilizar el método anterior.

Es posible hacer un estimado grueso de las emisiones para cada categoría de aviones, utilizando los índices de emisión basados en una mezcla representativa de la flota aérea. Los siguientes índices fueron calculados con base en los datos de la flota aérea estadounidense de 1988 para la aviación general:

GOT	0.179 kg por AD
CO	5.449 kg por AD
NO _x	0.029 kg por AD
SO ₂	0.005 kg por AD

Debido a que los aerotaxis tienen menos de los motores más pequeños en su flota, y más motores de turbopropulsión y turbojets, sus factores de emisión son ligeramente diferentes:

GOT 0.376 kg por AD
 CO 12.76 kg por AD
 NO_x 0.072 kg por AD
 SO₂ 0.007 kg por AD

Estos factores de emisión pueden ser aplicados a la siguiente ecuación para estimar las ecuaciones:

$$E_{ij} = FE_{ij} \times AD_j$$

(5.3-4)

donde: E_{ij} = Emisiones totales de contaminante i, en kg, producidos por avión tipo j
 FE_{ij} = Factor de emisión para el contaminante i, en kg de contaminante por AD para avión tipo j
 AD_j = Ciclo AD para avión tipo j.

DATOS NECESARIOS:

Datos	Fuentes
Datos de AD por tipo de avión	ASA y operación del aeropuerto local
Datos de los motores del avión:	FAA, 1991
Número de motores	Air World, 1990
Modelo de motor y fabricante	FAA, 1991
Participación de mercado	Air World, 1990
Flujo de combustible	FAA, 1991
Índice de emisión	FAA, 1991
Altura de mezcla	Sosa, 1995
Datos de Tiempo en Modo	Operadores de los aeropuertos locales

EJEMPLO DE CALCULO:

- El Aeropuerto A es utilizado dos veces por semana por la aerolínea B, con un Boeing B-757-200, ADs anuales = 104
Boeing B-757-20: 2 motores. El 26% del mercado usa un motor DW2040 de Pratt & Whitney; y el 74% usa un motor RB.211-535 E4 de Rolls Royce.
- La altura de techo para el Aeropuerto A es de 800 metros.

$$\begin{aligned} \text{TIM}_{\text{App}} &= \text{TIM}_{\text{App-Def}} \left(\frac{H}{900} \right) \\ &= 4 \left(\frac{800}{900} \right) \\ &= 3.6 \text{ min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{TIM}_{\text{Clim}} &= \text{TIM}_{\text{Clim-Def}} \left(\frac{H - 150}{750} \right) \\ &= 4 \left(\frac{800 - 150}{750} \right) \\ &= 1.9 \text{ min} \end{aligned}$$

Los datos de tiempo de carreteo de entrada y salida del aeropuerto son proporcionados por operaciones en el aeropuerto: 25 minutos.

- Para calcular las emisiones de GOT:

$$E_{ij} = \sum [(TIM)_{jk} \times (FF)_{jkl}/1000 \times (EL)_{ijkl} \times (NE)_j]$$

Motor PW2040

$$\begin{aligned} \text{Aproximación} &= (3.6) (29.58/1000) (0.18) (2) = 0.038 \text{ kg} \\ \text{Ascenso} &= (1.9) (86.88/1000) (0.04) (2) = 0.013 \text{ kg} \end{aligned}$$

Carreteo	=	(25) (9.30/1000) (2.36) (2)	=	1.097 kg
Despegue	=	(0.7) (109.32/1000) (0.03) (2)	=	0.005 kg
Total	=	Aproximación + Ascenso + Carreteo + Despegue		
	=	0.038 + 0.013 + 1.097 + 0.005	=	1.153 kg/AD
Motor RB.211.535E4				
Aproximación	=	(3.6) (34.20/1000) (1.33) (2)	=	0.327 kg
Ascenso	=	(1.9) (90.60/1000) (0.94) (2)	=	0.324 kg
Carreteo	=	(25) (11.40/1000) (2.85) (2)	=	1.625 kg
Despegue	=	(0.7) (111.60/1000) (0.69) (2)	=	0.108 kg
Total	=	Aproximación + Ascenso + Carreteo + Despegue		
	=	0.327 + 0.324 + 1.625 + 0.108	=	2.384 kg/AD

Motores Combinados

26% (PW2040) + 74% (RB.211-535E4)

0.26 (1.153) + 0.74 (2.384) = 2.064 kg/AD

Emisiones

$$E_{ij} = FE_{ij} \times AD_j$$

$$= 2.064 \text{ kg/AD} \times 104 \text{ ADs}$$

$$= 214.66 \text{ kg.}$$

Tabla 5.3-1

Tipos de Aeronaves y Modelos de Motor

Aeronave ¹	No. de Motores	Modelo de Motor (% de Aeronaves) y Fabricante ²			
Aeronaves Comerciales					
Aerospatale ATR-42	2	PW120(53)PWC	PW121(47)PWC		
Airbus A-300-B4	2	CF6-50(100)GE			
Airbus A-300-600	2	CF6-80C2A5(100)GE			
Airbus A-310-200	2	JT9D-7R4E1(100)PW			
Airbus A-310-300	2	PW4152(100)PW			
Airbus A-320-200	2	CFM56-5A(100)GE			
BEECH 18 ³	2	R-985-AN(100)PW ⁴			
BEECH BH-C99	2	PT6A-36(100)PWC			
BEECH BH-1900	2	PT6A-65B(100)PWC			
Boeing B-707-300B	4	JT3D-3B(100)PW			
Boeing B-707-300C	4	JT3D-3B(100)PW			
Boeing B-727-100	3	JT8D-7(16)PW JT8D-7D(4)PW	JT8D-7A(4)PW JT8D-9(1)PW	JT8D-7A/7B(<1)PW JT8D-9A(2)PW	JT8D-7B(73)PW
Boeing B-727-100 ³	3	JT8D-7A(6)PW	JT8D-7B(91)PW	JT8D-9(1)PW	JT8D-9A(2)PW
Boeing B-727-200	3	JT8D-7A(<1)PW JT8D-15(26)PW JT8D-15B(<1)PW	JT8D-7B(16)PW JT8D-15A(21)PW JT8D-17(3)PW	JT8D-9(20)PW JT8D-9A(9)PW JT8D-17A(1)PW	JT8D-17R(3)PW
Boeing B-737-100/200	2	JT8D-7B(19)PW JT8D-17(7)PW	JT8D-9A(39)PW JT8D-17A(1)PW	JT8D-15(10)PW	JT8D-15A(24)PW
Boeing B-737-200C	2	JT8D-7A(10)PW JT8D-17(32)PW	JT8D-9/9A(5)PW JT8D-17A(32)PW	JT8D-9A(16)PW	JT8D-15(5)PW
Boeing B-737-300	2	CFM56-3(100)GE ⁶			
Boeing B-737-400	2	CFM56-3(100)GE			
Boeing B-747 ³	4	JT9D-7F(100)PW			
Boeing B-747F ³	4	JT9D-7F(33)PW	JT9D-7Q(17)PW	JT9D-7R4G2(11)PW	JT9D-70A(39)PW
Boeing B-747SP	4	JT9D-7A(85)PW	JT9D-7A-SP(15)PW		
Boeing B-747-200	4	CF6-50(3)GE ⁶ JT9D-7A(55)PW	JT9D-7R4G2(3)PW JT9D-7AH(13)PW	JT9D-3A(7)PW JT9D-7F(5)PW	JT9D-7(1)PW JT9D-7Q(13)PW
Boeing B-747-400	4	PW4056(100)PW			
Boeing B-757-200	2	RB.211-535E4(1)RR	PW2037(92)PW	PW2040(7)PW	

Aeronave ¹	No. de Motores	Modelo de Motor (% de Aeronaves) y Fabricante ²			
Boeing B-757-200 ³	2	PW2040(26)PW	RB.211-535E4(74)RR		
Boeing B-767-200	2	CF6-80A2(59)GE	CF6-80C2B2(12)GE ⁷	JT9D-7R4D(29)PW	
Boeing B-767-300	2	CF6-80C2B6(100)GE ⁸			
Brit. Air. Corp. BAC-111-200	2	Spey Mk 511(100)RR ⁹			
Brit. Aero. BAe-146-1	4	ALF502R-5(100)Lyc			
Brit. Aero. BAe-146-2	4	ALF502R-5(100)Lyc			
Brit Aero. Concorde	4	Olympus 593 Mk610(100)RR			
Brit Aero. JETSTREAM 31	2	TPE 331-10UF(100)Grt ⁹			
CESSNA 404 ³	2	TSIO-520-VB(100)Con ⁹			
Convair CV-580	2	501D13H(100)All. ⁹			
Convair CV-640 ³	2	Dart 542-4(100)RR			
de Havilland DASH-7	4	PT6A-50(100)PWC			
de Havilland DHC-6	2	PT6A-20(26)PWC	PT6A-27(74)PWC		
de Havilland DHC-8	2	PW120(17)PWC	PW120A(83)PWC		
deHavilland Twin Otter	2	PT6A-27(100)PW			
EMBRAER ¹⁰	2	PW6A-34(100)PWC			
EMBRAER EMB-120	2	PW118(85)PWC	PW118A(15)PWC		
Fairchild F27	2	R. Da. 7(100)RR			
Fairchild FH-227	2	Dart 532-7(100)RR			
Fokker 100	2	Tay 620-15(75)RR	Tay 650(25)RR		
Fokker F-27 SERIES	2	Dart 514-7(15)RR Dart 532-7P(24)RR Dart 532-7R(29)RR	Dart 528-7E(10)RR Dart 532-7R(3)RR	Dart 532-7(5)RR Dart 535-7R(9)RR	Dart 532-7N(3)RR Dart 536-7E(2)RR
Fokker F-28-100	2	Spey 555-15(100)RR			
Fokker F-28-4000/600	2	Spey 555-15H(12)RR	Spey 555-15P(88)RR		
Grumman Goose	2	PT6A-27(100)PWC			
Lockheed L100 Hercules	2	501(100)All			
Lockheed L100 Hercules	2	501(100)All			
Lockheed L-100-30 ³	2	501D22A(100)All. ⁹			
Lockheed L-188A/C	2	501D13(100)All. ⁹			

Aeronave ¹	No. de Motores	Modelo de Motor (% de Aeronaves) y Fabricante ²			
Lockheed L-1011/100/200	3	RB.211-22B(99)RR	RB.211-524B4(1)RR		
Lockheed L-1011-500 TR	3	RB.211-524B4(100)RR			
McDonnell Douglas DC-6 ³	4	R2800(100)PW ⁹			
McDonnell Douglas DC-6A ³	4	R2800(100)PW ⁹			
McDonnell Douglas CD-8-60	4	JT3D-3B(57)PW	JT3D-7(43)PW		
McDonnell Douglas DC-8-61 ³	4	JT3D-3B(100)PW			
McDonnell Douglas DC-8-62 ³	4	JT3D-3B(15)PW	JT3D-3BDL(21)PW	JT3D-7(64)PW	
McDonnell Douglas DC-8-63F ³	4	JT3D-3B(24)PW	JT3D-7(42)PW	JT3D-735E4(7)PW	JT8D-7(27)PW
McDonnell Douglas DC-8-70	4	CFM56-2-C1(100)GE			
McDonnell Douglas CD-8-71	4	CFM56-2(100)GE			
McDonnell Douglas DC-9-10	2	JT8D-7(100)PW ⁹			
McDonnell Douglas DC-9-15F	2	JT8D-7(15)PW	JT8D-7A(4)PW	JT8D-7A/7B(4)PW	JT8D-7B(77)PW
McDonnell Douglas DC-9-30	2	JT8D-9A(23)PW JT8D-17(1)PW	JT8D-7A(5)PW	JT8D-7B(68)PW	JT8D-15(3)PW
McDonnell Douglas DC-9-40	2	JT8D-15(100)PW			
McDonnell Douglas DC-9-50	2	JT8D-17(87)PW	JT8D-17A(13)PW		
McDonnell Douglas DC-9-80 ¹¹	2	JT8D-209(5)PW JT8D-217C(25)PW	JT8D-217(12)PW	JT8D-217A(36)PW	JT8D-219(22)PW
McDonnell Douglas DC-10-10	3	CF6-6(100)GE			
McDonnell Douglas DC-10-10 ³	3	CF6-6(100)GE			
McDonnell Douglas DC-10-30	3	CF6-50(100)GE			
McDonnell Douglas DC-10-30 ³	3	CF6-50(100)GE			
McDonnell Douglas	3	JT9D-20(100)PW			

Aeronave ¹	No. de Motores	Modelo de Motor (% de Aeronaves) y Fabricante ²			
DC-10-40					
McDonnell Douglas MD-11	2	CF6-80C2D1F(100)GE			
NAMC YS-11	2	Dart 542-10J(25)RR	Dart 542-10K(75)RR		
Saab SF-340A	2	CT7-5A()GE ¹²	CT-5A2()GE ¹²	CT7-7E()GE ¹²	
SHORT 360	2	PT6A-65AR(17)PWC	PT6A-65R(55)PWC	PT6A-67R(28)PWC	
Swearingen SWEAR-METRO 1	2	TPE 331-1J1U-611G()Grt ¹³	PT6A-45R()PW ¹⁴		
Swearingen METRO-2	2	TPE 331-1(100)GA			
General Aviation and Air Taxis					
Aerospatiale SN601 Corvette	2	JT15D-4(100)PWC			
Beech B99 Airliner	2	PT6A-27(100)PWC			
Bellanca 7GCBC Seaplane	1	O-320(100)Lyc			
Canadair CL-600 Challenger	2	ALF502L-2(100)Lyc			
Cessna Citation	2	JT15D-1(100)PW			
Cessna 150	1	O-200(100)Con			
Cessna 150	1	O-200(100)Con			
Cessna Pressurized Skymaster	2	TS10-360C(100)Con			
Cessna 337 Series	2	TSIO-360C(100)Con			
Dassault Bregue Falcon 10	2	TFE731-2(100)Grt			
Dassault Bregue Falcon 50	3	TFE731-3(100)Grt			
Dassault Falcon 20	2	CF700-2D(100)GE			
de Havilland DHC-6-300	2	PT6A-27(100)PWC			
de Havilland Twin Otter	2	PT6A-27(100)PWC			
Fairchild Pilatus PC6 Series	1	PT6A-27 ¹⁵ (100)PWC			
Gates Learjet 24D	2	CJ610-6(100)GE			
Gates Learjet 35,36	2	TPE 731-2(100)GE			

Aeronave ¹	No. de Motores	Modelo de Motor (% de Aeronaves) y Fabricante ²			
Gates Learjet 35A/36A	2	TFE731-2-2B(100)Grt			
Helio Aircraft HST-550A Stallion	1	PT6A-27(100)PWC			
Israel Aircraft IAI 1124	2	TFE731-3(100)Grt			
Learjet 31	2	TFE731-2(100)Grt			
Mitsubishi MU-300 Series	2	JT15D-4(100)PWC			
Piper Navajo Chieftain	2	T10-540(100)Lyc			
Piper PA-18 Series	1	0-320 ¹⁶ (100)Lyc			
Piper PA-42 Series	2	PT6A-41 ¹⁷ (100)PWC			
Piper Warrior	1	0-320(100)Lyc			
Rockwell International Shoreliner 75A	2	CF 700(100)GE			
Shorts Skyvan-3	2	TPE-331-2(100)GA			
Swearingen Merlin IIIA	2	TPE-331-3(100)GA			

¹ La fuente de la aeronave, tipo y número de motores es Airport Activity Statistics of Certificated Route Air Carriers, U.S. Department of Transportation, Research and Special Programs Administration, Federal Aviation Administration, 1989. NTIS Report Number ADA 2290303, y la FAA Aircraft Engine Emission Database (FAEED), U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Office of Environment and Energy, 1991. La fuente del número de aeronaves es el Census of U.S. Civil Aircraft, U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Office of Management Systems, 1989.

² A continuación del modelo de motor, entre paréntesis se encuentra el porcentaje de aeronaves que corresponde al motor particular y el fabricante del motor. Los datos de los motores GE fueron obtenidos de GE Aircraft Engines: Commercial Program Status, Volume 1, (General Electric, 1991, Cincinnati, Ohio) y la Office of Combustion Technology, GE Aircraft Engines (One Newmann Way MD A309, Cincinnati, Ohio 45215-6301, 513/774-4438). Los porcentajes correspondientes a las aeronaves se refieren a las aeronaves comerciales y gubernamentales estadounidenses en operación al 12/31/90. Los datos de los motores P&W, P&WC y RR fueron obtenidos de Turbine-Engined Fleets of the World's Airlines 1990 (Exxon Corporation, suplemento de Air World, Volume 42, Number 2, 1990). Los porcentajes correspondientes a las aeronaves se refieren sólo a las aerolíneas estadounidenses. Fabricantes de motores: Con - Teledyne/Continental, GE - General Electric, Grt - Garrett AiResearch, Lyc - Avco/Lycoming, PW - Pratt & Whitney, PWC - Pratt & Whitney Canada, RR - Rolls Royce.

³ Todos los servicios de carga.

⁴ Se asume que el porcentaje de aeronaves es de 100%.

⁵ Se refiere a las aeronaves B-737-300 y -500.

⁶ Se refiere a las aeronaves B-747-200, -300 y SR.

⁷ Se refiere a las aeronaves B-767-200ER. GE combinó el número aeronaves B-767-200ER y -300ER de en operación. Se asume que existe una distribución equivalente entre los dos modelos de aeronaves.

⁸ Se refiere a las aeronaves B-767-300ER. GE combinó el número aeronaves B-767-200ER y -300ER de en operación. Se asume que existe una distribución equivalente entre los dos modelos de aeronaves.

⁹ La fuente de la información de los motores es Modern Commercial Aircraft, Green, W., J. Mowinski, and G. Swanborough, 1987. Porcentaje de aeronaves supuesto 100%.

¹⁰ Aeronaves EMB-100 supuestas.

¹¹ Aeronaves MD-80 supuestas.

¹² La fuente de la información de los motores es Modern Commercial Aircraft. Porcentaje de aeronaves desconocido.

- ¹³ La fuente de la información de los motores es Modern Commercial Aircraft. El motor se refiere a las aeronaves METRO III. Porcentaje de aeronaves desconocido.
- ¹⁴ La fuente de la información de los motores es Modern Commercial Aircraft. El motor se refiere a las aeronaves METRO III. Porcentaje de aeronaves desconocido.
- ¹⁵ El motor se refiere a una aeronave PC6/B2H2.
- ¹⁶ El motor se refiere a una aeronave PA-18-150 Super.
- ¹⁷ El motor se refiere a una aeronave PA-42 Cheyenne.

Fuente: U.S. EPA, 1992a.

Tabla 5.3-2
Fuentes Alternativas de Datos de Emisiones
para Algunos Motores de Aeronaves

Fabricante	Modelo de Motor	Fuente Recomendada para los Datos de Emisión ²
GE	CF6-6	CF6-6D
	CF6-50	CF6-50E/C1/E1/C2/E2
	CT7-5A	CT7-5
	CT7-5A2	CT7-5
	CT7-7E	CT7-5
GE (SCNECMA)	CFM56-2	CFM56-2B
	CFM56-2-C1	CFM56-2B
	CFM56-5A	CFM56-5A1
P&W	JT3D series	Comunicarse con el fabricante ³
	JT8D-7D	JT8D-7/7A/7B
	JT8D-15B	JT8D-15
	JT9D-3A	Comunicarse con el fabricante
	JT9D-7A-SP	JT9D-7F/7A
	JT9D-7AH	JT9D-7F/7A
	JT9D-20	JT9D-7F/7A
	JT9D-70A	JT9D-70/59/7Q
	PW4060	PW4460
	RR	RB211-535E5
RB211-535F5		Comunicarse con el fabricante
TRENT 600 series		Comunicarse con el fabricante
TRENT 700 series		Comunicarse con el fabricante
SPEY MK506		Comunicarse con el fabricante
SPEY MK555-15		SPEY MK555
SPEY MK555-15P		SPEY MK555

Tabla 5.3-2
Fuentes Alternativas de Datos de Emisiones
para Algunos Motores de Aeronaves (continuación)

Fabricante	Modelo de Motor	Fuente Recomendada para los Datos de Emisión ²
RR (continuación)	SPEY MK555-15H	SPEY MK555
	SPEY MK512	Comunicarse con el fabricante
	TAY MK651	Comunicarse con el fabricante
	Dart 514-7	Dart RDa7
	Dart 528-7E	Dart RDa7
	Dart 532-7	Dart RDa7
	Dart 532-7N	Dart RDa7
	Dart 532-7P	Dart RDa7
	Dart 532-7R	Dart RDa7
	Dart 535-7R	Dart RDa7
	Dart 536-7E	Dart RDa7
	Dart 542-4	Dart RDa10
	Dart 542-10J	Dart RDa10
	Dart 542-10K	Dart RDa10
	Dart 552-7R	Dart RDa7

¹ La FAA Aircraft Engine Emission Database (*Base de Datos de las Emisiones de Motores de Aeronaves, de la FAA*) no identifica estos factores de emisión alternativos. Puede requerirse un ajuste manual de la información de las bases de datos.

² Como es recomendado por los fabricantes de los motores.

³ Para mayor información, contactar a la Office of Certification & Airworthiness, Commercial Engine Business, United Technologies Pratt & Whitney, 400 Main Street, East Hartford, Connecticut 06108, 203/565-2269.

⁴ Para mayor información, contactar al Gerente de Proyecto de Combustión, Rolls Royce Place. P.O. Box 31, Derby DE2 99J England. Teléfono - 0332 242424.

Fuente: U.S. EPA, 1992a.

Tabla 5.3-3

Tasas de Emisión por Modelo - Motores de Aeronaves Civiles¹

Fabricante de la Serie del Modelo ²	Modo	Ajuste de Potencia	Flujo de Combustible (kg/min)	Índice de Emisión (kg/1,000 kg de combustible)				
				GOT	CO	NO _x	SO ₂ ³	PM
501D22A ⁴ All.	Despegue	100%	17.96	0.28	2.04	8.88	0.54	—
	Ascenso	85%	16.62	0.89	2.06	9.22	0.54	—
	Aproximación	30%	8.62	1.96	5.10	7.49	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	4.61	17.61	43.61	3.52	0.54	—
0-200 ⁴ Con.	Despegue	100%	0.34	20.81	974.1	4.87	0.11	—
	Ascenso	85%	0.34	20.81	974.10	4.87	0.11	—
	Aproximación	40%	0.20	33.22	1187.84	1.14	0.11	—
	Carreteo/Reposo	7%	0.06	29.00	644.42	1.58	0.11	—
TS10-360C ⁴	Despegue	100%	1.01	9.17	1081.95	2.71	0.11	—
	Ascenso	85%	0.75	9.55	960.80	4.32	0.11	—
	Aproximación	40%	0.46	11.31	995.08	3.77	0.11	—
	Carreteo/Reposo	7%	0.09	138.26	592.17	1.91	0.11	—

Tabla 5.3-3 (continuación)

Fabricante de la Serie del Modelo ²	Modo	Ajuste de Potencia	Flujo de Combustible (kg/min)	Indice de Emisión (kg/1,000 kg de combustible)				
				GOT	CO	NO _x	SO ₂ ³	PM
CF6-6D GE	Despegue	100%	104.16	0.30	0.50	40.00	0.54	—
	Ascenso	85%	85.86	0.30	0.50	32.60	0.54	—
	Aproximación	30%	29.03	0.70	6.50	11.40	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	10.37	21.00	54.20	4.50	0.54	—
CF6-45 GE	Despegue	100%	127.56	0.10	1.00	30.60	0.54	—
	Ascenso	85%	106.20	0.10	1.30	26.60	0.54	—
	Aproximación	30%	36.30	0.70	8.20	10.50	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	12.12	32.70	59.20	3.90	0.54	—
CF45A/A2 GE	Despegue	100%	121.62	0.09	0.43	25.45	0.54	—
	Ascenso	85%	99.78	0.14	0.54	21.61	0.54	—
	Aproximación	30%	35.52	0.35	5.01	9.36	0.54	—
	Carreteo/Reposo	4%	9.78	2.72	24.04	3.40	0.54	—

Tabla 5.3-3 (continuación)

Fabricante de la Serie del Modelo ²	Modo	Ajuste de Potencia	Flujo de Combustible (kg/min)	Indice de Emisión (kg/1,000 kg de combustible)				
				GOT	CO	NO _x	SO ₂ ³	PM
CF6-50E/C1/E1/C2/E2 GE	Despegue	100%	145.68	0.60	0.50	36.50	0.54	—
	Ascenso	85%	115.50	0.70	0.50	29.60	0.54	—
	Aproximación	30%	39.85	1.00	5.70	9.70	0.54	—
	Carreteo/Reposo	3%	10.09	49.30	81.30	2.40	0.54	—
CF6-80A GE	Despegue	100%	128.70	0.29	1.00	29.80	0.54	—
	Ascenso	85%	107.70	0.29	1.10	25.60	0.54	—
	Aproximación	30%	36.90	0.47	3.10	10.30	0.54	—
	Carreteo/Reposo	4%	9.00	6.29	28.20	3.40	0.54	—
CF6-80A1 GE	Despegue	100%	128.70	0.29	1.00	29.80	0.54	—
	Ascenso	85%	107.70	0.29	1.10	25.60	0.54	—
	Aproximación	30%	36.90	0.47	3.10	10.30	0.54	—
	Carreteo/Reposo	4%	9.00	6.29	28.20	3.40	0.54	—

Tabla 5.3-3 (continuación)

Fabricante de la Serie del Modelo ²	Modo	Ajuste de Potencia	Flujo de Combustible (kg/min)	Indice de Emisión (kg/1,000 kg de combustible)				
				GOT	CO	NO _x	SO ₂ ³	PM
CF6-80A2 GE	Despegue	100%	135.24	0.30	1.00	29.60	0.54	—
	Ascenso	85%	113.10	0.37	1.10	25.60	0.54	—
	Aproximación	30%	38.46	0.45	2.80	10.30	0.54	—
	Carreteo/Reposo	4%	9.00	6.28	28.20	3.40	0.54	—
CF6-80A3 GE	Despegue	100%	135.24	0.30	1.00	29.60	0.54	—
	Ascenso	85%	113.10	0.37	1.10	26.60	0.54	—
	Aproximación	30%	38.46	0.45	2.80	10.80	0.54	—
	Carreteo/Reposo	4%	9.00	6.28	28.20	3.40	0.54	—
CF6-80C2A1 GE	Despegue	100%	144.00	0.08	0.56	32.22	0.54	—
	Ascenso	85%	117.18	0.09	0.54	24.85	0.54	—
	Aproximación	30%	38.16	2.00	2.19	9.76	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	11.94	9.19	42.24	3.99	0.54	—

Tabla 5.3-3 (continuación)

Fabricante de la Serie del Modelo ²	Modo	Ajuste de Potencia	Flujo de Combustible (kg/min)	Indice de Emisión (kg/1,000 kg de combustible)				
				GOT	CO	NO _x	SO ₂ ³	PM
CF6-80C2A2 GE	Despegue	100%	127.02	0.14	0.58	27.90	0.54	—
	Ascenso	85%	104.70	0.11	0.56	20.71	0.54	—
	Aproximación	30%	34.80	0.25	3.04	9.52	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	11.34	10.74	46.65	3.91	0.54	—
CF6-80C2A3 GE	Despegue	100%	147.42	0.08	0.59	34.44	0.54	—
	Ascenso	85%	120.18	0.10	0.57	25.45	0.54	—
	Aproximación	30%	38.94	0.21	2.15	10.01	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	12.12	9.21	42.18	3.96	0.54	—
CFM56-2A GE (SNECMA)	Despegue	100%	67.38	0.03	0.90	21.05	0.54	—
	Ascenso	85%	55.62	0.04	1.00	17.18	0.54	—
	Aproximación	30%	20.70	0.10	3.40	8.62	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	7.92	1.17	24.90	4.12	0.54	—

Tabla 5.3-3 (continuación)

Fabricante de la Serie del Modelo ²	Modo	Ajuste de Potencia	Flujo de Combustible (kg/min)	Indice de Emisión (kg/1,000 kg de combustible)				
				GOT	CO	NO _x	SO ₂ ³	PM
CFM56-2B GE (SNECMA)	Despegue	100%	60.12	0.05	0.90	19.06	0.54	—
	Ascenso	85%	50.22	0.08	0.90	16.30	0.54	—
	Aproximación	30%	19.32	0.10	3.70	8.14	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	7.38	1.67	29.50	3.66	0.54	—
CFM56-3 GE (SNECMA)	Despegue	100%	61.20	0.04	0.90	18.50	0.54	—
	Ascenso	85%	50.58	0.05	0.90	16.00	0.54	—
	Aproximación	30%	20.28	0.10	3.50	8.40	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	7.26	1.83	31.00	3.90	0.54	—
CFM56-3B GE (SNECMA)	Despegue	100%	68.40	0.04	0.90	20.70	0.54	—
	Ascenso	85%	55.80	0.05	0.90	17.30	0.54	—
	Aproximación	30%	21.60	0.08	3.10	8.70	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	7.80	1.25	27.00	4.10	0.54	—

Tabla 5.3-3 (continuación)

Fabricante de la Serie del Modelo ²	Modo	Ajuste de Potencia	Flujo de Combustible (kg/min)	Indice de Emisión (kg/1,000 kg de combustible)				
				GOT	CO	NO _x	SO ₂ ³	PM
CFM56-3B4 GE (SNECMA)	Despegue	100%	52.80	0.04	0.90	16.60	0.54	—
	Ascenso	85%	43.80	0.05	1.10	14.50	0.54	—
	Aproximación	30%	16.20	0.11	4.20	8.00	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	6.60	3.33	38.50	3.90	0.54	—
CFM56-3C GE (SNECMA)	Despegue	100%	70.80	0.04	0.90	20.17	0.54	—
	Ascenso	85%	58.20	0.04	1.00	17.15	0.54	—
	Aproximación	30%	20.40	0.09	3.20	8.88	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	7.20	2.14	33.40	4.00	0.54	—
CFM56-5A1 GE (SNECMA)	Despegue	100%	64.77	0.23	0.83	28.03	0.54	—
	Ascenso	85%	52.80	0.23	0.87	23.10	0.54	—
	Aproximación	30%	18.00	0.40	2.47	9.48	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	6.60	1.53	18.00	4.36	0.54	—

Tabla 5.3-3 (continuación)

Fabricante de la Serie del Modelo ²	Modo	Ajuste de Potencia	Flujo de Combustible (kg/min)	Indice de Emisión (kg/1,000 kg de combustible)				
				GOT	CO	NO _x	SO ₂ ³	PM
TFE 731-2 Grt	Despegue	100%	12.30	0.11	1.39	15.25	0.54	—
	Ascenso	85%	10.38	0.13	2.03	13.08	0.54	—
	Aproximación	30%	4.02	4.26	22.38	5.90	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	1.44	20.04	58.60	2.82	0.54	—
TFE 731-3 Grt	Despegue	100%	13.50	0.06	1.13	19.15	0.54	—
	Ascenso	85%	11.16	0.07	1.62	16.02	0.54	—
	Aproximación	30%	4.32	1.41	15.56	6.92	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	1.56	9.04	47.70	3.72	0.54	—
TPE 331-3 ⁶ Grt	Despegue	100%	3.46	0.11	0.76	12.36	0.54	1.75
	Ascenso	90%	3.09	0.15	0.98	11.86	0.54	1.47
	Aproximación	30%	1.89	0.64	6.96	9.92	0.54	2.40
	Carreteo/Reposo	7%	0.85	79.11	61.52	2.86	0.54	2.95

Tabla 5.3-3 (continuación)

Fabricante de la Serie del Modelo ²	Modo	Ajuste de Potencia	Flujo de Combustible (kg/min)	Indice de Emisión (kg/1,000 kg de combustible)				
				GOT	CO	NO _x	SO ₂ ³	PM
ALF 502L-2 Lyc	Despegue	100%	24.00	0.02	0.40	13.43	0.54	—
	Ascenso	85%	19.41	0.02	0.30	12.03	0.54	—
	Aproximación	30%	7.03	0.18	3.97	6.47	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	2.86	6.65	45.63	3.38	0.54	—
ALF 502R-3 Lyc	Despegue	100%	20.86	0.06	0.43	11.20	0.54	—
	Ascenso	85%	17.28	0.05	0.50	9.94	0.54	—
	Aproximación	30%	6.16	0.29	8.43	6.15	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	2.59	6.51	44.67	3.30	0.54	—
ALF 502R-5 Lyc	Despegue	100%	21.49	0.06	0.30	13.53	0.54	—
	Ascenso	85%	17.73	0.05	0.25	10.56	0.54	—
	Aproximación	30%	6.21	0.22	7.10	13.53	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	2.45	5.39	40.93	3.78	0.54	—

Tabla 5.3-3 (continuación)

Fabricante de la Serie del Modelo ²	Modo	Ajuste de Potencia	Flujo de Combustible (kg/min)	Indice de Emisión (kg/1,000 kg de combustible)				
				GOT	CO	NO _x	SO ₂ ³	PM
0-320 ⁴ Lyc	Despegue	100%	0.67	11.78	1077.44	2.19	0.11	—
	Ascenso	85%	0.50	12.38	989.51	3.97	0.11	—
	Aproximación	40%	0.35	19.25	1221.51	0.95	0.11	—
	Carreteo/Reposo	7%	0.07	36.92	1077.00	0.52	0.11	—
D-36 MKB	Despegue	100%	38.04	0.00	0.50	26.00	0.54	—
	Ascenso	85%	31.98	0.00	0.40	22.00	0.54	—
	Aproximación	30%	12.66	0.00	2.70	9.00	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	0.00	5.40	20.70	5.50	0.54	—
NK-86 NPO	Despegue	100%	121.14	0.00	1.30	13.60	0.54	—
	Ascenso	85%	99.00	0.00	1.70	10.00	0.54	—
	Aproximación	30%	34.32	0.00	5.00	3.80	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	14.58	4.40	27.60	2.50	0.54	—

Tabla 5.3-3 (continuación)

Fabricante de la Serie del Modelo ²	Modo	Ajuste de Potencia	Flujo de Combustible (kg/min)	Indice de Emisión (kg/1,000 kg de combustible)				
				GOT	CO	NO _x	SO ₂ ³	PM
IAE V2500 PW	Despegue	100%	66.78	0.10	0.55	37.13	0.54	—
	Ascenso	85%	55.44	0.11	0.55	30.82	0.54	—
	Aproximación	30%	20.04	0.15	0.77	13.45	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	7.44	0.22	7.76	5.91	0.54	—
JT3D-7 ⁴ PW	Despegue	100%	75.26	0.50	0.90	12.70	0.54	—
	Ascenso	85%	61.90	0.40	1.90	9.60	0.54	—
	Aproximación	30%	23.31	2.10	19.50	5.30	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	7.66	123.00	138.99	2.20	0.54	—
JT8D-7/7A/7B PW	Despegue	100%	59.35	0.40	1.50	17.10	0.54	—
	Ascenso	85%	48.68	0.50	2.00	13.50	0.54	—
	Aproximación	30%	17.16	1.60	10.50	5.50	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	7.75	10.60	35.50	2.70	0.54	—

Tabla 5.3-3 (continuación)

Fabricante de la Serie del Modelo ²	Modo	Ajuste de Potencia	Flujo de Combustible (kg/min)	Indice de Emisión (kg/1,000 kg de combustible)				
				GOT	CO	NO _x	SO ₂ ³	PM
JT8D-9/9A PW	Despegue	100%	62.40	0.47	1.24	17.92	0.54	—
	Ascenso	85%	50.76	0.47	1.66	14.21	0.54	—
	Aproximación	30%	17.88	1.73	9.43	5.64	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	7.92	10.00	34.50	2.90	0.54	—
JT8D-11 PW	Despegue	100%	67.26	0.40	1.20	18.90	0.54	—
	Ascenso	85%	54.82	0.45	1.90	14.60	0.54	—
	Aproximación	30%	20.04	1.40	9.40	5.80	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	8.73	10.00	35.00	2.75	0.54	—
JT8D-15 ⁷ PW	Despegue	100%	70.68	0.25	0.72	19.12	0.54	—
	Ascenso	85%	56.70	0.25	1.01	15.01	0.54	—
	Aproximación	30%	20.42	1.57	9.12	5.97	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	8.86	10.33	33.88	3.01	0.54	—

Tabla 5.3-3 (continuación)

Fabricante de la Serie del Modelo ²	Modo	Ajuste de Potencia	Flujo de Combustible (kg/min)	Indice de Emisión (kg/1,000 kg de combustible)				
				GOT	CO	NO _x	SO ₂ ³	PM
JT8D-15A PW	Despegue	100%	66.90	0.25	1.08	18.10	0.54	—
	Ascenso	85%	53.73	0.33	1.20	13.90	0.54	—
	Aproximación	30%	18.72	0.65	2.90	6.60	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	8.23	2.29	12.43	3.10	0.54	—
JT8D-17 ⁷ PW	Despegue	100%	74.70	0.66	0.75	19.30	0.54	—
	Ascenso	85%	59.82	0.75	1.01	15.26	0.54	—
	Aproximación	30%	21.24	1.86	8.13	6.23	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	8.82	9.57	29.56	3.29	0.54	—
JT8D-17A PW	Despegue	100%	70.38	0.25	1.07	19.10	0.54	—
	Ascenso	85%	56.06	0.30	1.16	14.30	0.54	—
	Aproximación	30%	19.82	0.64	2.88	6.70	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	8.41	2.02	12.46	3.20	0.54	—

Tabla 5.3-3 (continuación)

Fabricante de la Serie del Modelo ²	Modo	Ajuste de Potencia	Flujo de Combustible (kg/min)	Indice de Emisión (kg/1,000 kg de combustible)				
				GOT	CO	NO _x	SO ₂ ³	PM
JT8D-17AR PW	Despegue	100%	81.90	0.21	0.93	24.50	0.54	—
	Ascenso	85%	62.82	0.27	1.08	16.00	0.54	—
	Aproximación	30%	21.45	0.55	2.68	8.00	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	8.86	1.33	10.70	3.20	0.54	—
JT8D-17R PW	Despegue	100%	85.02	0.21	0.95	25.30	0.54	—
	Ascenso	85%	66.18	0.27	1.03	17.60	0.54	—
	Aproximación	30%	22.53	0.53	2.54	8.40	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	9.30	0.95	9.43	3.30	0.54	—
JT8D-209 PW	Despegue	100%	71.46	0.35	1.03	22.80	0.54	—
	Ascenso	85%	58.97	0.50	1.40	19.00	0.54	—
	Aproximación	30%	21.55	1.69	4.37	8.80	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	7.82	4.03	14.10	3.50	0.54	—

Tabla 5.3-3 (continuación)

Fabricante de la Serie del Modelo ²	Modo	Ajuste de Potencia	Flujo de Combustible (kg/min)	Indice de Emisión (kg/1,000 kg de combustible)				
				GOT	CO	NO _x	SO ₂ ³	PM
JT8D-217/217A/217C PW	Despegue	100%	79.20	0.28	0.80	25.70	0.54	—
	Ascenso	85%	64.68	0.43	1.23	20.60	0.54	—
	Aproximación	30%	23.00	1.60	4.17	9.10	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	8.23	3.33	12.27	3.70	0.54	—
JT8D-219 PW	Despegue	100%	81.24	0.27	0.73	27.00	0.54	—
	Ascenso	85%	65.10	0.42	1.20	20.80	0.54	—
	Aproximación	30%	22.90	1.59	4.07	9.13	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	8.06	3.48	12.63	3.60	0.54	—
JT9D-7 ⁴ PW	Despegue	100%	122.03	0.05	0.20	29.40	0.54	—
	Ascenso	85%	99.74	0.10	0.50	21.40	0.54	—
	Aproximación	30%	35.14	1.00	9.60	7.80	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	13.98	29.80	77.02	3.10	0.54	—

Tabla 5.3-3 (continuación)

Fabricante de la Serie del Modelo ²	Modo	Ajuste de Potencia	Flujo de Combustible (kg/min)	Indice de Emisión (kg/1,000 kg de combustible)				
				GOT	CO	NO _x	SO ₂ ³	PM
JT9D-7F(modV)/ 7A(modV) PW	Despegue	100%	130.03	0.30	0.40	46.00	0.54	—
	Ascenso	85%	105.84	0.30	0.40	34.40	0.54	—
	Aproximación	30%	37.42	0.50	2.90	7.80	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	13.14	26.00	54.00	3.10	0.54	—
JT9D-7R4D/7R4D1 PW	Despegue	100%	123.30	0.15	0.51	38.50	0.54	—
	Ascenso	85%	100.68	0.12	0.48	32.00	0.54	—
	Aproximación	30%	45.56	0.13	1.36	9.80	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	12.32	1.25	10.00	4.10	0.54	—
JT9D-7R4E/ E1(A1500) PW	Despegue	100%	127.08	0.16	0.57	41.60	0.54	—
	Ascenso	85%	103.44	0.13	0.53	34.20	0.54	—
	Aproximación	30%	39.17	0.13	1.23	10.40	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	13.26	1.11	8.27	4.10	0.54	—

Tabla 5.3-3 (continuación)

Fabricante de la Serie del Modelo ²	Modo	Ajuste de Potencia	Flujo de Combustible (kg/min)	Indice de Emisión (kg/1,000 kg de combustible)				
				GOT	CO	NO _x	SO ₂ ³	PM
JT9D-7R4E1(H) (A1-600) PW	Despegue	100%	133.08	0.15	0.67	36.90	0.54	—
	Ascenso	85%	109.74	0.13	0.67	29.70	0.54	—
	Aproximación	30%	38.40	0.22	1.46	8.50	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	13.23	3.35	14.00	3.50	0.54	—
JT9D-7R4G2 PW	Despegue	100%	145.74	0.15	0.74	41.30	0.54	—
	Ascenso	85%	112.80	0.14	0.63	32.10	0.54	—
	Aproximación	30%	39.54	0.18	1.40	8.80	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	13.44	1.55	11.82	3.80	0.54	—
JT9D-7R4H1/H2 PW	Despegue	100%	150.72	0.15	0.74	45.20	0.54	—
	Ascenso	85%	119.94	0.14	0.63	34.20	0.54	—
	Aproximación	30%	43.36	0.18	1.39	8.90	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	14.72	1.48	11.63	3.80	0.54	—

Tabla 5.3-3 (continuación)

Fabricante de la Serie del Modelo ²	Modo	Ajuste de Potencia	Flujo de Combustible (kg/min)	Indice de Emisión (kg/1,000 kg de combustible)				
				GOT	CO	NO _x	SO ₂ ³	PM
JT9D-70/59/7Q PW	Despegue	100%	146.51	0.20	0.20	31.60	0.54	—
	Ascenso	85%	119.98	0.20	0.20	25.60	0.54	—
	Aproximación	30%	40.82	0.30	1.70	7.80	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	14.22	12.00	53.00	3.00	0.54	—
PW2037 PW	Despegue	100%	92.28	0.05	0.40	31.10	0.54	—
	Ascenso	85%	75.96	0.06	0.41	24.80	0.54	—
	Aproximación	30%	23.94	0.21	2.30	10.30	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	8.46	2.26	23.10	4.40	0.54	—
PT2040 PW	Despegue	100%	109.32	0.03	0.20	47.70	0.54	—
	Ascenso	85%	86.88	0.04	0.20	27.70	0.54	—
	Aproximación	30%	29.58	0.18	2.60	11.00	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	9.30	2.36	23.60	4.40	0.54	—

Tabla 5.3-3 (continuación)

Fabricante de la Serie del Modelo ²	Modo	Ajuste de Potencia	Flujo de Combustible (kg/min)	Indice de Emisión (kg/1,000 kg de combustible)				
				GOT	CO	NO _x	SO ₂ ³	PM
PW2041 PW	Despegue	100%	115.02	0.03	0.20	37.00	0.54	—
	Ascenso	85%	92.16	0.04	0.20	29.00	0.54	—
	Aproximación	30%	31.02	0.16	2.50	11.00	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	9.54	2.23	23.10	4.50	0.54	—
PW4056/4156 PW	Despegue	100%	140.52	0.06	0.44	28.10	0.54	—
	Ascenso	85%	115.80	0.01	0.57	22.90	0.54	—
	Aproximación	30%	39.48	0.13	2.00	11.60	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	12.48	1.92	21.86	4.80	0.54	—
PW4152 PW	Despegue	100%	130.62	0.13	0.12	26.90	0.54	—
	Ascenso	85%	107.10	0.16	0.17	22.70	0.54	—
	Aproximación	30%	35.58	0.15	1.09	11.10	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	10.62	0.74	12.76	4.90	0.54	—

Tabla 5.3-3 (continuación)

Fabricante de la Serie del Modelo ²	Modo	Ajuste de Potencia	Flujo de Combustible (kg/min)	Indice de Emisión (kg/1,000 kg de combustible)				
				GOT	CO	NO _x	SO ₂ ³	PM
PW4158 PW	Despegue	100%	148.86	0.09	0.40	30.20	0.54	—
	Ascenso	85%	120.28	0.02	0.54	23.70	0.54	—
	Aproximación	30%	40.92	0.14	1.88	11.80	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	12.66	1.78	20.99	4.80	0.54	—
PW4460 PW	Despegue	100%	158.82	0.10	0.37	32.80	0.54	—
	Ascenso	85%	125.10	0.03	0.51	24.70	0.54	—
	Aproximación	30%	42.18	0.14	1.78	12.00	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	12.78	1.66	20.32	4.90	0.54	—
JT15D-1 PWC	Despegue	100%	8.88	0.01	2.65	7.60	0.54	—
	Ascenso	85%	7.44	0.01	3.50	6.77	0.54	—
	Aproximación	30%	3.06	4.43	40.50	3.44	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	1.38	50.50	132.00	1.75	0.54	—

Tabla 5.3-3 (continuación)

Fabricante de la Serie del Modelo ²	Modo	Ajuste de Potencia	Flujo de Combustible (kg/min)	Indice de Emisión (kg/1,000 kg de combustible)				
				GOT	CO	NO _x	SO ₂ ³	PM
JT15D-4 PWC	Despegue	100%	10.18	0.09	2.10	9.23	0.54	—
	Ascenso	85%	8.58	0.19	3.18	8.56	0.54	—
	Aproximación	30%	3.54	5.15	32.00	5.29	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	1.56	40.00	97.00	2.63	0.54	—
PT6A-27 ⁶ PWC	Despegue	100%	3.21	0.00	1.01	7.81	0.54	—
	Ascenso	90%	3.03	0.00	1.20	7.00	0.54	—
	Aproximación	30%	1.62	2.19	23.02	8.37	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	0.87	50.17	64.00	2.43	0.54	—
PT6A-41 ⁴ PWC	Despegue	100%	3.86	1.75	5.10	7.98	0.54	—
	Ascenso	90%	3.57	2.03	6.49	7.57	0.54	—
	Aproximación	30%	2.06	22.71	34.80	4.65	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	1.11	101.63	115.31	1.97	0.54	—

Tabla 5.3-3 (continuación)

Fabricante de la Serie del Modelo ²	Modo	Ajuste de Potencia	Flujo de Combustible (kg/min)	Indice de Emisión (kg/1,000 kg de combustible)				
				GOT	CO	NO _x	SO ₂ ³	PM
Dart RDa7 RR	Despegue	100%	10.68	1.00	3.20	5.60	0.54	—
	Ascenso	85%	9.42	1.10	3.50	4.50	0.54	—
	Aproximación	30%	4.89	3.00	33.30	0.90	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	3.10	23.90	91.40	0.70	0.54	—
Dart RDa10 RR	Despegue	100%	12.78	0.00	2.20	4.30	0.54	—
	Ascenso	85%	10.20	0.00	3.00	3.90	0.54	—
	Aproximación	30%	4.74	0.00	23.20	2.20	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	3.16	8.90	41.40	1.60	0.54	—
M45H-01 RR	Despegue	100%	29.88	0.75	6.20	11.50	0.54	—
	Ascenso	85%	24.96	0.74	7.90	9.30	0.54	—
	Aproximación	30%	8.76	7.40	51.00	3.60	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	3.18	59.50	178.40	1.50	0.54	—

Tabla 5.3-3 (continuación)

Fabricante de la Serie del Modelo ²	Modo	Ajuste de Potencia	Flujo de Combustible (kg/min)	Indice de Emisión (kg/1,000 kg de combustible)				
				GOT	CO	NO _x	SO ₂ ³	PM
OLYMPUS 593 MK610 RR	Despegue	100%	381.90	2.90	29.00	9.50	0.54	—
	Ascenso	65%	139.74	1.70	19.90	9.30	0.54	—
	Descent	15%	41.10	22.00	73.20	2.50	0.54	—
	Aproximación	34%	70.26	11.40	52.90	3.50	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	25.26	33.40	100.10	1.70	0.54	—
RB.211-22B RR	Despegue	100%	111.96	0.36	2.48	34.32	0.54	—
	Ascenso	85%	92.52	0.39	4.14	25.63	0.54	—
	Aproximación	30%	33.18	7.73	26.38	8.05	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	13.62	65.37	93.17	2.70	0.54	—
RB.211-524B/B2/B3/B4 RR	Despegue	100%	142.98	0.52	1.83	47.00	0.54	—
	Ascenso	85%	116.34	0.40	2.82	33.00	0.54	—
	Aproximación	30%	41.58	4.98	20.00	9.75	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	16.32	50.60	82.20	3.53	0.54	—

Tabla 5.3-3 (continuación)

Fabricante de la Serie del Modelo ²	Modo	Ajuste de Potencia	Flujo de Combustible (kg/min)	Indice de Emisión (kg/1,000 kg de combustible)				
				GOT	CO	NO _x	SO ₂ ³	PM
RB.211-524C2 RR	Despegue	100%	148.80	0.00	0.66	41.90	0.54	—
	Ascenso	85%	121.20	0.22	1.63	32.30	0.54	—
	Aproximación	30%	44.40	4.42	18.90	10.40	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	18.00	54.20	81.00	3.37	0.54	—
RB.211-524D4 ⁷ RR	Despegue	100%	146.11	0.02	0.53	56.97	0.54	—
	Ascenso	85%	117.01	0.42	1.15	41.06	0.54	—
	Aproximación	30%	43.08	4.68	16.44	9.68	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	17.46	45.11	71.87	4.12	0.54	—
RB.211-524G RR	Despegue	100%	157.20	2.28	0.59	58.71	0.54	—
	Ascenso	85%	124.80	1.46	0.43	40.54	0.54	—
	Aproximación	30%	42.00	1.14	1.01	9.56	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	15.60	3.28	13.74	4.63	0.54	—

Tabla 5.3-3 (continuación)

Fabricante de la Serie del Modelo ²	Modo	Ajuste de Potencia	Flujo de Combustible (kg/min)	Indice de Emisión (kg/1,000 kg de combustible)				
				GOT	CO	NO _x	SO ₂ ³	PM
RB.211-524H RR	Despegue	100%	163.80	1.00	0.90	65.80	0.54	—
	Ascenso	85%	130.20	0.60	0.40	46.30	0.54	—
	Aproximación	30%	42.60	0.30	1.00	10.30	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	15.60	0.50	11.70	4.80	0.54	—
RB.211-535C RR	Despegue	100%	108.00	0.25	0.70	33.71	0.54	—
	Ascenso	85%	88.20	0.14	0.27	24.89	0.54	—
	Aproximación	30%	32.40	0.44	0.84	6.37	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	12.00	1.44	18.79	3.44	0.54	—
RB.211-535E4 RR	Despegue	100%	111.60	0.69	1.01	52.70	0.54	—
	Ascenso	85%	90.60	0.94	1.23	36.20	0.54	—
	Aproximación	30%	34.20	1.33	1.71	7.50	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	11.40	2.85	15.44	4.30	0.54	—

Tabla 5.3-3 (continuación)

Fabricante de la Serie del Modelo ²	Modo	Ajuste de Potencia	Flujo de Combustible (kg/min)	Indice de Emisión (kg/1,000 kg de combustible)				
				GOT	CO	NO _x	SO ₂ ³	PM
SPEY MK511 RR	Despegue	100%	53.34	0.98	1.81	23.27	0.54	—
	Ascenso	85%	43.56	1.32	2.06	19.18	0.54	—
	Aproximación	30%	16.74	7.23	20.30	7.94	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	7.14	56.73	97.96	1.48	0.54	—
SPEY MK511-8 RR	Despegue	100%	53.46	0.09	0.12	22.70	0.54	—
	Ascenso	85%	43.56	0.12	0.63	17.30	0.54	—
	Aproximación	30%	16.68	0.18	2.65	7.20	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	7.62	3.69	31.77	3.60	0.54	—
SPEY MK555 ⁸ RR	Despegue	100%	33.34	0.74	0.41	19.61	0.54	—
	Ascenso	85%	27.27	1.27	0.16	15.07	0.54	—
	Aproximación	30%	10.28	5.43	17.96	6.12	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	5.33	71.84	74.68	2.26	0.54	—

Tabla 5.3-3 (continuación)

Fabricante de la Serie del Modelo ²	Modo	Ajuste de Potencia	Flujo de Combustible (kg/min)	Indice de Emisión (kg/1,000 kg de combustible)				
				GOT	CO	NO _x	SO ₂ ³	PM
TAY MK620-15/ MK611-8 RR	Despegue	100%	45.60	0.80	0.70	21.10	0.54	—
	Ascenso	85%	37.80	0.30	0.80	16.80	0.54	—
	Aproximación	30%	13.80	0.90	3.90	5.70	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	6.60	3.40	24.10	2.50	0.54	—
TAY MK650 ⁹ RR	Despegue	100%	52.44	0.40	1.70	19.80	0.54	—
	Ascenso	85%	42.90	0.40	2.00	16.50	0.54	—
	Aproximación	30%	15.24	0.90	6.50	4.60	0.54	—
	Carreteo/Reposo	7%	7.14	3.30	33.80	1.70	0.54	—

¹ Fuente: ICAO Engine Exhaust Emissions Databank. (ICAO Committee on Aviation Environmental Protection, Working Group Meeting, Mariehamn, Aland., October 1989), a menos que se indique lo contrario.

² Fabricantes: All. - Allison, Con - Teledyne/Continental, GE - General Electric, Grt - Garrett AiResearch, Lyc - Avco/Lycoming, PW - Pratt & Whitney, PWC - Pratt & Whitney Canada, RR - Rolls-Royce.

³ Las emisiones de SO₂ se basan en el promedio nacional de contenido de azufre en combustibles para aeronave de Aviation Turbines Fuels, 1989, Dickson, Cheryl L. and Paul W. Woodward, March, 1990. NIPER Report Number NIPER-164 PPS, National Institute for Petroleum and Energy Research, ITT Research Institute, Bartlesville, Oklahoma.

⁴ La fuente de datos es AP-42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume II: Mobile Sources, U.S. Environmental Protection Agency,

Ann Arbor, Michigan, September, 1985. (Aircraft data from February 1980).

- ⁵ La fuente de datos de los motores es General Electric Office of Combustion Technology, GE Aircraft Engines, One Newmann Way MD A309, Cincinnati, Ohio 45215-6301, 513/774-438.
- ⁶ La fuente de datos es AP-42. La fuente de datos sobre partículas es el AP-42 Reference 4 (M. Platt, et al., The Potential Impact of Aircraft Emissions upon Air Quality, APTD-1085, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, December 1971). La referencia indicada no especifica el número de serie para este modelo de motor.
- ⁷ La fuente de datos de los motores es ICAO, ICAO Engine Exhaust Emissions Databank. Los datos son promedios ponderados de ventas de las dos versiones de este motor. La base es 93% de combustores de alta emisión y 7% de combustores de baja emisión.
- ⁸ La fuente de datos de los motores es ICAO, ICAO Engine Exhaust Emissions Databank. Los datos son promedios ponderados de ventas de las dos versiones de este motor. La base es 77% de combustores de alta emisión y 23% de combustores de baja emisión.
- ⁹ La fuente de datos de los motores es Rolls Royce Combustion Research Department, Rolls Royce plc. P.O. Box 31, Derby DE2 8J England. Teléfono - 0332 242424.

Tabla 5.3-4

Tiempo en Modo por Omisión para Diversas Categorías de Aeronaves

Aeronave	Tiempo en Modo (minutos)						Total	Fuente
	Carreteo/Reposo Salida	Despegue	Ascenso	Aproximación	Carreteo/Reposo Llegada			
Transporte Comercial								
Jumbo, jets de distancia larga y media	19.0	0.7	2.2	4.0	7.0	32.9	AP-42, 1985	
Turbopropulsión	19.0	0.5	2.5	4.5	7.0	33.5	AP-42, 1985	
Transportes de pistones	6.5	0.6	5.0	4.6	6.5	23.2	AP-42, 1985	
Aviación General								
Jets de Negocios	6.5	0.4	0.5	1.6	6.5	15.5	AP-42, 1985	
Turbopropulsión	19.0	0.5	2.5	4.5	7.0	33.5	AP-42, 1985	
Pistones	12.0	0.3	5.0	6.0	4.0	27.3	AP-42, 1985	
Helicoptero	3.5	—	6.5	6.5	3.5	20.0	AP-42, 1985	

5.4 Otro Equipo Móvil que No Circula por Carreteras

CODIGO DE FUENTE	DESCRIPCION
22-60-000-000	Todos los vehículos que transitan fuera de carreteras: gasolina, 2 tiempos
22-60-001-xxx	Vehículos recreativos: Gasolina, 2 tiempos
22-60-002-xxx	Equipo de construcción: Gasolina, 2 tiempos
22-60-003-xxx	Equipo industrial: Gasolina, 2 tiempos
22-60-004-xxx	Equipo de jardinería: Gasolina, 2 tiempos
22-60-005-xxx	Equipo agrícola: Gasolina, 2 tiempos
22-60-006-xxx	Comercial ligero: Gasolina, 2 tiempos
22-60-007-xxx	Equipo de explotación forestal: Gasolina, 2 tiempos
22-60-008-xxx	Equipo de servicios aeroportuarios: Gasolina, 2 tiempos
22-65-000-000	Todos los que transitan fuera de carreteras: Gasolina, 4 tiempos
22-65-001-xxx	Vehículos recreativos: Gasolina, 4 tiempos
22-65-002-xxx	Equipo de construcción: Gasolina, 4 tiempos
22-65-003-xxx	Equipo industrial: Gasolina, 4 tiempos
22-65-004-xxx	Equipo de jardinería: Gasolina, 4 tiempos
22-65-005-xxx	Equipo agrícola: Gasolina, 4 tiempos
22-65-006-xxx	Comercial ligero: Gasolina, 4 tiempos
22-65-007-xxx	Equipo de explotación forestal: Gasolina, 4 tiempos
22-65-008-xxx	Equipo de servicios aeroportuarios: Gasolina, 4 tiempos
22-70-000-000	Todos los equipos de campo travesía: Diesel
22-70-001-xxx	Vehículos recreativos: Diesel
22-70-002-xxx	Equipo de construcción: Diesel
22-70-003-xxx	Equipo industrial: Diesel
22-70-004-xxx	Equipo de jardinería: Diesel
22-70-005-xxx	Equipo agrícola: Diesel
22-70-006-xxx	Comercial ligero: Diesel
22-70-007-xxx	Equipo de explotación forestal: Diesel
22-70-008-xxx	Equipo de servicios aeroportuarios: Diesel
22-82-005-xxx	Botes recreativos: Gasolina, 2 tiempos
22-82-010-xxx	Botes recreativos: Gasolina, 4 tiempos
22-82-020-xxx	Botes recreativos: Diesel

DESCRIPCION:

Además de las categorías de fuentes móviles que no circulan por carretera discutidas en las primeras secciones de este documento, existen otras fuentes adicionales que incluyen equipos y vehículos motorizados que normalmente no son operados en carreteras públicas, y que se clasifican en las siguientes ocho categorías:

- Vehículos Recreativos
- Equipo de Construcción
- Equipo Industrial
- Equipo de Jardinería
- Equipo Agrícola
- Equipo Comercial Ligero
- Equipo de Explotación Forestal
- Equipo de Servicios Aeroportuarios.

Algunos de los ejemplos de tipos específicos de equipo incluido en estas categorías generales se presentan en la Tabla 5.4-1.

Tabla 5.4-1

Otras Categorías de Fuentes que No Circulan Por Carreteras

Categoría	
Vehículos Recreativos Botes recreativos Motocicletas Vehículos para nieve Vehículos Todo Terreno Mini-motos Carros de golf	Equipo de Construcción Pavimentadoras de asfalto Compactadoras de lámina Aplanadoras Trascabos Excavadoras Equipo de perforación Mezcladoras de cemento y mortero Grúas
Equipo Industrial Grúas aéreas Montacargas Aspiradoras y Lavadoras Refrigeradores móviles Motores auxiliares Equipo portátil de perforación de pozos	Equipo de Jardinería Segadoras de pasto Bordeadoras Sopladoras Sierras de Cadena Partidores de madera Picadoras, molinos de tocones
Equipo Agrícola Segadoras Trilladoras Empaquetadoras Máquinas todo uso Tractores	Equipo Comercial Ligero Bombas Generadores Compresoras de aire Compresoras de gas Soldadoras Lavadores a presión
Equipo de Silvicultura Sierras de Cadena Desmenuzadoras Desligadores Agrupadores Taladoras	Equipo de Servicios Aeroportuarios Equipo de apoyo en aeropuerto Tractores de terminal

CONTAMINANTES: GOT, CO, NO_x, PM, SO_x

GOR: Pueden utilizarse los factores GOR/GOT que se proporcionan a continuación. Nótese que una relación GOR/GOT de "ND" indica que no existe un valor específico GOR/GOT en la referencia citada de la CARB. Sin embargo, al parecer sería razonable utilizar una relación GOR/GOT de 96.0% para equipo de escape de gasolina, y de 97.2% para el equipo de escape diesel como valores por omisión. El GOR constituye 100% del GOT para las emisiones de cigüeñal, evaporativas y carga de combustible.

CODIGO DE FUENTE	GOR/GOT	DESCRIPCION
22-60-000-000	ND	Todos los vehículos que transitan fuera de carreteras: Gasolina, 2 tiempos
22-60-001-xxx	96.0%	Vehículos recreativos: Gasolina, 2 tiempos
22-60-002-xxx	ND	Equipo de construcción: Gasolina, 2 tiempos
22-60-003-xxx	96.0%	Equipo industrial: Gasolina, 2 tiempos
22-60-004-xxx	ND	Equipo de jardinería: Gasolina, 2 tiempos
22-60-005-xxx	96.0%	Equipo agrícola: Gasolina, 2 tiempos
22-60-006-xxx	96.0%	Comercial ligero: Gasolina, 2 tiempos
22-60-007-xxx	ND	Equipo de explotación forestal: Gasolina, 2 tiempos
22-60-008-xxx	ND	Equipo de servicios aeroportuarios: Gasolina, 2 tiempos
22-65-000-000	ND	Todos vehículos los que transitan fuera de carreteras: Gasolina, 4 tiempos
22-65-001-xxx	96.0%	Vehículos recreativos: Gasolina, 4 tiempos
22-65-002-xxx	ND	Equipo de construcción: Gasolina, 4 tiempos
22-65-003-xxx	96.0%	Equipo industrial: Gasolina, 4 tiempos
22-65-004-xxx	ND	Equipo de jardinería: Gasolina, 4 tiempos
22-65-005-xxx	96.0%	Equipo agrícola: Gasolina, 4 tiempos
22-65-006-xxx	96.0%	Comercial ligero: Gasolina, 4 tiempos
22-65-007-xxx	ND	Equipo de explotación forestal: Gasolina, 4 tiempos
22-65-008-xxx	ND	Equipo de servicios aeroportuarios: Gasolina, 4 tiempos
22-70-000-000	ND	Todos vehículos los que transitan fuera de carreteras: Gasolina: Diesel
22-70-001-xxx	97.2%	Vehículos recreativos: Botes Diesel
22-70-002-xxx	ND	Equipo de construcción: Diesel
22-70-003-xxx	97.2%	Equipo industrial: Diesel
22-70-004-xxx	ND	Equipo de jardinería: Diesel
22-70-005-xxx	97.2%	Equipo agrícola: Diesel
22-70-006-xxx	97.2%	Comercial ligero: Diesel
22-70-007-xxx	ND	Equipo de explotación forestal: Diesel
22-70-008-xxx	ND	Equipo de servicios aeroportuarios: Diesel

AJUSTES DE FUENTES PUNTUALES: Ninguno.

METODOLOGIA:

Las emisiones de cualesquier fuentes móviles que no circulan por carreteras son calculadas utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones}_p = N_e \times hr_e \times hp_e \times FC_e \times FE_p \quad (5.4-1)$$

Donde:	Emisiones _p =	Emisiones de contaminante p (kg/año)
	N _e	= Número de equipos tipo e
	hr _e	= Horas anuales de uso del equipo tipo e
	hp _e	= Potencia nominal promedio para el equipo tipo e
	FC _e	= Factor de carga típico para el equipo tipo e
	FE _{p,e}	= Factor de emisión para el contaminante p y el equipo tipo e (g/hp-hr).

Las emisiones para la mayoría de los tipos de equipo recreativo y marino son calculadas utilizando ecuaciones diferentes. Para algunos tipos de equipo recreativo (vehículos todo terreno [ATVs, por sus siglas en inglés], mini-motos, motocicletas campo travesía y carros de golf), la ecuación de estimación es:

$$\text{Emisiones}_p = N_e \times hr_e \times FE_{p,e} \quad (5.4-2)$$

donde:	Emisiones _p	=	Emisiones de contaminante p (kg/año)
	N _e	=	Población del equipo tipo e
	hr _e	=	Horas anuales de uso del equipo tipo e
	FE _{p,e}	=	Factor de emisión para el contaminante p y el equipo tipo e (g/hp-hr).

Para el equipo recreativo marino, la ecuación para hacer estimaciones es:

$$\text{Emisiones}_p = N_e \times \text{Combustible}_e \times FE_p \quad (5.4-3)$$

donde:	$E_{misiones_p}$	=	Emisiones de contaminante p (kg/año)
	N_e	=	Número de equipos tipo e
	Combustible _e	=	Uso anual de combustible (gal/año)
	$FE_{p,e}$	=	Factor de emisión para el contaminante p y el equipo tipo e (g/hp-hr).

En los casos en que sea posible, deben obtenerse los datos de actividad específicos para México (i. e., población de los equipos, horas de uso, potencia del equipo, etc.). Los factores de emisión con bases estadounidenses, así como los datos de actividades estadounidenses por omisión se presentan en el Apéndice V-C, que contiene las siguientes tablas:

- Tabla 2-04 - Estimaciones promedio de potencias nominales
- Tabla 2-05 – Estimaciones de los factores de operación de carga típicos
- Tabla 2-06 - Estimaciones del uso anual
- Tabla 2-07a - Factores de emisión del equipo diesel
- Tabla 2-07b - Factores de emisión del equipo de gasolina de 4 tiempos (no ajustados para los efectos en uso)
- Tabla 2-07c - Factores de emisión del equipo de gasolina de 4 tiempos (ajustados para los efectos en uso)
- Tabla 2-07d - Factores de emisión del equipo de gasolina de 2 tiempos (no ajustados para los efectos en uso)
- Tabla 2-07e - Factores de emisión del equipo de gasolina de 2 tiempos (ajustados para los efectos en uso).

La fuente de estos factores de emisión y datos de actividad es el *Nonroad Engine and Vehicle Emission Study* (Estudio de Emisiones de los Motores y Vehículos que No Circulan por Carreteras) (U.S. EPA, 1991b) de la EPA. Estos factores de emisión y datos de actividad estadounidenses tienen una aplicación limitada en México, y deben ser utilizados solamente en el caso de que no se disponga de otros datos.

Deben señalarse dos puntos con respecto a estas tablas. Primero que nada, los datos de actividad presentados en las Tablas 2-04, 2-05 y 2-06 están dados para un Inventario A y un Inventario B. Los datos del primero fueron desarrollados exclusivamente por contratistas de la EPA, mientras que los segundos incorporaron información adicional de asociaciones de fabricantes. Por lo tanto, los datos del Inventario B son preferibles sobre los del A. Asimismo, los factores de emisión presentados en las

Tablas 2-07b y 2-07d se basan en los datos de emisión de motores nuevos, mientras que aquellos contenidos en las Tablas 2-07c y 2-07e representan los efectos del uso, incluyendo mal funcionamiento de los motores, mantenimiento inadecuado y desgaste. Por lo tanto, los factores de emisión que se presentan en las Tablas 2-07c y 2-07e son preferibles sobre los de las Tablas 2-07b y 2-07d.

DATOS NECESARIOS:

Datos	Fuentes
Población de equipos	Entidades locales o encuestas
Horas de uso	Entidades locales o encuestas; valores estadounidenses por omisión (Apéndice V-C, Tabla 2-06)
Caballaje promedio	Entidades locales o encuestas; valores estadounidenses por omisión (Apéndice V-C, Tabla 2-04)
Factor de carga	Entidades locales o encuestas; valores estadounidenses por omisión (Apéndice V-C, Tabla 2-05)
Uso de combustible (sólo equipo recreativo marino)	Entidades locales o encuestas; valores estadounidenses por omisión (Apéndice V-C, Tabla 2-06)
Factores de emisión	Factores de emisión estadounidenses (Apéndice V-C, Tablas 2-07a a 2-07e)

NOTAS:

1. El Volumen II de la cuarta edición del AP-42 (AP-42, 1985) incluyó información sobre la estimación de emisiones de fuentes móviles que no circulan por carretera, pero esta información ya no es vigente. La información presentada en el Estudio de Emisiones de los Vehículos y Motores que No Circulan por Carreteras, junto con datos de pruebas de emisiones más recientes, actualmente está siendo incorporado en una quinta edición del Volumen II del AP-42. La fecha en que este documento estará disponible es todavía incierta.
2. Los factores de emisión GOT **NO** se presentan en las tablas 2-07a a 2-07e en el Apéndice V-C. Los factores de emisión de hidrocarburos (HC) se presentan para emisiones de escape, cárter, evaporativas y carga de combustible. En otra sección del Estudio de Emisiones de los Vehículos y Motores que No Circulan por Carreteras, se explica que el valor de HC es equivalente a los compuestos orgánicos volátiles (VOCs). Debido a que el metano y el etano son excluidos de los VOCs, en esencia, los VOCs son iguales a los GOR. Por lo tanto, los factores de emisión que se presentan en el Apéndice V-C, Tablas 2-07a a 2-07e son equivalentes a los GOR. Los factores de emisión de GOT pueden ser obtenidos utilizando los factores de emisión de GOR, así como las relaciones GOR/GOT de 96.0% para equipo de escape de gasolina y 97.2% para el equipo de escape de diesel. Esto se demuestra en el ejemplo de cálculo. Para las emisiones de cárter, evaporativas y carga de combustible, el metano y etano virtualmente no están incluidos, por lo

tanto, los GOR y GOT son equivalentes.

EJEMPLO DE CALCULO:

Asumir que cierta región del inventario tiene 50 soldadoras de gasolina de cuatro tiempos, 30 bombas diesel y 15 grúas diesel. Calcular las emisiones GOT totales:

1. Determinar las horas de uso:
Con base en encuestas locales, se ha estimado que las soldadoras son utilizadas 100 horas al año; las bombas 200 horas y las grúas 600 horas.

2. Determinar la potencia nominal promedio:
Debido a que no existe información sobre encuestas locales disponible, la potencia nominal promedio se determinará utilizando la Tabla 2-04 en el Apéndice V-C.

Soldadoras - 19.0 hp
Bombas - 23.0 hp
Grúas - 194.0 hp

3. Determinar los factores de carga de operación típicos:
La información de encuestas locales tampoco está disponible, por lo tanto, se aplicarán los factores de carga tomados de la Tabla 2-05 en el Apéndice V-C.

Soldadoras - 51%
Bombas - 74%
Grúas - 43%

4. Calcular los factores de emisión:
Los factores de emisión diesel son tomados de la Tabla 2-07a, y los de gasolina de 4 tiempos de la Tabla 2-07c. Los factores de emisión de escape deben ser convertidos de GOR a GOT. Para todas las otras emisiones, GOR es equivalente a GOT.

$$\text{Escape de Soldadoras} = \left(\frac{19.95 \text{ g GOR}}{\text{hp} - \text{hr}} \right) \left(\frac{1}{0.96} \right) = \frac{20.78 \text{ g GOT}}{\text{hp} - \text{hr}}$$

$$\text{Grúas} = \left(\frac{3.14 \text{ g GOT}}{\text{hp} - \text{hr}} \right)$$

$$\text{Evaporativo} = \left(\frac{9.75 \text{ g GOT}}{\text{hp} - \text{hr}} \right)$$

$$\text{Carga de Combustible} = \left(\frac{1.72 \text{ g GOT}}{\text{hp} - \text{hr}} \right)$$

$$\text{Total} = 20.78 + 3.14 + 9.75 + 1.72 = 35.39 \text{ g GOT/hp-hr}$$

$$\text{Escape de Bombas} = \left(\frac{1.20 \text{ g GOR}}{\text{hp} - \text{hr}} \right) \left(\frac{1}{0.972} \right) = \frac{1.235 \text{ g GOT}}{\text{hp} - \text{hr}}$$

$$\text{Grúas} = \left(\frac{0.02 \text{ g GOT}}{\text{hp} - \text{hr}} \right)$$

$$\text{Evaporativo} = \left(\text{No Aplicable} \right)$$

$$\text{Carga de Combustible} = \left(\frac{0.003 \text{ g GOT}}{\text{hp} - \text{hr}} \right)$$

$$\text{Total} = 1.236 + 0.02 + 0.003 = 1.26 \text{ g GOT/hp-hr}$$

$$\text{Escape de Grúas} = \left(\frac{1.26 \text{ g GOR}}{\text{hp} - \text{hr}} \right) \left(\frac{1}{0.972} \right) = \frac{1.296 \text{ g GOT}}{\text{hp} - \text{hr}}$$

$$\text{Grúas} = \left(\frac{0.03 \text{ g GOT}}{\text{hp} - \text{hr}} \right)$$

$$\text{Evaporativo} = \left(\text{No Aplicable} \right)$$

$$\text{Carga de Combustible} = \left(\frac{0.003 \text{ g GOT}}{\text{hp} - \text{hr}} \right)$$

$$\text{Total} = 1.296 + 0.03 + 0.003 = 1.33 \text{ g GOT/hp-hr}$$

5. Calcular las emisiones

$$\text{Soldadoras} = 50 \left(\frac{100 \text{ hr}}{\text{año}} \right) (19.0 \text{ hp}) (0.51) \left(\frac{35.39 \text{ g}}{\text{hp} - \text{hr}} \right) = 1,715 \text{ kg/año}$$

$$\text{Bombas} = 30 \left(\frac{200 \text{ hr}}{\text{año}} \right) (23.0 \text{ hp}) (0.74) \left(\frac{1.26 \text{ g}}{\text{hp} \cdot \text{hr}} \right) = 129 \text{ kg/año}$$

$$\text{Grúas} = 15 \left(\frac{600 \text{ hr}}{\text{año}} \right) (194.0 \text{ hp}) (0.43) \left(\frac{1.33 \text{ g}}{\text{hp} \cdot \text{hr}} \right) = 999 \text{ kg/año}$$

$$\begin{aligned} \text{Emisiones totales} &= 1,715 + 129 + 999 \\ &= 2,843 \text{ kg GOT/año} \\ &= 2.8 \text{ Mg GOT/año} \end{aligned}$$

5.5 Cruces Fronterizos 4.5 Border Crossings4.5 Border Crossings

CODIGO DE FUENTE	DESCRIPCION
22-01-001-900*	Vehículos ligeros a gasolina (LDGV, por sus siglas en inglés)
22-01-060-900*	Camiones ligeros a gasolina (LDGT, por sus siglas en inglés)
22-01-070-900*	Vehículos pesados a gasolina (HDGV, por sus siglas en inglés)
22-01-080-900*	Motocicletas (MC)
22-30-001-900*	Vehículos ligeros a diesel (LDDV, por sus siglas en inglés)
22-30-060-900*	Camiones ligeros a diesel (LDDT, por sus siglas en inglés)
22-30-070-900*	Vehículos pesados a diesel (HDDV, por sus siglas en inglés)

* Códigos propuestos específicos para México, para categorías de fuente que no son típicamente inventariadas en EU.

DESCRIPCION:

Esta sección cubre específicamente las emisiones de los cruces fronterizos. Esta categoría es de particular interés en la región fronteriza entre México y EU. Los vehículos (tanto mexicanos como estadounidenses), a menudo se forman por largos periodos de tiempo (hasta de 1 hora), mientras esperan ingresar a EU y pasar las inspecciones aduanales. Los vehículos en la cola normalmente no apagan sus motores, sino que los mantienen encendidos mientras avanzan lentamente. Esta categoría de emisiones también es aplicable a los vehículos que entran en México (si bien el tiempo de espera al parecer es menor, comparado con los vehículos que esperan entrar en EU), y a cualesquier otros vehículos que esperan en otros puntos de revisión. La metodología que se describe a continuación es similar a la de las terminales de autobuses (ver Sección 5.6).

Debido a que estas emisiones son generadas por vehículos que circulan por carreteras, podría argumentarse que deberían ser incluidas como fuentes móviles. Sin embargo, a diferencia de las emisiones de fuentes móviles típicas, la ubicación de estas emisiones en los cruces fronterizos está muy bien definida (i. e., el segmento de carretera que se encuentra exactamente frente al cruce de frontera). Asimismo, las últimas versiones de los modelos de factores de emisión de fuentes móviles (MOBILE5a, PART5, y otras versiones modificadas relacionadas), sólo pueden ser utilizadas para estimar las emisiones de los vehículos en movimiento. Por estas razones, las emisiones estáticas en los cruces fronterizos deben ser manejadas como fuentes de área.

CONTAMINANTES: GOT, CO, NO_x, SO_x, PM₁₀

GOR: Para los vehículos de gasolina sin catalizador, las emisiones GOR constituyen

92.4% del GOT. Para los vehículos de gasolina con catalizador, las emisiones GOR constituyen 85.2% del GOT. Para los vehículos diesel, las emisiones GOR constituyen 95.7% del GOT (ARB, 1993).

AJUSTES DE FUENTES PUNTUALES: Ninguno.

METODOLOGIA:

Como se mencionó anteriormente, las últimas versiones del MOBILE5a y PART5 no proporcionan ningún factor de emisión para vehículos en reposo. Algunas versiones anteriores del MOBILE sí lo hacían, sin embargo, dichos factores representaban condiciones estándar de prueba (modo estabilizado de operación, 75 °F y un combustible con RVP de 9.0 psi). Debido a que la EPA no ha podido desarrollar un algoritmo satisfactorio para manejar las variaciones en el modo de operación, temperatura ambiente y RVP del combustible, la función de cálculo directo del factor de emisión en reposo ha sido eliminada del MOBILE5a, al mismo tiempo que se siguen recopilando datos de emisión en reposo.

La EPA ha proporcionado una metodología provisional para la estimación de las emisiones en reposo usando el MOBILE5a (U.S. EPA, 1993), que puede ser utilizada para estimar las emisiones vehiculares en los cruces fronterizos y en otras situaciones de reposo. Se asume que esta metodología es válida para el PART5 y cualesquier modelos MOBILE que hayan sido modificados para ser aplicados en México (i. e., MOBILE-MCMA, MOBILE-MMAp, MOBILE-Juárez, etc.). Un modelo MOBILE será utilizado para estimar las emisiones de GOT, CO y NO_x. Un modelo PART5 será utilizado para estimar las emisiones de PM₁₀; mientras que las emisiones de SO_x serán estimadas utilizando un balance de combustible simple.

En la metodología provisional de la EPA, las emisiones en reposo son calculadas utilizando factores de emisión de escape de un modelo MOBILE a la velocidad más baja permisible del vehículo (2.5 millas por hora [mph] para MOBILE5a y PART5; y 4 kilómetros por hora [kph] para los modelo MOBILE modificados específicos para México). Se utiliza la menor velocidad permisible debido a que tiene el mayor porcentaje de tiempo en reposo que cualquier otro ciclo de velocidad utilizado por el modelo MOBILE. Después de correr el modelo, los factores de emisión de escape para GOT, CO y NO_x serán calculados en unidades de gramo por milla o gramo por kilómetro. Para

convertir estos factores de emisión en factores de emisión en reposo en unidades de gramos por hora, es necesario multiplicar por 4 kph (o 2.5 mph). Los factores de emisión en reposo resultantes no deben incluir ninguna emisión que no sea de escape. Para mayor información sobre la forma de correr los modelos MOBILE y PART5 consulte en Manual de Vehículos Automotores (Volumen VI) de esta serie y/o los manuales de usuario de los modelos MOBILE y PART5 (U.S. EPA, 1994; U.S. EPA, 1995).

En los cruces fronterizos, los vehículos en reposo serán una mezcla de vehículos mexicanos y estadounidenses. En consecuencia, el modelo MOBILE5a debería ser utilizado para la fracción vehicular estadounidense, y un modelo MOBILE específico para México, para la fracción mexicana. El modelo MOBILE-Juárez (Radian, 1996) es el más reciente de ellos y actualmente es el modelo recomendado para estimar las emisiones de vehículos mexicanos. Sin embargo, el modelo MOBILE seguirá evolucionando en México y, en el futuro, deberá contactarse al personal del INE para identificar el modelo MOBILE más reciente.

Los oficiales de aduanas estadounidenses mantienen un conteo de los vehículos que entran en EU; sin embargo, estas estadísticas no proporcionan las fracciones vehiculares mexicana y estadounidense, y tampoco incluyen una distribución de los vehículos en las diferentes clasificaciones (i. e., LDGV, HDDV, etc.). La fracción vehicular México/EU deberá ser determinada a través de un estudio en los cruces fronterizos. Asimismo, la distribución de las clasificaciones vehiculares también pueden ser determinadas mediante estudios en los cruces fronterizos y/o en los datos locales y regionales de registro vehicular.

Finalmente, se requiere conocer la duración del tiempo en reposo. Los oficiales estadounidenses de aduanas pueden hacer una estimación gruesa al respecto, pero deben realizarse un estudio profundo para determinar un tiempo en reposo que sea representativo, la fracción y la distribución vehicular tanto mexicana como estadounidense. Todos estos datos pueden variar significativamente por hora, por día y por estación.

Dados los datos anteriores, la ecuación para estimar las emisiones de vehículos en reposo es:

$$\begin{aligned} \text{Emisiones} = & \sum (\text{Vehículos}_{\text{Tot}} \times \text{FV}_{\text{Mexico}} \times \text{FE}_{\text{Mexico},v} \times \text{VC}_{\text{Mexico},v} \times 4.0 \times \text{T}_{\text{Rep}}) \\ & + \sum (\text{Vehículos}_{\text{Tot}} \times \text{FV}_{\text{US}} \times \text{FE}_{\text{US},v} \times \text{VC}_{\text{US},v} \times 2.5 \times \text{T}_{\text{Rep}}) \end{aligned}$$

5.5-1

- donde: Vehículos_{Total} = Número total de vehículos que pasan a través del cruce de frontera
 FV_{Mexico}, FV_{US} = Fracción de vehículos que son de México o de EU
 VC_{Mexico,v}, VC_{US,v} = Fracción de vehículos mexicanos y estadounidenses en cada clase vehicular v
 FE_{Mexico,v}, FE_{US,v} = Factor de emisión para los vehículos mexicanos y estadounidenses en cada clase vehicular v, tomada del factor de emisión basado en el modelo MOBILE y PART5
 4.0 (2.5) = Factor utilizado para convertir factores de emisión en gramos por kilómetro (gramos por milla) en factores de emisión en gramos por hora
 T_{Rep} = Tiempo promedio en reposo consumido en el cruce de frontera.

DATOS NECESARIOS:

Datos	Fuentes
Parámetros de entrada del modelo de factores de emisión MOBILE5a y PART5	La descripción de los datos necesarios y las fuentes disponibles se pueden encontrar en el Manual de Vehículos Automotores (Volumen VI de esta serie)
Conteos vehiculares	Oficiales aduanales estadounidenses y otros oficiales locales.
Fracciones vehiculares mexicana y estadounidense	Encuesta específica en sitio.
Distribución de las clasificaciones vehiculares	Encuesta específica en sitio o datos del registro vehicular local.
Tiempo en reposo	Estudio de sitio específico u oficiales aduanales estadounidenses y mexicanos.

NOTAS:

1. Debe tenerse cuidado para evitar la duplicación de las emisiones que ya han sido incluidas como emisiones de fuentes móviles. La VMT general de las cuentas vehiculares puede no necesitar ser ajustada debido a la duplicación. Las ventas generales VMT de combustible, sin embargo, sí deben ser ajustadas. Adicionalmente, existe cierta incertidumbre con respecto a qué tan "real" es la estimación de emisiones cuando la velocidad se reduce hasta 4 kph.

EJEMPLO DE CALCULO:

En 1995, un estimado de 800,000 vehículos pasaron de México a EU a través de un cruce de frontera particular. Para este ejemplo, no se estimarán las emisiones de los vehículos que pasaron de EU a México. Los resultados del estudio indican un tiempo en reposo promedio de 12 minutos por vehículo. De los vehículos que entran en EU, 62% son mexicanos, y el resto son estadounidenses; 70% de los vehículos estadounidenses y 75% de los mexicanos son LDGVs. El resto de los vehículos, en ambos casos son LDGTs. Calcular las emisiones anuales de NO_x de estos vehículos en reposo.

1. A partir de las corridas de MOBILE, se calcularon los siguientes factores de emisión promedio hipotéticos de NO_x para una flota:

LDGVs estadounidenses:	2.4 g/milla
LDGTs estadounidenses:	3.2 g/milla
LDGVs mexicanos:	2.7 g/milla
LDGTs mexicanos:	3.6 g/milla
2. Multiplicando estos factores de emisión por 2.5 mph se obtienen los siguientes factores de emisión en reposo:

LDGVs estadounidenses:	6.0 g/hora
LDGTs estadounidenses:	8.0 g/hora
LDGVs mexicanos:	6.75 g/hora
LDGTs mexicanos:	9.0 g/hora
3. El número de vehículos para cada categoría es calculado utilizando las fracciones vehiculares y las fracciones de clase vehicular:

LDGVs estadounidenses: $800,000 \text{ vehículos} \times 0.38 \times 0.70 = 212,800 \text{ vehículos}$

LDGTs estadounidenses: $800,000 \text{ vehículos} \times 0.38 \times 0.30 = 91,200 \text{ vehículos}$

LDGVs mexicanos: $800,000 \text{ veh\u00edculos} \times 0.62 \times 0.75 = 372,000 \text{ veh\u00edculos}$
LDGTs mexicanos: $800,000 \text{ veh\u00edculos} \times 0.62 \times 0.25 = 124,000 \text{ veh\u00edculos}$

4. Posteriormente se calculan las emisiones NO_x totales:

$$\begin{aligned} & (212,800 \text{ veh\u00edculos} \times 0.2 \text{ horas} \times 6.0 \text{ g/hora}) + (91,200 \text{ veh\u00edculos} \times 0.2 \text{ horas} \times 8.0 \text{ g/hora}) \\ & + (372,000 \text{ veh\u00edculos} \times 0.2 \text{ horas} \times 6.75 \text{ g/hora}) + (124,000 \text{ veh\u00edculos} \times 0.2 \text{ horas} \times 9.0 \text{ g/hora}) \\ & = 255.4 \text{ kg} + 145.9 \text{ kg} + 502.2 \text{ kg} + 223.2 \text{ kg} \\ & = 1.13 \text{ Mg NO}_x \end{aligned}$$

5.6 Terminales de Autobuses y Camiones 4.6 Bus/Truck Terminals 4.6 Bus/Truck Terminals

CODIGO DE FUENTE	DESCRIPCION
22-01-070-900*	Vehículos pesados a gasolina (HDGV, por sus siglas en inglés)
22-30-070-900*	Vehículos pesados a diesel (HDDV, por sus siglas en inglés)

* Códigos propuestos específicos para México, para categorías de fuente que no son típicamente inventariadas en EU.

DESCRIPCION:

Esta sección se refiere a las emisiones de las terminales de autobuses y camiones. En México, estos vehículos a menudo hacen cola por largos periodos de tiempo esperando cargar y/o descargar carga o pasajeros. Los vehículos en la cola normalmente no apagan sus motores, sino que los mantienen encendidos mientras avanzan lentamente. La metodología que se describe a continuación es similar a la que se describe para los cruces fronterizos (ver Sección 5.5).

Debido a que estas emisiones son generadas por vehículos que circulan por carreteras, podría argumentarse que deberían ser incluidas como fuentes móviles. Sin embargo, a diferencia de las emisiones de fuentes móviles típicas, la ubicación de estas emisiones en las terminales de autobuses y camiones está muy bien definida (i. e., el segmento de carretera o estaciones en las que se encuentra la terminal). Asimismo, las últimas versiones de los modelos de factores de emisión de fuentes móviles (MOBILE5a, PART5, y otras versiones modificadas relacionadas), sólo pueden ser utilizadas para estimar las emisiones de los vehículos en movimiento. Por estas razones, las emisiones en reposo en las terminales de autobuses y camiones deben ser manejadas como fuentes de área.

CONTAMINANTES: GOT, CO, NO_x, SO_x, PM₁₀

GOR: Para los vehículos de gasolina sin catalizador, las emisiones GOR constituyen 92.4% del GOT. Para los vehículos de gasolina con catalizador, las emisiones GOR constituyen 85.2% del GOT. Para los vehículos diesel, las emisiones GOR constituyen 95.7% del GOT.

AJUSTES DE FUENTES PUNTUALES: Ninguno.

METODOLOGIA:

Como se mencionó en la Sección 5.5, las últimas versiones del MOBILE5a y PART5 no proporcionan ningún factor de emisión en reposo. Algunas versiones anteriores del MOBILE sí lo hacían, sin embargo, dichos factores representaban condiciones estándar de prueba (modo estabilizado de operación, 75 °F y un combustible con una RVP de 9.0 psi). Debido a que la EPA no ha podido desarrollar un algoritmo satisfactorio que tome en cuenta las variaciones en el modo de operación, la temperatura y la RVp del combustible, el cálculo directo de los factores de emisión en reposo se ha desactivado en el MOBILE5a, mientras se recopilan datos sobre estas emisiones.

La EPA ha proporcionado una metodología provisional para la estimación de las emisiones en reposo usando el MOBILE5a (U.S. EPA, 1993), que puede ser utilizada para estimar las emisiones vehiculares en las terminales de autobuses y camiones y en otras situaciones de reposo. Se asume que esta metodología es válida para el PART5 y cualesquier modelos MOBILE que hayan sido modificados para ser aplicados en México (i. e., MOBILE-MCMA, MOBILE-MMAp, MOBILE-Juárez, etc.). Un modelo MOBILE será utilizado para estimar las emisiones de GOT, CO y NO_x. Un modelo PART5 será utilizado para estimar las emisiones de PM₁₀; mientras que las emisiones de SO_x serán estimadas utilizando un balance de combustible simple.

En la metodología provisional de la EPA, las emisiones en reposo son calculadas utilizando factores de emisión de escape de un modelo MOBILE a la velocidad más baja permisible del vehículo (4 kilómetros por hora [kph] para los modelo MOBILE modificados específicos para México). Se usa la velocidad más baja posible porque contiene el mayor porcentaje de tiempo en reposo en comparación con cualquiera de los ciclos de velocidad usados por el modelo MOBILE. Después de correr el modelo, los factores de emisión de escape para GOT, CO y NO_x serán calculados en unidades de gramo por milla o gramo por kilómetro. Para convertir estos factores de emisión en factores de emisión en reposo en unidades de gramos por hora, es necesario multiplicar por 4 kph. Los factores de emisión en reposo resultantes no deben incluir ninguna emisión que no sea de escape. Para mayor información sobre la forma de correr los modelos MOBILE y PART5 consulte en Manual de Vehículos Automotores (Volumen VI) de esta serie y/o los manuales de usuario de los modelos MOBILE y PART5 (U.S. EPA, 1994; U.S. EPA, 1995). El MOBILE-Juárez (Radian, 1996) es el más reciente de los modelos MOBILE específico para México, y actualmente es el modelo recomendado para estimar las emisiones de vehículos mexicanos. Sin embargo, el modelo MOBILE seguirá evolucionando en México. En el futuro, será necesario comunicarse con el personal del INE para identificar el modelo MOBILE más reciente.

Finalmente, se requiere la duración del tiempo en reposo. Los empleados de la terminal de autobuses o camiones de pueden hacer un estimado grueso al respecto, pero deben realizarse un estudio profundo para determinar tanto un tiempo en reposo representativo como la distribución vehicular. Todos estos datos pueden variar significativamente por hora, por día y por estación.

Dados los datos anteriores, la ecuación para estimar las emisiones de vehículos en reposo es:

$$\text{Emisiones} = \sum (\text{Vehículos}_{\text{Tot}} \times \text{FV}_{\text{Mexico,v}} \times \text{FE}_{\text{Mexico,v}} \times 4.0 \times \text{T}_{\text{Rep}}) \tag{5.6-1}$$

- donde:
- $\text{Vehículos}_{\text{Total}}$ = Número total de vehículos que pasan a través de la terminal de camiones o autobuses
 - VC_v = Fracción de vehículos en cada clase vehicular v
 - FE_v = Factor de emisión para los vehículos en cada clase vehicular v, tomada del factor de emisión basado en el modelo MOBILE y PART5
 - 4.0 = Factor utilizado para convertir factores de emisión en gramos por kilómetro (gramos por milla) en factores de emisión en gramos por hora
 - T_{Rep} = Tiempo promedio pasado en reposo en cola en la terminal de autobuses o camiones.

DATOS NECESARIOS:

Datos	Fuentes
Parámetros de entrada del modelo de factores de emisión MOBILE5a y PART5	La descripción de los datos necesarios y las fuentes disponibles se pueden encontrar en el Manual de Vehículos Automotores (Volumen VI de esta serie)
Conteos vehiculares	Empleados de la terminal de autobuses o camiones, u otros empleados locales
Distribución de las clasificaciones vehiculares	Encuesta específica en sitio
Tiempo en reposo	Encuesta específica en sitio, empleados de la terminal de autobuses o camiones, o usuarios frecuentes

NOTAS:

1. Debe tenerse cuidado para evitar la duplicación de las emisiones que ya han sido incluidas como emisiones de fuentes móviles. La VMT general de las cuentas vehiculares puede no requerir ser ajustada para un doble conteo. Adicionalmente, existe cierta incertidumbre con respecto a qué tan "real" es la estimación de emisiones cuando la velocidad se reduce hasta 4 kph.

EJEMPLO DE CALCULO:

En 1995, se estima que 20,000 vehículos pasaron a través de una terminal de autobuses particular. Los resultados del estudio indican un tiempo en reposo promedio de 15 minutos por vehículo. De estos vehículos, 40% son HDGVs y el resto son HDDVs. Calcular las emisiones anuales de NO_x de estos vehículos en reposo

1. Asumir que, a partir del último modelo MOBILE, se calcularon los siguientes factores de emisión:

HDGVs:	2.8 g/km
HDDVs:	13.3 g/km

2. Multiplicando estos factores de emisión por 4 kph se obtienen los siguientes factores de emisión en reposo

HDGVs:	11.2 g/hora
HDDVs:	53.2 g/hora

3. El número de vehículos para cada categoría es calculado utilizando el número total de vehículos y las fracciones de clase vehicular

HDGVs:	$20,000 \text{ vehículos} \times 0.40 = 8,000 \text{ vehículos}$
HDDVs:	$20,000 \text{ vehículos} \times 0.60 = 12,000 \text{ vehículos}$

4. Posteriormente se calculan las emisiones totales de NO_x:

$$\begin{aligned} & (8,000 \text{ vehículos} \times 0.25 \text{ horas} \times 11.2 \text{ g/hora}) + \\ & (12,000 \text{ vehículos} \times 0.25 \text{ horas} \times 53.2 \text{ g/hora}) \\ & = 22.4 \text{ kg} + 159.6 \text{ kg} \\ & = 182 \text{ kg} \\ & = 0.18 \text{ Mg NO}_x \end{aligned}$$

6.0 USO DE SOLVENTES

Muchas de las actividades que utilizan solventes pueden ser demasiado pequeñas o numerosas para ser incluidas en el inventario de fuentes puntuales de una región determinada, y deben ser incluidas en un inventario de fuentes de área. La guía para elaborar un inventario de estas fuentes se presenta en las siguientes subsecciones:

- Recubrimiento de Superficies en la Industria
- Pintado de Carrocerías
- Recubrimiento de Superficies Arquitectónicas
- Pintura de Tráfico
- Limpieza de Superficies en la Industria(Desengrasado)
- Limpieza en Seco
- Artes Gráficas
- Aplicación de Asfalto
- Uso Comercial y Doméstico de Solventes.

6.1 Recubrimiento de Superficies en la Industria

CODIGO DE FUENTE

DESCRIPCION

24-01-010-xxx	Productos Textiles
24-01-015-xxx	Madera con Acabados de Fábrica
24-01-020-xxx	Muebles de Madera
24-01-025-xxx	Muebles Metálicos
24-01-030-xxx	Papel
24-01-035-xxx	Productos Plásticos
24-01-040-xxx	Latas Metálicas
24-01-045-xxx	Bobinas Metálicas
24-01-050-xxx	Materiales Acabados Misceláneos
24-01-055-xxx	Maquinaria y Equipo
24-01-060-xxx	Aparatos Domésticos de Gran Tamaño
24-01-065-xxx	Equipos Electrónicos y Otros Eléctricos
24-01-070-xxx	Vehículos Automotores
24-01-075-xxx	Aeronaves
24-01-080-xxx	Embarcaciones Marinas
24-01-085-xxx	Ferrocarriles
24-01-090-xxx	Manufactura Miscelánea
24-01-100-xxx	Recubrimientos Industriales de Mantenimiento
24-01-200-xxx	Otros Recubrimientos con Propósitos Especiales
24-01-990-xxx	Todas las Categorías de Recubrimiento de Superficies.

DESCRIPCION:

Las operaciones de recubrimiento de superficie consisten en la aplicación de una delgada capa de recubrimiento, por ejemplo pintura, barniz, laca o primer a un objeto para propósitos decorativos o de protección y el proceso abarca un gran número de pasos. Los recubrimientos son aplicados durante la manufactura de una amplia gama de productos, incluyendo mobiliario, latas, automóviles, aviones y otro equipo de transporte, maquinaria, aparatos domésticos, madera, alambre y otros productos misceláneos. Adicionalmente, los recubrimientos son utilizados en operaciones de mantenimiento en los establecimientos industriales.

Los solventes contenidos en los recubrimientos se evaporan en la medida en que estos

compuestos se aplican y secan. Si bien los solventes residuales pueden permanecer en el recubrimiento después de que se ha secado, y una fracción del recubrimiento no será utilizada y se dispondrá en un establecimiento de tratamiento de aguas residuales, o será enviado a un relleno sanitario, la mayoría de los esfuerzos de inventario asumen que todo los solventes contenidos en recubrimientos se evaporan en el aire. Las emisiones de las operaciones de recubrimiento de superficies se pueden reducir utilizando compuestos con base de agua, filtros, sistemas de condensación, post-quemadores y procesos de aplicación más eficientes en los que se aplique una menor cantidad de solvente.

CONTAMINANTES: GOT

GOR: Las emisiones GOR constituyen 98.8% de GOT.

AJUSTES DE FUENTES PUNTUALES:

Las operaciones de recubrimiento de superficies se pueden presentar en grandes establecimientos que podrían ser inventariados como fuentes puntuales. Por lo tanto, el procedimiento para el cálculo de emisiones para estimados de fuentes de área debe ser ajustado para evitar la duplicación con los estimados de fuentes puntuales. Si se utilizan factores de emisión por empleado, el empleo en los establecimientos de las fuentes puntuales debe ser restado del empleo total en el área de inventario. Si los datos de empleo no están disponibles, entonces las emisiones puntuales pueden ser restadas de las emisiones totales.

METODOLOGIA:

Las emisiones de estas fuentes pueden ser calculadas usando uno de los siguientes dos métodos:

Método 1: El primer método utiliza un factor de emisión per cápita desarrollado para la Ciudad de México (DDF, 1995b).

El cálculo utilizando el factor de emisión per cápita es:

$$\text{Emisiones Anuales de GOT} = (\text{Población}) \times (\text{Factor de Emisión}) \quad (6.1-1)$$

Si cualesquier establecimientos de recubrimiento de superficies estuvieran incluidos en el inventario de fuentes puntuales, sus emisiones deben ser eliminadas para arrojar un estimado de emisiones de las fuentes de área.

Método 2: El segundo método utiliza factores de emisión por empleado que se basan en los promedios nacionales de EU. Estos factores tienen una aplicación limitada en México, y deben ser utilizados solamente si no existen otros datos específicos

disponibles. El uso de factores de emisión por empleado requiere la recopilación de datos sobre el número de empleados dentro de determinadas industrias. Una breve descripción de la industria se presenta en la tabla de **DATOS NECESARIOS** de esta sección. Después de que las industrias locales o regionales han sido asociadas con los agrupamientos de la tabla, el empleo para los establecimientos de las fuentes puntuales en dichos grupos debe ser restado del número total de individuos empleados en cada categoría industrial. La diferencia es el empleo en las fuentes de área. Posteriormente, las emisiones son calculadas como:

$$\text{Emisiones Anuales de GOT} = \left(\frac{\text{Empleo del Grupo Industrial de la Fuente de Area}}{\text{Area}} \right) \times \left(\text{Factor de Emisión} \right) \tag{6.1-2}$$

Los factores de emisión para estos dos métodos se presentan en la parte de **DATOS NECESARIOS** de esta sección.

DATOS NECESARIOS:

Datos		Fuentes
Método del Factor de Emisión per Cápita:		
Población		INEGI
Factor de Emisión GOT	1.28 kg/persona/año	DDF, 1995b
Método Por Empleado		
Empleo por Tipo de Industria		SNIFF DATOSbase, CANACINTRA, INEGI
Factor de Emisión GOT		U.S. EPA, 1991a
Madera con Acabado de Fábrica	59 kg/empleado/año (131 lb/empleado/año)	
Muebles y Accesorios de Metal	428 kg/empleado/año (944 lb/empleado/año)	
Aislamiento Eléctrico	132 kg/empleado/año (290 lb/empleado/año)	
Latas Metálicas	2,735 kg/empleado/año (6,029 lb/empleado/año)	

Datos		Fuentes
Metales Acabados Misceláneos (láminas, bandas y bobinas)	1,305 kg/empleado/año (2,877 lb/empleado/año)	
Maquinaria y Equipo	35 kg/empleado/año (77 lb/empleado/año)	
Aparatos Domésticos	210 kg/empleado/año (463 lb/empleado/año)	
Vehículos Automotores (nuevos)	360 kg/empleado/año (794 lb/empleado/año)	
Otros Transportes (incluye aeronaves y ferrocarriles)	16 kg/empleado/año (35 lb/empleado/año)	
Embarcaciones Marinas	140 kg/empleado/año (308 lb/empleado/año)	

NOTAS:

1. El factor de emisión para el recubrimiento industrial de superficies fue desarrollado por el DDF (1995b), con base en la información sobre las ventas nacionales de productos (para 1993), proporcionada por la Asociación Nacional de Fabricantes de Pinturas y Tintas (ANAFAPYT).
2. El factor de emisión per cápita fue desarrollado multiplicando el volumen total de pintura por 0.45 para reflejar que se estima que la pintura contiene 45% de solvente.
3. Los ajustes a ambos factores de emisión, per cápita y por empleado, pueden ser necesarios para reflejar las condiciones locales y, con el tiempo, para reflejar los cambios en el uso y composición de los recubrimientos.
4. Los estimados de emisión calculados utilizando los factores por empleado necesitarán ser asociados con los códigos en el SNIFF para permitir su relación con el inventario de fuentes puntuales.
5. Una alternativa para los factores de emisión presentados anteriormente, consiste en encuestar a un número representativo de operaciones de recubrimiento de superficies. Los resultados de dicha encuesta podrían ser extrapolados al área total del inventario.

- Antes de realizar una encuesta es conveniente revisar la sección sobre encuestas en el Volumen III, *Técnicas Básicas de Estimación de Emisiones*
- Debe identificarse a la población completa de establecimientos, pero sólo debe encuestarse a una muestra representativa.

Las encuestas deben solicitar información que pueda ser utilizada para calcular las emisiones utilizando el método de balance de materiales (ver las *Técnicas Básicas de Estimación de Emisiones*). Una encuesta debe requerir la siguiente información:

- Nombre y ubicación del establecimiento
- Nombre de la persona que responderá el cuestionario, o nombre del contacto para solicitar información adicional
- Número de empleados en el establecimiento
- Tipo de productos que son recubiertos en el establecimiento (e. g., muebles de madera o metal, aparatos electrodomésticos, maquinaria, botes)
- Kilogramos de cada tipo de recubrimiento utilizado en el establecimiento (si las cantidades son registradas en litros, será necesario recopilar información sobre su densidad para calcular el peso), y peso
- Componentes químicos de cada recubrimiento.

Si este método se realiza adecuadamente, sus resultados serán mucho más precisos que los obtenidos con el primer método; sin embargo, requiere un mayor esfuerzo y gasto. Si el método no es aplicado de manera correcta, los resultados podrían ser menos precisos que si se utilizaran los factores de emisión.

EJEMPLO DE CALCULO:

Por ejemplo, las emisiones totales anuales de GOT de los recubrimientos industriales de superficies en un estado con una población con 1,250,000 habitantes son:

$$\begin{aligned}(1,250,000 \text{ personas}) \times (1.28 \text{ kg/persona/año}) &= 1,600,000 \text{ kg/año} \\ &= 1,600 \text{ Mg/año}\end{aligned}$$

Si existen grandes establecimientos que realicen operaciones de recubrimiento de superficies en el área de inventario, y que hayan sido inventariados como fuentes puntuales, entonces las emisiones calculadas para dichos establecimientos deben ser restadas del total calculado anteriormente. Por ejemplo, si las emisiones de fuentes puntuales son:

- 124 Mg por año para el Establecimiento A
- 83 Mg por año para el Establecimiento B
- 17 Mg por año para el Establecimiento C.

Entonces:

$$\begin{aligned}\text{Emisiones de Fuente de Area} &= 1,600 \text{ Mg} - (124 \text{ Mg} + 83 \text{ Mg} + 17 \text{ Mg}) \\ &= 1,376 \text{ Mg/año}\end{aligned}$$

Los cálculos necesarios para el segundo método son similares. Sin embargo, en este caso, el restar el empleo en las fuentes puntuales del empleo total resultará en un estimado de emisiones más preciso. Por ejemplo:

- El empleo total en las fábricas de muebles y accesorios de metal en el área de inventario es de 623
- El empleo de fuentes puntuales en dos fábricas de muebles de metal es de 479.

Entonces:

$$\begin{aligned}\text{Empleo en Fuente de Area} &= 623 - 479 \\ &= 144 \text{ empleados en fábricas de muebles de metal}\end{aligned}$$

Las emisiones de fuentes de área son calculadas como:

$$\begin{aligned} \text{Emisiones de Fuente de Area} &= (144 \text{ empleados}) \times (428 \text{ kg/empleado/año}) \\ &= 61,632 \text{ kg/año} \\ &= 61.6 \text{ Mg Mg/año} \end{aligned}$$

6.2 Pintado de Carrocerías

CODIGO DE FUENTE: 24-01-005-000

DESCRIPCION:

El pintado de autos engloba la reparación y restauración de carrocerías de automóviles, camiones ligeros y otros vehículos. Las operaciones de pintado son posteriores a las que el equipo original recibe en las plantas de ensamble del fabricante. El recubrimiento de vehículos nuevos no está incluida en esta categoría de fuente; pero en un inventario de fuentes puntuales queda dentro de la categoría de recubrimiento de superficies industriales. La mayoría de los trabajos de pintado de carrocerías son realizados como parte de la reparación de una colisión y sólo involucra partes de un vehículo. La pintura puede aplicarse en una cabina de aspersion.

Las operaciones de pintado pueden variar desde talleres de gran producción con numerosos empleados, hasta pequeñas operaciones en las que una persona trabaja tiempo parcial. En algunos casos, las grandes operaciones pueden ser inventariadas como establecimientos de fuentes puntuales.

Las emisiones se generan durante la limpieza de superficies, resanado y apresto, pintado y pulido, y son influenciadas por el contenido de solvente en el producto, la eficiencia de transferencia del equipo de aspersion utilizado para aplicar los recubrimientos, y las prácticas de pulido. Los controles pueden incluir el uso de compuestos con menor cantidad de solventes, un incremento de la eficiencia de transferencia en el equipo de aspersion, y equipos de limpieza cerrados.

CONTAMINANTES: GOT

GOR: Las emisiones de GOR constituyen 98.8% del GOT.

AJUSTES DE FUENTES PUNTUALES:

El pintado de carrocerías puede realizarse en establecimientos de fuentes puntuales. Las emisiones no controladas que han sido calculadas para los establecimientos de fuentes puntuales deben ser restadas de las emisiones no controladas totales, para arrojar un estimado de las emisiones de las fuentes de área.

METODOLOGIA:

$$\text{Emisiones Anuales de GOT} = (\text{Población}) \times (\text{Factor de Emisión}) \quad (6.2-1)$$

DATOS NECESARIOS:

Datos		Fuentes
Población		INEGI
Factor de emisión GOT	0.14 kg/persona/año	DDF, 1995b

NOTAS:

1. El factor de emisión para el recubrimiento industrial de superficies fue desarrollado por el DDF (1995b), con base en la información sobre las ventas nacionales de productos (para 1993), proporcionada por la ANAFAPYT.
2. El factor de emisión per cápita fue desarrollado multiplicando el volumen total de pintura por 0.45 para reflejar que se estima que la pintura contiene 45% de solvente.
3. Los ajustes a ambos factores de emisión, per cápita y por empleado, pueden ser necesarios para reflejar las condiciones locales. Con el tiempo, pueden requerirse ajustes adicionales debido a que la sustitución de los compuestos utilizados en el pintado de carrocerías podría alterar la fracción no reactiva.

EJEMPLO DE CALCULO:

Por ejemplo, las emisiones anuales totales de GOT del pintado de carrocerías en el estado de Colima (población 428,510) son:

$$\begin{aligned} (428,510 \text{ personas}) \times (0.14 \text{ kg/persona/año}) &= 59,991 \text{ kg/año} \\ &= 59.99 \text{ Mg/año} \end{aligned}$$

6.3 Recubrimiento de Superficies Arquitectónicas 5.3 Architectural Surface Coating 5.3 Architectural Surface Coating

CODIGO DE FUENTE: 24-01-001-000

DESCRIPCION:

Los recubrimientos para superficies arquitectónicas son utilizados por los contratistas e individuos para proteger y mejorar las superficies interiores y exteriores de las construcciones. El proceso implica la aplicación de una delgada capa de recubrimiento tal como pintura, aprestador, barniz o laca a las superficies arquitectónicas, y el uso de solventes para adelgazar y limpiar. Esta categoría no incluye el pintado de carrocerías, la aplicación de pintura de tráfico, el recubrimiento industrial de superficies, los recubrimientos industriales de mantenimiento, ni las pinturas utilizadas en artes gráficas. Dado que las emisiones de esta categoría estarán distribuidas en toda el área de inventario y no se presentarán repetidamente en un solo sitio durante el periodo de inventario, deben ser tratadas solamente como una fuente de área.

Los GOT que son utilizados como solventes en los recubrimientos son emitidos durante la aplicación del recubrimiento y durante el secado. Las técnicas de control involucran la sustitución o la reformulación de compuestos. Los productos alternativos incluyen recubrimientos con bajo contenido de solvente, con base de agua, o en polvo.

CONTAMINANTES: GOT

GOR: Las emisiones de GOR constituyen 94.5% del GOT para los recubrimientos arquitectónicos con base de agua; 96.8% del GOT para los recubrimientos arquitectónicos con base de aceite; y 69.9% del GOT para los solventes adelgazadores y limpiadores utilizados con los recubrimientos arquitectónicos.

AJUSTES DE FUENTES PUNTUALES: Ninguno.

METODOLOGIA:

Emisiones Anuales de GOT = (Población) x (Factor de Emisión)

(6.3-1)

DATOS NECESARIOS:

DATOS		FUENTES
Población		INEGI
Factor de emisión GOT	1.36 kg/persona/año	DDF, 1995b

NOTAS:

1. El factor de emisión para el recubrimiento de superficies arquitectónicas fue desarrollado por el DDF (1995b), con base en la información sobre el contenido de solvente y las ventas nacionales de productos (para 1993), proporcionada por la ANAFAPYT.
2. El factor de emisión fue calculado multiplicando el volumen total de pintura por 0.45 para reflejar que se estima que la pintura contiene un promedio de 45% de solvente.
3. Los ajustes este factor de emisión per cápita pueden ser necesarios para reflejar las condiciones locales. Con el tiempo, pueden requerirse ajustes adicionales debido a que la sustitución de los compuestos utilizados en el recubrimiento de superficies arquitectónicas podría alterar la fracción no reactiva.

EJEMPLO DE CALCULO:

Por ejemplo, las emisiones anuales totales de GOT del recubrimiento arquitectónico de superficies en el estado de Colima (población 428,510) son:

$$\begin{aligned}
 (428,510 \text{ personas}) \times (1.36 \text{ kg/persona/año}) &= 582,774 \text{ kg/año} \\
 &= 582.77 \text{ Mg/año}
 \end{aligned}$$

6.4 Pintura de Tráfico

CODIGO DE FUENTE: 24-01-008-000

DESCRIPCION:

La aplicación de pintura de tráfico consiste en el pintado de carriles, banquetas, marcas de dirección, señales de estacionamiento y superficies pavimentadas y no pavimentadas para facilitar el flujo del tránsito. Las señales de tráfico pueden utilizar pinturas con base de solvente y de agua, que generalmente se aplican con spray, o en forma de cintas termoplásticas o preformadas que son aplicadas con epóxicos sobre la superficie de los caminos. Las pinturas de tráfico son aplicadas por cuadrillas de mantenimiento y contratistas durante la construcción y reparación de caminos. Debido a que las emisiones de esta categoría serán escasas dentro del área del inventario, y no se presentarán repetidamente en un solo sitio durante el periodo de inventario, deben ser tratadas solamente como una fuente de área.

Factores tales como las condiciones climáticas, la durabilidad de la pintura, tipo de pavimento, densidad del tráfico y posición de las señales, determinarán la frecuencia con la que la pintura debe ser reaplicada y, por lo tanto, tendrán influencia sobre las emisiones. Las técnicas de control incluyen la sustitución y reformulación de productos. Por su parte, las formulaciones alternativas incluyen pinturas con base de agua, termoplásticos, marcadores permanentes y cintas preformadas.

CONTAMINANTES: GOT

GOR: Las emisiones de GOR constituyen 98.8% del GOT.

AJUSTES DE FUENTES PUNTUALES: Ninguno.

METODOLOGIA:

Emisiones Anuales de GOT = (Población) x (Factor de Emisión)

(6.4-1)

DATOS NECESARIOS:

DATOS		FUENTES
Población		INEGI, 1993
Factor de emisión GOT	0.04 kg/persona/año	DDF, 1995b

NOTAS:

1. El factor de emisión mostrado para la aplicación de pintura de tráfico fue desarrollado por el DDF (1995b), con base en la información sobre el contenido de solvente y las ventas nacionales de productos (para 1993), proporcionada por la ANAFAPYT.
2. El factor de emisión fue desarrollado multiplicando el volumen total de pintura por 0.45 para reflejar que se estima que la pintura promedio contiene 45% de solvente.
3. Los ajustes este factor de emisión per cápita pueden ser necesarios para reflejar las condiciones locales. Con el tiempo, pueden requerirse ajustes adicionales debido a que la sustitución de los compuestos utilizados en la pintura de tráfico podría alterar la fracción no reactiva.

EJEMPLO DE CALCULO:

Por ejemplo, las emisiones anuales totales de GOT de la aplicación de pintura de tráfico en el estado de Colima (población 428,510) son:

$$\begin{aligned}
 (428,510 \text{ personas}) \times (0.04 \text{ kg/persona/año}) &= 17,140 \text{ kg/año} \\
 &= 17.14 \text{ Mg/año}
 \end{aligned}$$

6.5 Limpieza de Superficies en la Industria (Desengrasado)

CODIGO DE FUENTE	DESCRIPCION
24-15-000-xxx	Todos los Procesos y Todas las Industriales
24-15-005-xxx	Muebles y Accesorios
24-15-010-xxx	Industrias Metálicas Básicas
24-15-015-xxx	Industrias Metálicas Secundarias
24-15-020-xxx	Productos Metálicos Elaborados
24-15-025-xxx	Maquinaria y Equipo Industrial
24-15-030-xxx	Procesos Electrónicos y Otros Procesos Eléctricos
24-15-035-xxx	Equipo de Transporte
24-15-040-xxx	Instrumentos y Productos Relacionados
24-15-045-xxx	Manufactura Miscelánea
24-15-050-xxx	Establecimientos de Mantenimiento al Transporte
24-15-055-xxx	Vendedores de Automóviles
24-15-060-xxx	Servicios de Reparación Misceláneos
24-15-065-xxx	Servicios de Reparación Automotriz.

DESCRIPCION:

Las operaciones de limpieza de superficies involucran el uso de solventes líquidos o vapores de solventes, para eliminar contaminantes insolubles en agua tales como grasa, aceite, ceras, depósitos de carbón, óxidos y alquitranes de superficies tales como metales, plásticos, vidrios y otros. Este proceso se lleva a cabo en una gran variedad de operaciones de manufactura, científicas y de reparación. Las operaciones de limpieza con solventes implican el uso de un gran número de sustancias diferentes, así como de distintos procedimientos de limpieza.

El equipo de limpieza con solventes puede ser clasificado como:

- Máquinas de limpieza por lotes en frío: Estas máquinas se cargan con el lote y el solvente líquido es asperjado, vertido o cepillado sobre las superficies a ser limpiadas.
- Máquinas de limpieza por lotes con vapor: Estas máquinas se cargan con el lote, y los materiales a ser limpiados son expuestos al solvente vaporizado. Al condensarse, el solvente arrastra los contaminantes de las superficies.

- Máquinas de limpieza en línea: Estas máquinas son cargadas de manera continua y con frecuencia están diseñadas para operaciones a gran escala. Por otro lado, pueden utilizar solventes líquidos o vaporizados.
- Uso de solventes para la limpieza: Este proceso implica el tallado de una superficie con el solvente y un trapo, estopa o esponja.

CONTAMINANTES: GOT

GOR: Las emisiones de GOR constituyen el 100% del GOT para los solventes de petróleo, y 0% del GOT para los solventes sintéticos. Si existen datos disponibles sobre la especiación para la región del inventario, la relación GOR/GOT debe ser ajustada de acuerdo con éstos. Si sólo se conoce la cantidad total de solventes limpiadores de superficies, puede asumirse que las emisiones GOR constituyen 60% del GOT (U.S. EPA, 1991a).

AJUSTES DE FUENTES PUNTUALES:

Las operaciones de limpieza de superficies con solventes se pueden presentar en grandes establecimientos que podrían ser inventariados como fuentes puntuales. Por lo tanto, el procedimiento para el cálculo de emisiones para estimados de fuentes de área deben ser ajustados para evitar la duplicación con los estimados de fuentes puntuales. Si se utilizan factores de emisión por empleado, el empleo en los establecimientos de las fuentes puntuales debe ser restado del empleo total en el área de inventario. Si los datos de empleo no están disponibles, entonces las emisiones puntuales pueden ser restadas de las emisiones totales.

METODOLOGIA:

Las emisiones de esta fuente pueden ser calculados aplicando uno de los dos siguientes factores de emisión. El segundo método, que usa un factor de emisión per cápita, debe ser utilizado solamente como último recurso.

Método 1: El primer grupo de factores de emisión, derivados en EU, se basan en el número de empleados en los establecimientos que típicamente realizan operaciones de limpieza con solventes. Estos factores de emisión estadounidenses por empleado tienen una aplicación limitada en México, y deben ser utilizados solamente si no existen otros datos disponibles. El uso de factores de emisión por empleado requiere la recopilación de datos sobre el número de empleados dentro de determinadas industrias.

Una breve descripción de la industria se presenta en la tabla de **DATOS NECESARIOS** de esta sección. Después de que las industrias locales o regionales han sido asociadas con los agrupamientos de la tabla, el empleo para los establecimientos de las fuentes puntuales en dichos grupos debe ser restado del número total de individuos empleados en cada categoría industrial. La diferencia representa el empleo en las fuentes de área

$$\text{Emisiones Anuales de GOT} = \left(\begin{array}{c} \text{Empleo del Grupo} \\ \text{Industrial de la Fuente de} \\ \text{Área} \end{array} \right) \times \left(\begin{array}{c} \text{Factor de} \\ \text{Emisión} \end{array} \right) \quad (6.5-1)$$

Método 2: El segundo grupo de factores de emisión, también derivados en EU, se basan en la población (U.S. EPA, 1991a), y tienen una aplicación limitada en México, debiendo ser utilizados solamente en el caso de que no hubiera otros datos disponibles. El cálculo utilizando el factor de emisión per cápita es:

$$\text{Emisiones Anuales} = (\text{Población}) \times (\text{Factor de Emisión}) \quad (6.5-2)$$

Si cualesquier operaciones de limpieza con solventes son incluidas en el inventario de fuentes puntuales, sus emisiones deberían ser eliminadas de este estimado, para arrojar el estimado de emisiones de las fuentes de área.

Los factores de emisión por empleado y per cápita son proporcionados en el inciso **DATOS NECESARIOS** de esta sección. Si existe información disponible sobre las operaciones específicas de limpieza de solventes en la región geográfica de interés, sólo deben utilizarse los factores de emisión para dichas operaciones. Si la información con respecto a los tipos de operaciones de limpieza no está disponible, debe utilizarse el factor de emisión de la “limpieza con solvente (total)”.

DATOS NECESARIOS:

Datos	Fuentes
Método por Empleado:	
Empleo por Tipo de industria	Base de datos SNIFF, CANACINTRA, INEGI
Factores de emisión GOT	U.S. EPA, 1991a
Limpieza con Solventes (total) 65 kg/empleado/año	
Limpieza de Lotes en Frío	
Reparaciones Automotrices 122 kg/empleado/año	
Manufactura 11 kg/empleado/año	
Máquinas de Lotes de Vapor y en Línea	
Electrónicos y Eléctricos 68 kg/empleado/año	
Otros 22 kg/empleado/año	
Método de Factor de Emisión Per Cápita:	
Población	INEGI
Factores de emisión GOT	U.S. EPA, 1991a
Limpieza con Solventes (total) 3.27 kg/persona/año	
Limpieza de Lotes en Frío	
Reparaciones Automotrices 1.13 kg/persona/año	
Manufactura 0.50 kg/persona/año	
Máquinas de Lotes de Vapor y en Línea	
Electrónicos y Eléctricos 0.50 kg/persona/año	
Otros 1.13 kg/persona/año	

NOTAS:

1. Los ajustes a los factores emisión tanto per cápita como por empleado pueden ser necesarios para reflejar las condiciones locales, y para reflejar los cambios en el uso y composición de los solventes.
2. Los estimados de emisión calculados con los factores por empleado necesitarán ser correctamente asociados con el SNIFF para permitir su relación con el inventario de fuentes puntuales.

3. Una alternativa para el uso de los factores de emisión presentados anteriormente es encuestar a un número representativo de operaciones de limpieza de superficies. Los resultados de esta encuesta deben ser extrapolados a toda el área del inventario. Ver **NOTAS** de la sección Recubrimiento Industrial de Superficies (Sección 6.1) para una breve descripción del procedimiento de encuesta. Los procedimientos de encuesta también se presentan en el Manual *Técnicas Básicas de Estimación de Emisiones*.

EJEMPLO DE CALCULO:

Método Por Empleado

Los cálculos necesarios para ambos métodos son similares; sin embargo, en el primer método, la resta del empleo de la fuente puntual del empleo total resultará en una estimación más precisa. Por ejemplo:

- El empleo total en las plantas de manufactura que usan limpieza dentro del área del inventario es de 623
- El empleo de fuentes puntuales en dos fábricas manufactureras de equipo que usan limpieza en frío dentro de su proceso es de 379.

Entonces:

$$\begin{aligned} \text{Empleo en Fuente de Area} &= 623 - 379 \\ &= 244 \text{ empleados en fábricas manufactura} \end{aligned}$$

Las emisiones son calculadas como:

$$\begin{aligned} \text{Emisiones GOT de Fuente de Area} &= (244 \text{ empleados}) \times (11 \text{ kg/empleado/año}) \\ &= 2,684 \text{ kg/año} \\ &= 2.7 \text{ Mg Mg/año} \end{aligned}$$

El mismo procedimiento sería utilizado si existieran otras operaciones de limpieza de superficies en fuentes puntuales dentro del área de inventario.

Método Per Cápita

Si se utiliza el segundo método, las emisiones anuales totales de GOT de la limpieza de superficies en un estado con una población de 1,250,000 son:

$$\begin{aligned} (1,250,000 \text{ personas}) \times (3.27 \text{ kg/persona/año}) &= 4,087,500 \text{ kg/año} \\ &= 4,087.5 \text{ Mg/año} \end{aligned}$$

Si existen grandes establecimientos que utilicen los procesos de limpieza en frío en el área de inventario, y que hayan sido inventariados como fuentes puntuales, entonces las

emisiones calculadas para dichos establecimientos deben ser restadas del total calculado anteriormente. Por ejemplo, si las emisiones de fuentes puntuales son:

- 178 Mg por año para el Establecimiento A
- 123 Mg por año para el Establecimiento B
- 56 Mg por año para el Establecimiento C.

Entonces:

$$\begin{aligned} \text{Emisiones de Fuente de Area} &= 4,087.5 \text{ Mg} - (78 \text{ Mg} + 123 \text{ Mg} + 56 \text{ Mg}) \\ &= 3,730.5 \text{ Mg/año} \end{aligned}$$

6.6 Lavado en Seco (Tintorerías)

CODIGO DE FUENTE	DESCRIPCION
24-20-000-000	Todos los Procesos, Todos los Tipos de Solventes
24-20-000-055	Todos los Procesos, Percloroetileno
24-20-000-370	Todos los Procesos, Naftas Especiales
24-20-000-999	Todos los Procesos, Otros Solventes
24-20-010-000	Limpiadores Comerciales e Industriales, Todos los Tipos de Solventes
24-20-010-055	Limpiadores Comerciales e Industriales, Percloroetileno
24-20-010-370	Limpiadores Comerciales e Industriales, Naftas Especiales
24-20-010-999	Limpiadores Comerciales e Industriales, Otros Solventes

DESCRIPCION:

La industria del lavado en seco es una industria de servicios para la limpieza de ropa, cortinas, artículos de cuero y otros productos de tela. En sus operaciones se utilizan solventes orgánicos halogenados o destilados de petróleo. El tamaño de los establecimientos de lavado en seco pueden ir desde grandes plantas industriales, que en general son tratadas como fuentes puntuales, hasta operaciones sumamente pequeñas con una unidad que puede ser utilizada sólo de manera esporádica. Las plantas comerciales tienen un tamaño intermedio entre estos dos extremos.

Normalmente, el lavado en seco utiliza los siguientes solventes: percloroetileno, 1,1,1-tricloroetano, triclorofluoroetano (CFC-113), así como solvente de Stoddard y otros solventes derivados del petróleo. El percloroetileno, 1,1,1-tricloroetano y CFC-113 no son considerados fotoquímicamente reactivos, y no deben ser incluidos en un inventario de precursores de ozono.

Las emisiones en los establecimientos de lavado en seco se presentan cuando los solventes se evaporan durante el proceso, en fugas del equipo y de los sistemas de recuperación o disposición de solventes. Las emisiones pueden ser controladas incorporando equipos tales como condensadores refrigerados, reduciendo las emisiones fugitivas del equipo, y minimizando la evaporación de los contenedores para el almacenamiento de solventes.

CONTAMINANTES: GOT

GOR: Como se mencionó anteriormente, el percloroetileno, 1,1,1-tricloroetileno y CFC-113 no son considerados fotoquímicamente reactivos, y no deben ser incluidos en un inventario de precursores de ozono. Sólo los procesos de lavado en seco que usan solventes derivados de petróleo tendrán emisiones GOR. Por lo tanto, las emisiones GOR constituyen 100% del GOT para los solventes de petróleo, y 0% del GOT para los solventes sintéticos. Si sólo se conoce la cantidad total de solventes para el lavado en seco, puede asumirse que las emisiones GOR constituyen 58% del GOT (U.S. EPA, 1991a).

AJUSTES DE FUENTES PUNTUALES:

Los establecimientos industriales de lavado en seco pueden ser inventariados como fuentes puntuales. Por lo tanto, el procedimiento para el cálculo de las fuentes de área debe ser ajustado para evitar la duplicación con los estimados de fuentes puntuales. Si se utilizan factores de emisión por empleado, el empleo en los establecimientos de las fuentes puntuales debe ser restado del empleo total en el área de inventario. Si los datos de empleo no están disponibles, entonces las emisiones puntuales pueden ser restadas de las emisiones totales

METODOLOGIA:

Las emisiones de esta fuente pueden ser calculadas utilizando uno de los dos siguientes factores de emisión. Los factores para las emisiones de solventes halogenados y derivados de petróleo se presentan en el inciso **DATOS NECESARIOS** de esta sección.

Método 1: El primer método utiliza factores de emisión por empleado (basados en los promedios nacionales de EU). Estos factores de emisión tienen una aplicación limitada en México, y deben ser utilizados solamente si no existen otros datos específicos disponibles. Las emisiones y reactividad de las emisiones de GOT varían por tipo de solvente utilizado en los diferentes tipos (tamaños) de establecimientos de lavado en seco (industrial, comercial o pequeño).

El uso de factores de emisión por empleado requiere la recopilación de datos sobre el número de personas empleadas en los establecimientos de lavado en seco que utilizan solventes halogenados (percloroetileno, tricloroetano o CFC-113) o solventes derivados de petróleo. Debido a que se asume que los pequeños establecimientos sólo utilizan solventes halogenados, sus empleados deben ser excluidos del empleo total si se está elaborando un inventario de GOR.

Una vez que los datos de empleo para los establecimientos de lavado en seco han sido recopilados, el empleo en los establecimientos de fuentes puntuales se resta del número de empleados total. La diferencia resultante representa el empleo en fuentes de área. Posteriormente, las emisiones se calculan como:

$$\text{Emisiones Anuales} = \left(\text{Empleo en el lavado en seco en la fuente de área} \right) \times \left(\text{Factor de Emisión} \right) \quad (6.6-1)$$

Método 2: El segundo factor de emisión se basa en la población, calculada a partir de un promedio nacional de uso de solventes en EU (U.S. EPA, 1991a). Estos factores de emisión per cápita estadounidenses tienen una aplicación limitada en México y deben ser utilizados solamente si no se dispone de otros datos.

El cálculo utilizando el factor de emisión per cápita es:

$$\text{Emisiones Anuales} = (\text{Población}) \times (\text{Factor de Emisión}) \quad (6.6-2)$$

Si cualesquier operaciones de lavado en seco son incluidas en el inventario de fuentes puntuales, sus emisiones deben ser eliminadas de este estimado para arrojar un estimado de emisiones de las fuentes de área.

DATOS NECESARIOS:

Datos		Fuente
Método por Empleado:		
Empleo en los Establecimientos de Lavado en Seco		Base de datos SNIFF, CANALAVA ^a , INEGI
Factor de emisión GOT		U.S. EPA, 1991a
Lavado en Seco (total)	1,043 kg/empleado/año (2,300 lb/empleado/año)	
Solventes Halogenados	445 kg/empleado/año (980 lb/empleado/año)	

Datos		Fuentes
Establecimientos Pequeños	24 kg/empleado/año (52 lb/empleado/año)	
Establecimientos Comerciales e Industriales	544 kg/empleado/año (1,200 lb/empleado/año)	
Factor de emisión GOR		
Solventes Derivados de Petróleo	816 kg/empleado/año (1,800 lb/empleado/año)	
Método del Factor de Emisión Per Cápita:		
Población		INEGI
Factor de Emisión GOT		U.S. EPA, 1991a
Lavado en Seco (total)	0.86 kg/persona/año (1.9 lb/persona/año)	
Solventes Halogenados	0.37 kg/persona/año (0.81 lb/persona/año)	
Establecimientos Pequeños	0.005 kg/persona/año (0.01 lb/persona/año)	
Establecimientos Comerciales e Industriales	0.36 kg/persona/año (0.80 lb/persona/año)	
Factor de Emisión GOR		U.S. EPA, 1991a
Solventes Derivados de Petróleo	0.50 kg/persona/año (1.1 lb/persona/año)	

^a Es probable que la información de la CANALAVA esté disponible sólo para los miembros de la Cámara.

NOTAS:

1. Los factores per cápita y por empleado que aquí se presentan se basan en los promedios nacionales estadounidenses de uso de solventes, no en datos específicos de México. Deben elaborarse estimados de emisión más precisos utilizando factores de emisión desarrollados a partir de datos específicos para la industria del lavado en seco en México, obtenidos en la CANALAVA.

2. Los ajustes a los factores de emisión tanto per cápita como por empleado pueden ser necesarios para reflejar las variaciones locales y, con el tiempo, para reflejar los cambios en el uso y composición de los solventes.
3. Los estimados de emisión calculados utilizando los factores por empleados requerirán ser correctamente asociados con el SNIFF para permitir la relación con el inventario de fuentes puntuales.
4. Una alternativa para los factores de emisión presentados anteriormente, consiste en encuestar a un número representativo de operaciones de recubrimiento de superficies. Los resultados de dicha encuesta podrían ser extrapolados al área total del inventario. Ver **NOTAS** de la sección Recubrimiento de Superficies en la Industria (Sección 6.1) para una breve descripción del procedimiento de encuesta. Los procedimientos de encuesta también se presentan en el Manual de *Técnicas Básicas de Estimación de Emisiones*.

EJEMPLO DE CALCULO:

Los cálculos necesarios para ambos métodos son similares; sin embargo, en el primer método, la resta del empleo de fuentes puntuales del empleo total resultará en una estimación más precisa. Por ejemplo,

- El empleo total en las plantas de lavado en seco que utilizan solventes halogenados dentro del área del inventario es de 990
- El empleo de fuentes puntuales en los Establecimientos A, B y C tiene un total de 170.

Entonces:

$$\begin{aligned}\text{Empleo en Fuente de Area} &= 990 - 170 \\ &= 820 \text{ empleados en establecimientos de lavado en} \\ &\quad \text{seco que usan solventes halogenados}\end{aligned}$$

Las emisiones son calculadas como:

$$\begin{aligned}\text{Emisiones GOT de Fuente de Area} &= (820 \text{ empleados}) \times (445 \text{ kg/empleado/año}) \\ &= 364,900 \text{ kg/año} \\ &= 364.9 \text{ Mg Mg/año}\end{aligned}$$

Si se utiliza el segundo método, las emisiones anuales totales de GOT de los establecimientos que usan solventes halogenados en un estado con una población de 1,250,000 son:

$$\begin{aligned}(1,250,000 \text{ personas}) \times (0.37 \text{ kg/persona/año}) &= 462,500 \text{ kg/año} \\ &= 462.5 \text{ Mg/año}\end{aligned}$$

Si existen grandes establecimientos que utilicen solventes halogenados para la limpieza en seco en el área de inventario, y que hayan sido inventariados como fuentes puntuales, entonces las emisiones calculadas para dichos establecimientos deben ser restadas del total calculado anteriormente. Por ejemplo, si las emisiones de fuentes puntuales son:

- 32 Mg por año para el Establecimiento A
- 11.2 Mg por año para el Establecimiento B
- 23 Mg por año para el Establecimiento C.

Entonces:

$$\begin{aligned}\text{Emisiones de Fuente de Area} &= 462.5 \text{ Mg} - (32 \text{ Mg} + 11.2 \text{ Mg} + 23 \text{ Mg}) \\ &= 396.3 \text{ Mg/año}\end{aligned}$$

6.7 Artes Gráficas

CODIGO DE FUENTE	DESCRIPCION
24-25-000-xxx	Todos los Procesos
24-25-010-xxx	Litografía
24-25-020-xxx	Tipografía
24-25-030-xxx	Rotograbado
24-25-040-xxx	Flexografía

DESCRIPCION:

Las artes gráficas incluyen las operaciones que están relacionadas con la impresión de periódicos, revistas, libros y otros materiales impresos. La impresión puede ser realizada sobre diversos sustratos (e. g., papel con y sin estuco, metal o tela). La diferencia de la impresión sobre papel estucado es que ésta siempre involucra la aplicación de tinta con una prensa de impresión. Las cuatro operaciones básicas utilizadas en las artes gráficas en EU son la litografía con rotativa, el rotograbado, la tipografía con rotativa y la flexografía. La impresión con retícula y las técnicas manuales o de alimentación de hojas son menos comunes. La litografía se caracteriza por un transportador planográfico de la imagen (i. e., las áreas de imagen y de no imagen están en el mismo plano). En la impresión por grabado, el área de imagen es grabada (i. e., “intaglio”) con respecto a la superficie del transportador de imagen. En la tipografía, el área de la imagen es levantada y la tinta es transferida al sustrato directamente a partir de la superficie de la imagen. La flexografía también usa un área de imagen sobre la superficie de la placa, pero utiliza un transportador de goma, mientras que la tipografía lo utiliza de metal o plástico.

La composición de las tintas de impresión es sumamente variable, pero todas constan de tres componentes principales: pigmentos, aglutinantes y solventes. La mayoría de los solventes utilizados en las operaciones de artes gráficas se consumen en las formulaciones de tintas de impresión, y cantidades menores son utilizadas para la limpieza del equipo o como componentes en las soluciones de fuente para sumergir los sistemas en la impresión litográfica. Los solventes se evaporan de las tintas hacia la atmósfera durante el proceso de secado. Si bien los solventes residuales pueden permanecer en el producto impreso después de que la tinta se ha secado, y que algunas de las tintas no serán utilizadas y serán dispuestas como aguas residuales en el establecimiento o en un relleno sanitario, la mayoría de los esfuerzos de inventario asumen, de manera conservadora, que todos los solventes de las tintas se evaporan en el aire.

Las emisiones de las operaciones de artes gráficas pueden ser reducidas utilizando tintas con base de agua, procesos de aplicación más eficientes que requieran menos

tinta, filtros, sistemas de condensación y post-quemadores.

CONTAMINANTES: GOT

GOR: Las emisiones GOR constituyen 100% del GOT.

AJUSTES DE FUENTES PUNTUALES:

Las operaciones de artes gráficas se pueden presentar en grandes establecimientos que pudieron ser inventariados como fuentes puntuales. Por lo tanto, el procedimiento de cálculo de emisiones de fuentes de área debe ser ajustado para evitar la duplicación con los estimados de las fuentes puntuales.

METODOLOGIA:

El cálculo utilizando el factor de emisión per cápita es:

$$\text{Emisiones Anuales de GOT} = (\text{Población}) \times (\text{Factor de Emisión})$$

(6.7-1)

Si cualesquier grandes establecimientos de artes gráficas son incluidos en el inventario de fuentes puntuales, sus emisiones deben ser eliminadas de este estimado para arrojar un estimado de emisión de las fuentes de área.

Nótese que este factor de emisión per cápita estadounidense tiene una aplicación limitada en México, y que debe ser utilizado solamente si se carece de otros datos.

DATOS NECESARIOS:

Datos	Fuentes
Método del Factor de Emisión Per Cápita:	
Población	INEGI
Factor de Emisión GOT (para todos los tipos de operaciones de artes gráficas) 0.59 kg/persona/año (1.3 lb/persona/año)	U.S. EPA, 1991a

NOTAS:

1. La quinta edición del AP-42 (AP-42, 1995) presenta un factor de emisión per cápita de 0.4 kg compuestos orgánicos volátiles no de metano (COVs)/ persona/año. Sin embargo, este factor de emisión se basa en datos de 1981; por lo tanto, la guía de la EPA de 1991 se considera más actualizada.
2. Es posible que en el corto plazo se desarrolle un factor de emisión per cápita para las artes gráficas específico para México, basado en la información sobre ventas de productos disponible en la ANAFAPYT y los estimados de población, como se resume a continuación:

$$\text{FE Per Cápita} = (\text{uso anual total de tintas, litros}) (\text{factor de ajuste de crecimiento del DDF a partir de los datos del año al año de inventario}) \times (\text{porcentaje de solvente de tinta}) \times (\text{densidad promedio de la tinta, g/litro}) / \text{población}$$

(6.7-2)

El DDF ya ha desarrollado factores de emisión per cápita específicos para México, para diversas categorías de recubrimiento de superficies utilizando este enfoque (DDF, 1995b).

3. Los ajustes a los factores emisión per cápita pueden ser necesarios para reflejar las condiciones locales y con el tiempo, para reflejar los cambios en el uso y composición de la tinta.
4. Una alternativa para el uso de los factores de emisión presentados anteriormente es encuestar a un número representativo de operaciones de artes gráficas. Los resultados de esta encuesta deben ser extrapolados a toda el área del inventario. Ver el inciso **NOTAS** de la sección Recubrimiento Industrial de Superficies (Sección 6.1) para una breve descripción del procedimiento de encuesta. Los procedimientos de encuesta también se presentan en el Manual de *Técnicas Básicas de Estimación de Emisiones*.

EJEMPLO DE CALCULO:

Por ejemplo, las emisiones anuales totales de GOT de las artes gráficas en un estado con una población de 1,250,000 son:

$$\begin{aligned} (1,250,000 \text{ personas}) \times (0.59 \text{ kg/persona/año}) &= 737,500 \text{ kg/año} \\ &= 737.5 \text{ Mg/año} \end{aligned}$$

Si existen grandes establecimientos de artes gráficas en el área de inventario que hayan sido inventariados como fuentes puntuales, entonces las emisiones calculadas para dichos establecimientos deben ser restadas del total calculado anteriormente. Por ejemplo, si las emisiones de fuentes puntuales son

- 12 Mg/año para el Establecimiento A
- 15 Mg/año para el Establecimiento B

Entonces:

$$\begin{aligned}\text{Emisiones de Fuente de Area} &= (\text{Emisiones Totales}) - (\text{Emisiones Puntuales}) \\ &= 737.5 - (12 + 15) \\ &= 710.5 \text{ Mg/año}\end{aligned}$$

6.8 Aplicación de Asfalto

CODIGO DE FUENTE	DESCRIPCION
24-61-021-000	Asfaltos Diluidos
24-25-022-000	Asfaltos Emulsificados

DESCRIPCION:

Las superficies y pavimentos de asfalto están compuestos por un agregado compactado y un adhesivo de asfalto. El agregado transmite la carga desde la superficie hacia la base, absorbe el desgaste abrasivo del tráfico y proporciona una superficie antiderrapante. El adhesivo mantiene al agregado unido y evita los movimientos o pérdida de éste. Esta categoría de fuente maneja las emisiones de hidrocarburos de la evaporación de estos adhesivos.

Los aglomerantes de asfalto pueden ser cementos asfálticos o asfaltos licuados. Los primeros son el residuo de los procesos de destilación. Por otro lado, existen dos tipos de asfaltos licuados: los diluidos y los emulsificados. Los asfaltos diluidos son cementos asfálticos adelgazados o “diluidos” con destilados volátiles de petróleo, y en general están clasificados como de cura rápida, media y lenta. La caracterización del asfalto se basa en el solvente que es utilizado como diluyente, y el tiempo necesario para su curado (i. e., la gasolina o nafta son utilizadas como diluyentes para un curado rápido, mientras que el queroseno y otros aceites combustibles de baja volatilidad son utilizados para un curado medio y lento. Los asfaltos emulsificados usan una mezcla de agua y emulsificante (i. e., jabón), en lugar de un solvente diluyente, y su curado depende de la evaporación del agua o del enlace iónico.

Las emisiones GOT provienen de la evaporación del solvente destilado de petróleo que se utiliza para licuar el cemento asfáltico. El tipo y cantidad de diluyente usado son las dos variables principales que afectan las emisiones COVs totales y el tiempo en el que se presentan. Las emisiones en el largo plazo pueden ser estimadas asumiendo que el 95% en peso del diluyente se evapora a partir de un curado rápida; el 70% en un curado medio y el 25% en uno lento (U.S. EPA, 1995a). Al parecer, una parte del diluyente queda retenido de manera permanente en la superficie de camino después de la aplicación.

CONTAMINANTES: GOT

GOR: Las emisiones GOR constituyen 100% del GOT.

AJUSTES DE FUENTES PUNTUALES:

Las plantas de asfalto pueden ser inventariadas como fuentes puntuales y las emisiones que han sido calculadas para estos establecimientos pueden incluir estimaciones GOT de las emisiones de los diluyentes durante la mezcla o manejo de los materiales. Si este fuera el caso, estas emisiones de diluyentes deben ser restadas de las emisiones totales para estimar las emisiones de fuentes de área.

METODOLOGIA:

Para estimar las emisiones, los datos requeridos incluyen la cantidad total de cada tipo de asfalto aplicado en la región del inventario, y el tipo y cantidad del diluyente usado en cada región. Dado que normalmente la cantidad de diluyente en el asfalto se proporciona en porcentaje por volumen, las ecuaciones para la estimación general de emisiones son:

$$\text{Densidad del asfalto} = (\text{densidad del cemento asfáltico}) \times (\% \text{ en vol. cemento asfáltico}) + (\text{densidad del diluyente asfáltico}) \times (\% \text{ en vol. diluyente asfáltico}) \quad (6.8-1)$$

$$\text{Volumen de asfalto aplicado} = (\text{masa del asfalto aplicado}) / (\text{densidad del asfalto}) \quad (6.8-2)$$

$$\text{Volumen total del diluyente} = (\text{volumen de asfalto aplicado}) \times (\% \text{ en vol. diluyente}) \quad (6.8-3)$$

$$\text{Masa total del diluyente} = (\text{volumen total de diluyente}) \times (\text{densidad del diluyente}) \quad (6.8-4)$$

$$\text{Emisiones GOT totales} = (\text{Masa total del diluyente}) \times (\% \text{ de diluyente evaporado con base en el tipo de curado}) \quad (6.8-5)$$

Si la cantidad de diluyente en el asfalto es proporcionada en porcentaje por peso, entonces las ecuaciones para la estimación de emisiones son simplemente:

$$\text{Masa total del diluyente} = (\text{masa del asfalto aplicado}) \times (\text{densidad del diluyente como \% en peso}) \quad (6.8-6)$$

$$\text{Emisiones GOT totales} = (\text{Masa total del diluyente}) \times (\% \text{ diluyente evaporado según tipo de curado}) \quad (6.8-7)$$

DATOS NECESARIOS:

DATOS	FUENTES
Cantidad de cada tipo de asfalto aplicado en la región del inventario	Entidad municipal (e. g., <i>Dirección General de Obras Públicas</i> en la Ciudad de México)
Propiedades físicas del asfalto (cemento asfáltico y diluyente)	Entidad municipal (e. g., <i>Dirección General de Obras Públicas</i> en la Ciudad de México)
Factor de emisión GOT (i. e., % en peso evaporado) 95 % en peso para curado rápido 70 % en peso para curado medio 25 % en peso para curado lento	AP-42

NOTAS:

1. Si las propiedades físicas del asfalto específicas para la región no están disponibles, pueden utilizarse los siguientes valores por omisión:

Propiedad Física	Valor por Omisión	Fuente
% en peso del diluyente en el asfalto	0.34 % en peso (Ciudad de México) 6.2 % en peso (resto del país)	DDF, 1996b
Densidad del diluyente	0.7 kg/litro (nafta, curado rápido) 0.8 kg/litro (curado medio) 0.9 kg/litro (curado lento)	AP-42
Densidad del cemento asfáltico	1.1 kg/litro 1.1 - 1.5 kg/litro	AP-42 CRC, 1985, p. F-1

2. Si la cantidad de asfalto aplicado está disponible solamente para una parte de la región del inventario, estos datos deben ser utilizados para desarrollar un factor de emisión per cápita a ser utilizado en conjunto con los datos de población, para desarrollar estimados de emisión para la otra parte de la región como se muestra en el ejemplo de cálculo.

El DDF ha utilizado este enfoque para desarrollar estimados de emisión para la aplicación de asfalto en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM)(DDF, 1996b).

EJEMPLO DE CALCULO:

Los registros locales muestran que 10,000 kg de asfalto diluido de cura rápida han sido aplicados en un área determinada durante el año. Se ha reportado que este asfalto contiene 45% en volumen de nafta. Asumiendo que la densidad de la nafta es de 0.7 kg/litro, y que la del cemento asfáltico es de 1.1 kg/litro, calcular las emisiones DE GOT anuales.

1. Densidad del asfalto = (densidad del cemento asfáltico) × (% en vol. del cemento asfáltico) + (densidad del diluyente asfáltico) × (% en vol. diluyente asfáltico)
 = (1.1 kg/litro) × ((% en vol) + (0.7 kg/litro) × (45 % en vol.)
 = 0.92 kg/litro
2. Volumen de asfalto aplicado = (masa de asfalto aplicado) / (densidad del asfalto)
 = (10,000 kg) / (0.92 kg/litro)
 = 10,870 litros
3. Volumen total del diluyente = (volumen de asfalto aplicado) × (% en vol. del diluyente)
 = (10,870 litros) × (45 % en vol.)
 = 4,891 litros
4. Masa total del diluyente = (volumen total del diluyente) × (densidad del diluyente)
 = (4,891 litro) × (0.7 kg/litro)
 = 3,424 kg
5. Emisiones GOT totales = (masa total del diluyente) × (% del diluyente evaporado con base en el tipo de curado)
 = (3,424 kg) × (95% de evaporación para cura rápida)
 = 3,253 kg GOT/año

Si existen grandes plantas de asfalto en la región de inventario que hayan sido inventariadas como fuentes puntuales, entonces las emisiones de diluyentes reportadas por dichos establecimientos deben ser restadas del total calculado anteriormente. Por ejemplo, si las emisiones de fuentes puntuales son:

- 500 kg GOT/año por el Establecimiento A (400 kg del diluyente, 100 kg de la combustión)
- 300 kg GOT/año por el Establecimiento B (250 kg del diluyente, 50 kg de la combustión)

Entonces:

$$\begin{aligned} \text{Emisiones de Fuentes de Area} &= (\text{Emisiones Totales}) - (\text{Emisiones Puntuales}) \\ &= 3,253 - (400 + 250) \\ &= 2,603 \text{ kg GOT/año} \end{aligned}$$

6.9 Uso Comercial y Doméstico de Solventes

CODIGO DE FUENTE	DESCRIPCION
------------------	-------------

Doméstico

24-65-000-000	Todos los Productos de Consumo
24-65-100-000	Productos de Cuidado Personal
24-65-200-000	Productos Domésticos
24-65-300-000	Productos en Aerosol
24-65-400-000	Productos de Cuidado Automotriz
24-65-600-000	Adhesivos y Selladores
24-65-800-000	Pesticidas Domésticos
24-65-900-000	Productos Misceláneos

Comercial

24-61-000-000	Productos Comerciales Totales
24-61-600-000	Adhesivos y Selladores
24-61-800-000	Pesticidas Comerciales

DESCRIPCION:

Los hidrocarburos son ingredientes de los productos comerciales y de consumo que sirven como propulsores, agentes para el secado (a través de la evaporación), co-solventes y agentes limpiadores, y son emitidos durante el uso del producto. Típicamente estas fuentes de hidrocarburos son muy numerosas, altamente dispersas y a nivel individual emiten cantidades relativamente pequeñas de GOT. Los productos comerciales y de consumo que emiten GOT incluyen aerosoles, productos domésticos, productos de cuidado personal, de cuidado automotriz, adhesivos y selladores, así como pesticidas comerciales y domésticos.

Los solventes contenidos en los productos comerciales y de consumo son emitidos principalmente durante el uso del producto. Cantidades residuales de solvente pueden permanecer en el empaque desechado del producto, ingresar en la corriente municipal de residuos sólidos, y ser dispuestos en rellenos sanitarios, Los solventes de estos productos también pueden ingresar en el sistema de tratamiento de aguas residuales a través del uso y la disposición. La mayoría de los esfuerzos de inventario asumen que todo el GOT en los productos de consumo y comerciales se volatiliza al aire.

Los componentes típicos del GOT que son emitidos a la atmósfera a partir de esta categoría de fuente incluye a las naftas especiales, alcoholes y diversos cloro y fluorocarbonos. Aproximadamente 31% del GOT emitido por estos productos es considerado no fotoquímicamente reactivo (AP-42, 1995).

CONTAMINANTES: GOT

GOR: Se estima que las emisiones GOR constituyen 69% del GOT.

AJUSTES DE FUENTES PUNTUALES: Ninguno.

METODOLOGIA:

$$\text{Emisiones Anuales de GOT} = (\text{Población}) \times (\text{Factor de Emisión})$$

(6.9-1)

DATOS NECESARIOS:

DATOS		FUENTES
Población		INEGI
Factores de Emisión GOR		
Productos en Aerosol	0.046 kg/persona/año	DDF, 1995b
Productos Domésticos	0.36 kg/persona/año	U.S. EPA, 1996a
Productos de Cuidado Personal	1.05 kg/persona/año	U.S. EPA, 1996a
Productos de Cuidado Automotriz	0.61 kg/persona/año	U.S. EPA, 1996a
Adhesivos y Selladores	0.26 kg/persona/año	U.S. EPA, 1996a
Pesticidas Comerciales y Domésticos	0.81 kg/persona/año	
Productos Misceláneos		
GOT TOTALES	0.03 kg/persona/año	U.S. EPA, 1996a
	3.17 kg/persona/año	U.S. EPA, 1996a
Factores de Emision GOT		
Productos en Aerosol	0.067 kg/persona/año	DDF, 1995b
Productos Domésticos	0.52 kg/persona/año	U.S. EPA, 1996a
Productos de Cuidado Personal	1.52 kg/persona/año	U.S. EPA, 1996a
Productos de Cuidado Automotriz	0.88 kg/persona/año	U.S. EPA, 1996a
Adhesivos y Selladores	0.38 kg/persona/año	U.S. EPA, 1996a
Pesticidas Comerciales y Domésticos	1.17 kg/persona/año	
Productos Misceláneos		
GOT TOTALES	0.04 kg/persona/año	U.S. EPA, 1996a
	4.58 kg/persona/año	U.S. EPA, 1996a

NOTAS:

1. Los Factores de emisión GOT han sido desarrollados a partir de los factores de emisión GOT de referencia, y se estima que las emisiones GOR constituyen el 69% de los GOT.
2. El factor de emisión mostrado para los productos en aerosol fue desarrollado por el DDF (1995b) con base en la información sobre contenido de solventes y ventas de productos (para 1993), proporcionada por la ANAFAPYT.
3. Los ajustes este factor de emisión per cápita podrían ser necesarios con el tiempo, debido a que la sustitución de los compuestos contenidos en los productos comerciales y de consumo puede alterar la fracción no reactiva.

EJEMPLO DE CALCULO:

Por ejemplo, las emisiones totales anuales de GOT de uso comercial y doméstico de solventes en el estado de Colima (población 428,510) son:

$$\begin{aligned}(428,510 \text{ personas}) \times (4.58 \text{ kg/persona/año}) &= 1,962.576 \text{ kg/año} \\ &= 1,963 \text{ Mg/año.}\end{aligned}$$

7.0 ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE DE DERIVADOS DE PETROLEO

Por lo general, los diversos puntos de emisión asociados con el almacenamiento y transporte de productos de petróleo se consideran demasiado numerosos para ser incluidos en el inventario de fuentes puntuales en una región de inventario determinada. Por lo tanto estas pequeñas fuentes de evaporación necesitan ser incluidas en un inventario de fuentes de área. La guía para hacer el inventario de estas fuentes se presenta en las siguientes subsecciones:

- Distribución de gasolina (incluye a las pipas de gasolina en tránsito, la descarga de pipas [Etapa 1], la respiración de los tanques subterráneos, la carga de los vehículos [Etapa II] y derrames durante la carga);
- Carga de combustible en aeronaves y
- Distribución de Gas Licuado de Petróleo (gas LP).

7.1 Distribución de Gasolina

<u>CODIGO DE FUENTE</u>	<u>DESCRIPCION</u>
25-01-060-000	Estaciones de Servicio: Todos los Procesos
25-01-060-050	Etapa I: Total
25-01-060-051	Etapa I: Llenado Sumergido
25-01-060-052	Etapa I: Llenado por barboteo
25-01-060-053	Etapa I: Llenado Sumergido Balanceado
25-01-060-100	Etapa II: Total
25-01-060-101	Etapa II: Pérdidas por Desplazamiento/No Controladas
25-01-060-102	Etapa II: Pérdidas por Desplazamiento/Controladas
25-01-060-103	Etapa II: Derrames
25-05-030-120	Transporte en Camiones: Gasolina
25-01-060-200	Tanque Subterráneo: Total
25-01-060-201	Tanque Subterráneo: Respiración y Vaciado

DESCRIPCIÓN:

En la industria de la distribución de gasolina ésta es transportado en pipas desde las refinerías hasta las plantas y terminales a granel y finalmente a las estaciones de servicio. Los procedimientos que se discuten a continuación se refieren directamente a las emisiones que ocurren durante el transporte y distribución de gasolina desde las plantas y terminales de almacenamiento de cuentas comerciales hasta las estaciones de servicio.

Las emisiones evaporativas se presentan en todos los puntos del proceso de distribución de gasolina. Las operaciones que generalmente se consideran como fuentes de área son las estaciones expendedoras de gasolina (estaciones de servicio o gasolineras) y las pipas de gasolina en tránsito. Las plantas y terminales de almacenamiento que son los puntos intermedios de distribución entre las refinerías y los expendedores deben inventariarse como fuentes puntuales.

Todas las fuentes de área de GOT provenientes del transporte y distribución de gasolina incluyen los siguientes tipos de emisiones:

- Pérdidas por respiración:
 - Evaporación de la gasolina de las pipas durante su transporte desde la planta o terminal de almacenamiento hasta la estación de servicio u otro expendio;
 - Evaporación de la gasolina de la pipa vacía durante el viaje de regreso desde la estación de servicio dentro de un área de inventario hasta la planta o terminal de almacenamiento y
 - Evaporación de la gasolina desde el tanque o tanques de almacenamiento subterráneos o de las líneas que van hacia las bombas despachadoras cuando están paradas y fuera de uso.

- Pérdidas durante la operación
 - Evaporación de la gasolina durante la transferencia de la pipa al tanque subterráneo de almacenamiento en la estación de servicio (a menudo referida como "Etapa I");
 - Evaporación de la gasolina durante la transferencia de la bomba a los vehículos (a menudo referida como "Etapa II");
 - Derrames de gasolina (y su subsecuente evaporación) durante cualquiera de las actividades anteriores. Estas pérdidas están constituidas por los goteos de la boquilla antes y después del llenado y por el rebosamiento del tubo de llenado del tanque de gasolina del vehículo durante el llenado y
 - Evaporación de la gasolina del tanque subterráneo de almacenamiento o de las líneas que van hacia las bombas durante la transferencia de la gasolina.

CONTAMINANTES: GOT

GOR: En la gasolina la fracción de las emisiones totales que son metano o etano es despreciable. Por lo tanto, se estima que las emisiones de GOR constituyen el 100% de los GOT. Para los combustibles diesel, el metano y el etano constituyen el 15% de las emisiones evaporativas totales de GOT por lo que se estima que las emisiones de GOR constituyen el 85% de los GOT.

AJUSTES POR FUENTES PUNTUALES:

Las actividades de distribución de gasolina pueden presentarse en plantas grandes que se hayan inventariado como fuentes puntuales. Las emisiones que se han calculado para las plantas consideradas fuentes puntuales deben ser restadas de las emisiones totales para estimar las emisiones de fuentes de área.

METODOLOGIA:

El enfoque más exacto para estimar las emisiones de fuentes de área de la distribución de gasolina consiste en obtener los datos del consumo de gasolina que luego se multiplica por varios factores de emisión para determinar las pérdidas evaporativas. PEMEX recopila y mantiene las estadísticas sobre distribución y consumo de gasolina.

El flujo de gasolina en el área de inventario debe ser seguido hasta el consumo del combustible. El mejor enfoque consiste en hacer una gráfica que muestre el flujo global de gasolina dentro del área del inventario, desde el punto de entrada, a través del almacenamiento a granel hasta las operaciones en las estaciones de servicios y en la carga de los vehículos. La construcción de este diagrama de flujo de una vista global valiosa del sistema de distribución de gasolina y facilita la detección de anomalías grandes en los datos de distribución. Debe tenerse cuidado de contabilizar toda la gasolina que se consume en el área del inventario incluyendo la que se expende en marinas, aeropuertos, bases militares y sitios comunes del gobierno para vehículos motorizados.

Descarga de las Pipas

Las emisiones de la descarga de las pipas se ven afectadas por el hecho de que el tanque de la estación de servicio esté equipado para llenado sumergido, por barboteo o por balance. Por lo tanto se debe obtener información acerca de la fracción de estaciones que usa cada método de llenado. Por medio de una encuesta de varias estaciones de servicio en el área se puede hacer una estimación del número de estaciones que emplean cada método de llenado. PEMEX es otra fuente de información sobre las características de las estaciones.

Las pérdidas en la descarga de pipas ocurren cuando los vapores de hidrocarburos en los tanques "vacíos" son desplazados hacia la atmósfera por el líquido que se les está cargando. Estos vapores están compuestos de: (1) vapores formados en el tanque vacío por la evaporación del producto residual de cargas anteriores; (2) vapores transferidos al tanque en los sistemas de balance de vapor a medida que el producto se está descargando y (3) vapores generados en el tanque a medida que se carga el nuevo producto.

En el método de carga por barboteo se baja sólo una parte de la manguera de llenado para servir la gasolina dentro del tanque de carga. Durante la operación de carga por barboteo hay importante turbulencia y contacto entre el vapor y el líquido lo que resulta en altos niveles de generación y pérdida de vapor. Si la turbulencia es suficientemente grande, algunas gotitas de líquido serán arrastradas en los vapores venteados.

Un segundo método de carga es el de carga sumergida. De éste hay dos tipos: el método de manguera de llenado sumergida y el método de cargado por el fondo. En el primero, la manguera de llenado se extiende casi hasta el fondo del tanque. En el segundo, se une una manguera permanente de llenado al fondo del tanque. Durante la mayor parte de las cargas sumergidas por ambos métodos la apertura de la manguera queda debajo del nivel de la superficie del líquido. La turbulencia del líquido se controla en gran medida durante la carga sumergida lo que resulta en una generación de vapor mucho menor que la que se encuentra durante la carga por barboteo.

Una medida de control para los vapores desplazados durante la carga de gasolina se conoce como "balance de vapor" o control de vapor en la Etapa I, en la cual los vapores desplazados durante la descarga del producto regresan al compartimiento de carga de la pipa. La eficiencia de control de las unidades recuperadoras varía entre el 90 y el 99%.

Las emisiones de la carga de gasolina (o de cualquier líquido de petróleo) pueden estimarse (con un error probable de $\pm 30\%$) usando la siguiente expresión:

$$PC = 12.46 \frac{SPM}{T} \quad (7.1-1)$$

- donde:
- PC = Pérdidas durante la carga, libras por 1,000 galones de líquido cargado;
 - S = Factor de saturación (ver Tabla 7.1-1). El factor de saturación, S, representa el enfoque en fracción del vapor expelido hasta la saturación y explica las variaciones observadas en las tasas de emisión de los diferentes métodos de carga y descarga;
 - P = Presión de vapor verdadera del líquido cargado, libras por pulgada cuadrada absoluta (psia) (ver Tabla 7.1-2);
 - M = Peso molecular de los vapores, (lb/lb-mol) (ver Tabla 7.1-2) y
 - T = Temperatura de la masa del líquido cargado, °R (°F + 460).

Para estimar las emisiones, se aplica el factor de emisión para la descarga de pipas al combustible total distribuido como se indica en la siguiente ecuación:

$$E_{dp} = FE_{dp} \times C \quad (7.1-2)$$

donde:

- E_{dp} = Emisiones totales de la descarga de pipas (kg/año)
- FE_{dp} = Factor de emisión para las pipas durante la carga de combustible (kg/litro)
- C = Combustible distribuido (litros/año).

DATOS NECESARIOS:

Datos	Fuentes
Consumo de combustible distribuido	PEMEX
Factores de emisión de GOT ^a	AP-42, 1995
Calculados usando la Ecuación 7.1-1 ó	
Llenado sumergido: 880 mg/litro de combustible	
Llenado por barboteo: 1,380 mg/litro de combustible	
Llenado sumergido balanceado: 40 mg/litro de combustible	

^a Los factores son tanto para GOT como para GOR debido a que el contenido de metano y etano en los vapores de gasolina es despreciable.

EJEMPLO DE CÁLCULO - DESCARGA DE LAS PIPAS:

Suponer que en la región del inventario se descargan 100,000 m³ de gasolina (RVP = 10 psia) en las estaciones de servicio durante un año dado. Suponer que todos los tanques de las estaciones de servicio están equipados para un llenado sumergido y que las pipas se operan como servicio exclusivo normal. Finalmente, suponer que la temperatura promedio de carga es de 21°C.

1. Determinar el factor de saturación S.
Usar la Tabla 7.1-1 para el servicio normal exclusivo de carga sumergida, S = 0.6.
2. Determinar la presión de vapor verdadera y el peso molecular del vapor.
Usar la Tabla 7.1-2. Para una RVP = 10 psia, el valor por omisión para el peso molecular del vapor es de 66 lb/lb-mol.

La temperatura promedio de carga es de 21°C ó 70°F. Por lo tanto, el valor por omisión para la presión de vapor verdadera es de 6.2 psia.
3. Determinar el factor de emisión usando la ecuación 7.1-1:
4. Determinar las emisiones de GOT de estas operaciones de descarga de pipas usando la ecuación 7.1-2:

$$E_{dp} = FE_{dp} \times C$$

$$\begin{aligned} E_{dp} &= (0.69 \text{ kg/m}^3) \times (100,000 \text{ m}^3) \\ &= 69,000 \text{ kg de GOT} = 69 \text{ Mg de GOT} \end{aligned}$$

Pérdidas por Respiración de Tanques Subterráneos

Una segunda fuente de emisiones de vapor en las estaciones de servicio está en la respiración de los tanques subterráneos. Las pérdidas por respiración ocurren a diario y se atribuyen a la evaporación de la gasolina y a los cambios en la presión barométrica. La frecuencia con la que se retira gasolina del tanque, permitiendo la entrada de aire fresco que aumenta la evaporación, también tiene un efecto importante en estas emisiones. Una tasa promedio de emisiones por respiración es de 120 mg/litro de producto.

Para estimar las emisiones se aplica el factor de emisión para la respiración del tanque al combustible total distribuido como se indica en la siguiente ecuación:

$$E_r = FE_r \times C \quad (7.1-3)$$

donde: E_r = Emisiones totales por respiración del tanque subterráneo (mg/año);
 FE_r = Factor de emisión para la respiración del tanque (mg/litro) y
 C = Combustible distribuido (litro/año).

DATOS NECESARIOS:

Datos	Fuentes
Combustible Distribuido	PEMEX
Factor de Emisión de GOT ^a 120 mg/litro de combustible distribuido	AP-42, 1995

^a El factor es tanto para GOT como para GOR debido a que el contenido de metano y etano en los vapores de gasolina es despreciable.

EJEMPLO DE CÁLCULO - RESPIRACIÓN DEL TANQUE SUBTERRANEO:

Al igual que en el ejemplo de cálculo anterior suponer que se distribuyen 100,000 m³ de gasolina en las estaciones de servicios en la región del inventario durante un año dado. Usar la ecuación 7.1-3 para determinar las emisiones de GOT de la respiración del tanque subterráneo:

$$\begin{aligned} E_r &= FE_r \times C \\ FE_r &= (120 \text{ mg/litro}) \times (1 \text{ kg}/10^6 \text{ mg}) \times (1,000 \text{ litros}/\text{m}^3) = 0.120 \text{ kg}/\text{m}^3 \\ E_r &= (0.120 \text{ kg}/\text{m}^3) \times (100,000 \text{ m}^3) \\ &= 12,000 \text{ kg de GOT} \\ &= 12 \text{ Mg de GOT} \end{aligned}$$

Pipas de Gasolina en Tránsito

Las pérdidas de respiración de las pipas durante el transporte de gasolina son ocasionadas por camiones de reparto con fugas, presión en los tanques y efectos térmicos sobre el vapor y sobre el líquido. Una causa aún más grave proviene de que un tanque con mal sellado se haya cargado con gasolina y el aire puro se vuelve saturado. Durante el proceso de vaporización la presión aumenta y ocurre el venteo.

Debido a que una parte de la gasolina se entrega en las plantas de almacenamiento a granel en vez de que se entregue directamente a las estaciones de servicio desde las plantas, la cantidad de gasolina transferida en cualquier área puede exceder al consumo total de gasolina debido a los viajes adicionales que se incluyen. Por lo tanto, las emisiones en tránsito no sólo incluyen el consumo final sino también el transporte de gasolina desde fuera del área de inventario hacia las plantas intermedias de almacenamiento y deben estar basadas en la gasolina total transferida más que en el consumo. Por ejemplo, si las ventas de gasolina en un área son de 300 millones de litros anuales y 50 millones de litros de éstos van a las plantas de almacenamiento, la cantidad transportada por las pipas es de 350 millones de litros. Esta es la cifra apropiada que se debe usar para estimar las pérdidas en tránsito. En EU se aplica una suposición por omisión de 25% si no se pueden obtener datos específicos del lugar. En otras palabras, la distribución de gasolina en un

área podría multiplicarse por 1.25 para estimar su transporte (AP-42, 1991a). Este valor por omisión de los EU es de aplicación limitada en México y sólo se debe usar cuando no hay otros datos disponibles.

Para estimar las emisiones el factor de emisión para pipas en tránsito se aplica al combustible total transferido como se indica en la siguiente ecuación:

$$E_{pt} = FE_{pt} \times C_t \tag{7.1-4}$$

donde: E_{pt} = Emisiones totales de las pipas en tránsito (mg/año);
 FE_{pt} = Factor de emisión para las pipas en tránsito (mg/litro) y
 C_t = Combustible en tránsito en el área del inventario incluyendo a las plantas de almacenamiento (litro/año).

DATOS NECESARIOS:

Datos	Fuentes
Combustible transferido dentro y a través del área del inventario	PEMEX
Factores de Emisión de GOT ^a Pipas cargadas con producto: 0-1 mg/litro transportado Pipas que regresan con vapor: 0-13 mg/litro transportado	AP-42, 1995

^a Los factores son tanto para GOT como para GOR debido a que el contenido de metano y etano en los vapores de gasolina es despreciable.

NOTAS:

1. El valor por omisión en EU (de 25%) que se usa para la gasolina en tránsito pasando por las plantas de almacenamiento sirve para hacer correcciones por el paso de la gasolina por estas terminales. Se puede hacer un ajuste más exacto usando los datos de las terminales de almacenamiento en el área del inventario.

EJEMPLO DE CALCULO - PIPAS DE GASOLINA EN TRÁNSITO:

Al igual que en los ejemplos de cálculo anteriores suponer que 100,000 m³ de gasolina son distribuidos en las estaciones de servicios en la región del inventario durante un año dado. Suponer que se desconoce la cantidad entregada a las plantas de almacenamiento.

1. Determinar la cantidad total de gasolina en tránsito.

Dado que se desconoce la cantidad entregada a las plantas de almacenamiento usar el valor por omisión de EU, de 25%.

$$\begin{aligned}
 C_t &= C_{\text{estación de servicio}} + C_{\text{plantas de almacenamiento}} \\
 &= C_{\text{estación es de servicio}} + 0.25C_{\text{estación es de servicio}} \\
 &= 1.25 \times 100,000 \text{ m}^3 \\
 &= 125,000 \text{ m}^3 \text{ de gasolina}
 \end{aligned}$$

2. Determinar las emisiones de GOT de las pipas de gasolina en tránsito y cargadas con combustible usando la ecuación 7.1-4.

$$\begin{aligned}
 E_{pt} &= FE_{pt} \times C_t \\
 FE_{pt} &= (0.5 \text{ mg/litro}) \times (1 \text{ kg}/10^6 \text{ mg}) \times (1,000 \text{ litros}/\text{m}^3) \\
 &= 0.0005 \text{ kg}/\text{m}^3 \\
 E_{pt} &= (0.0005 \text{ kg}/\text{m}^3) \times (125,000 \text{ m}^3) \\
 &= 62.5 \text{ kg de GOT}
 \end{aligned}$$

3. Determinar las emisiones de GOT de las pipas de gasolina en tránsito y que regresan con vapor.

$$E_{pt} = FE_{pt} \times C_t$$

$$\begin{aligned} FE_{pt} &= (6.5 \text{ mg/litro}) \times (1 \text{ kg}/10^6 \text{ mg}) \times (1,000 \text{ litros}/\text{m}^3) \\ &= 0.0605 \text{ kg}/\text{m}^3 \\ E_{pt} &= (0.0605 \text{ kg}/\text{m}^3) \times (125,000 \text{ m}^3) \\ &= 812.5 \text{ kg de GOT} \end{aligned}$$

Carga de Combustible a Vehículos (Etapa II) y Derrames

Las emisiones producidas al cargar gasolina a los vehículos provienen de los vapores desplazados de sus tanques por la gasolina y de los derrames. La cantidad de vapores desplazados depende de la temperatura de la gasolina y de la temperatura del tanque, de la presión de vapor Reid de la gasolina (RVP) y de la tasa a la que se sirve la gasolina. Se puede usar la ecuación 7.1-5 para estimar las pérdidas no controladas por desplazamiento de los vehículos al cargar gasolina para un conjunto particular de condiciones.

$$FE_{cg} = 264.2 [(-5.909) - 0.0949(\Delta T) + 0.0884(T_S) + 0.485(RVP)] \quad (7.1-5)$$

donde:

- FE_{cg} = Factor de emisión de GOT para un vehículo al cargar gasolina (mg/litro);
- ΔT = Diferencia entre la temperatura del combustible en el tanque del vehículo y la temperatura del combustible que se está cargando, °F;
- T_D = Temperatura del combustible que se está cargando, °F y
- RVP = Presión de vapor Reid, psia.

Se estima que las emisiones no controladas de los vapores desplazados durante la carga de gasolina a un vehículo promedian 1,320 mg/litro de gasolina cargada (AP-42, 1995). Este valor promedio basado en datos de los EU tiene una aplicación limitada en México y sólo debe usarse cuando no hay otros datos disponibles.

Las pérdidas por derrames están integradas por los goteos de la boquilla antes y después del llenado y por el rebosamiento del tubo de llenado del tanque de gasolina del vehículo durante la carga. La cantidad de pérdidas por derrames puede depender de diversas variables que incluyen las características de la estación de servicio, la configuración del tanque y las técnicas de carga del operador. Una pérdida promedio por derrames es de 80 mg/litro de gasolina cargada (AP-42, 1995). El valor promedio basado en datos de los EU tiene una aplicación limitada en México y sólo debe usarse cuando no hay otros datos disponibles.

Para estimar las emisiones el factor de emisión para la carga de combustible a vehículos se aplica al combustible total servido como se indica en la siguiente ecuación:

$$E_{cd} = FE_{cd} \times C \quad (7.1-6)$$

donde:

- E_{cd} = Emisiones asociadas con la carga de combustible de los vehículos y derrames (kg/año)
- FE_{cd} = Factores de emisión para la carga de combustible de los vehículos y derrames (mg/litro)
- C = Combustible distribuido (litro/año).

DATOS NECESARIOS:

EJEMPLO DE CÁLCULO - CARGA DE COMBUSTIBLES EN VEHÍCULOS Y DERRAMES

Suponer nuevamente que se distribuyen 100,000 m³ de gasolina (RVP = 10 psia) en la región del inventario en un año dado. Suponer que la temperatura de los combustibles distribuidos es de 15°C y que la temperatura del combustible en el tanque del vehículo es de aproximadamente 21°C. Finalmente, suponer que el valor promedio basado en datos de EU para pérdidas por derrame es aplicable.

1. Determinar el factor de emisión de GOT para la carga de combustible en vehículos usando la ecuación 7.1-5.

$$FE_c = 264.2 [(-5.909) - 0.0949(\Delta T) + 0.0884(T_D) + 0.485(RVP)]$$

$$EF_r = 264.2 [(-5.909) - 0.0949(70^\circ F - 59^\circ F) + 0.0884(59^\circ) + 0.485(10)]$$

$$= 822 \text{ mg/litro}$$

$$= 0.822 \text{ kg/m}^3$$

2. Determinar el factor de emisión de GOT para derrames.

$$FE_d = 80.0 \text{ mg/litro}$$

$$= 0.080 \text{ kg/ m}^3$$

3. Determinar las emisiones de GOT para la carga de combustible de vehículos y derrames usando la ecuación 7.1-6.

$$E_{cd} = FE_{cd} \times C$$

$$FE_{cd} = (0.822 \text{ kg/ m}^3) + (0.080 \text{ kg/m}^3)$$

$$= 0.902 \text{ kg/ m}^3$$

$$E_{cd} = (0.902 \text{ kg/ m}^3) (100,000 \text{ m}^3)$$

$$= 90,200 \text{ kg de GOT}$$

$$= 90.2 \text{ MG de GOT}$$

Tabla 7.1-1

**Factores de Saturación (S) para Calcular las Pérdidas al Cargar
Líquidos de Petróleo**

Transporte de Carga	Modo de Operación	Factor S
Pipas y vagones cisterna	Carga sumergida: tanque de carga limpio	0.50
	Carga sumergida: servicio exclusivo normal	0.60
	Carga sumergida: servicio exclusivo de balance de vapor	1.00
	Carga por barboteo: tanque de carga limpio	1.45
	Carga por barboteo: servicio exclusivo normal	1.45
	Carga por barboteo: servicio exclusivo de balance de vapor	1.00
Embarcaciones marítimas ^a	Carga sumergida: barcos	0.2
	Carga sumergida: barcazas	0.5

^a Para productos que no sean gasolina ni petróleo crudo.

Fuente: AP-42, 1995a, Sección 5.2.

Nota: El factor de saturación refleja el grado en que se saturan los vapores venteados con relación a las condiciones de equilibrio. Es decir, S = 1.00 representa vapores venteados en condiciones de equilibrio. Si hay gotitas de líquido arrastradas en los vapores venteados, entonces, S > 1.0.

Tabla 7.1-2

Propiedades (PM_V y P_{VA}) de Derivados de Petróleo Líquidos Selectos

Líquido de Petróleo	PM_V , Peso Molecular del Vapor a 60°F, (lb/lb-mol)	Presión de Vapor Verdadera, P_{VA} (psia)						
		40°F	50°F	60°F	70°F	80°F	90°F	100°F
Gasolina RVP 13	62	4.7	5.7	6.9	8.3	9.9	11.7	13.8
Gasolina RVP 10	66	3.4	4.2	5.2	6.2	7.4	8.8	10.5
Gasolina RVP 7	68	2.3	2.9	3.5	4.3	5.2	6.2	7.4
Crudo RVP 5	50	1.8	2.3	2.8	3.4	4.0	4.8	5.7
Nafta para Jet (JP-4)	80	0.8	1.0	1.3	1.6	1.9	2.4	2.7
Queroseno para Jet	130	0.0041	0.0060	0.0085	0.011	0.015	0.021	0.029
Combustóleo Destilado No. 2	130	0.0031	0.0045	0.0074	0.0090	0.012	0.016	0.022
Aceite Residual No. 6	190	0.00002	0.00003	0.00004	0.00006	0.00009	0.00013	0.00019

Fuente: AP-42, 1995a, Sección 7.1. Cuando sea posible los valores de estas propiedades para los derivados de petróleo mexicanos deben obtenerse de PEMEX.

7.2 Carga de Combustible en Aeronaves

CODIGO DE FUENTE DESCRIPCIÓN

22-75-900-000 Carga de Combustible: Todos los Combustibles

DESCRIPCIÓN:

El gas avión y la turbosina son los tipos más comunes de combustibles para avión usados en México. Las emisiones ocurren si el aire cargado de vapor en un tanque parcialmente vacío es desplazado hacia la atmósfera cuando se recarga el tanque. La cantidad de vapor desplazado depende de la temperatura y presión de vapor del combustible, de la temperatura del tanque de combustible del avión y de la tasa a la que se carga el combustible.

Es probable que la aviación comercial y la general no contribuyan con suficientes emisiones como para que se les trate como fuentes puntuales. Sus emisiones por carga de combustible muestran variaciones regionales, estacionales y temporales que son determinadas por la concentración del tránsito aéreo en los aeropuertos del área de estudio (que se localizan por lo general cerca de las áreas urbanas), por los horarios diarios de las aerolíneas y por las temporadas de viajes.

CONTAMINANTES: GOT

GOR: Se estima que las emisiones de GOR constituyen el 100% de los GOT dado que se supone que las fracciones de metano y de etano son despreciables.

FUENTES PUNTUALES:

Es posible que algunos aeropuertos grandes que son fuentes puntuales hayan reportado emisiones por carga de combustible. De ser así, las emisiones incluidas en el inventario de fuentes puntuales deben ser restadas de las emisiones totales para estimar las emisiones de área.

METODOLOGIA:

Las emisiones por carga de combustible en aviones pueden estimarse usando los datos de venta por tipo de combustible multiplicados por los factores de emisión del combustible correspondiente. Los datos de consumo de combustible regionales, estatales y nacionales están disponibles en PEMEX y en ASA. Los datos de las ventas locales de combustible también pueden obtenerse con los oficiales de los aeropuertos locales o repartiendo las ventas de combustible a los aeropuertos a nivel regional con base en las actividades de vuelo.

Se pueden calcular los factores de emisión usando la siguiente ecuación (AP-42, 1995):

$$FE_a = 12.46 \times \frac{SP(PM)}{T} \tag{7.2-1}$$

$$EF_a = 12.46 \frac{SPM}{T}$$

- donde :
- FE_a = Factor de emisión en libras de GOT por 1,000 galones de combustible usado;
 - S = Factor de saturación de 1.45 (Tabla 7.1-1);
 - P = Presión de vapor verdadera del combustible en psia (Tabla 7.1-2);
 - PM = Peso molecular de los vapores en lb/lb mol (Tabla 7.1-2) y
 - T = Temperatura de la masa del líquido cargado °R.

Para estimar las emisiones producidas en la carga de combustible en aviones se aplica el factor de emisión del avión al total de combustible para aviones distribuido como se indica en la siguiente ecuación:

$$E_a = FE_a \times C_a \tag{7.2-2}$$

- donde:
- E_a = Emisiones totales producidas en la carga de combustible en aviones (mg/año);
 - FE_a = Factor de emisión para la carga de combustible en aviones (mg/litro)
 - C_a = Combustible para aviones distribuido en las áreas de inventario (litro/año).

DATOS NECESARIOS:

Datos	Fuentes
Combustible para aviones distribuido en el área de inventario	PEMEX, ASA
Factor de Emisión de GOT Ecuación 7.2-1	AP-42, 1995

EJEMPLO DE CALCULO :

Suponer que se utilizan 100,000 m³ de turbosina para cargar en los aviones en la región del inventario en un año dado. Suponer que las propiedades físicas de la turbosina son similares a las del queroseno para jet en los EU. Finalmente, suponer que la temperatura promedio de carga es de 21°C.

1. Determinar el peso molecular del vapor y la presión de vapor verdadera.

Usar la Tabla 7.1-2. Para el queroseno de jet, el valor por omisión para el peso molecular del vapor es de 130 lb/lb-mol.

La temperatura promedio de carga es de 21°C ó 70°F.

Por lo tanto, el valor por omisión para la presión de vapor verdadera es de 0.011 psia.

2. Determinar el factor de emisión usando la ecuación 7.2-1:

$$\begin{aligned}
 FE_a &= 12.46 \times \frac{SP(PM)}{T} \\
 &= 12.46 \times \left| \frac{(1.45) (0.011) (130)}{(70 + 460)} \right| \\
 &= 0.0487 \text{ lb/1000 gal} \\
 &= 0.0058 \text{ kg/1000 litros} \\
 &= 0.0058 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

3. Determinar las emisiones de GOT de estas operaciones de carga de combustible en aviones usando la ecuación 7.2-2:

$$\begin{aligned}
 E_a &= FE_a \times C_a \\
 &= (0.0058 \text{ kg/m}^3) \times (100,000 \text{ m}^3) \\
 &= 580 \text{ kg de GOT} \\
 &= 0.58 \text{ mg de GOT}
 \end{aligned}$$

7.3 Distribución de Gas Licuado de Petróleo

CÓDIGO DE FUENTE DESCRIPCIÓN

25-01-210-210*	Almacenamiento de Gas LP
25-05-000-210*	Transporte de Gas LP

* Códigos específicos propuestos para México para una categoría de fuentes que por lo general no se inventaría en los EU.

DESCRIPCIÓN:

Además de las emisiones de la combustión del gas LP, las emisiones debidas a fugas o a evaporación de los sistemas de almacenamiento y distribución representan una importante fuente de contaminación que debe ser considerada cuando se desarrolla un inventario de emisiones de área. El Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) y algunos investigadores de la Universidad de California han identificado a las fugas de gas LP como una fuente potencialmente significativa de emisiones de hidrocarburos. Si bien una parte del gas LP es usado por los sectores industriales, comerciales y de servicios, en México el gas LP se usa sobre todo a nivel doméstico, tanto para cocinar como para calentar agua. Esta categoría de fuente se refiere a las emisiones generadas en toda la distribución de gas LP.

La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) es el mayor mercado de gas LP en el mundo con un consumo de 70,000 diarios, casi la misma cantidad que de gasolina (DDF et al, 1996). El uso del gas LP para cocinar y calentar agua en México se extiende por todas las regiones y de acuerdo con los datos del INEGI, alrededor del 70% de las casas habitación en México lo usan para cocinar. Solamente Chiapas y Oaxaca tienen una cifra inferior al 50%, predominando el uso de leña y carbón.

En México, la distribución y almacenamiento del gas LP para uso doméstico se hace principalmente por medio de tanques portátiles de 20-40 kg que se venden en camiones distribuidores. Los tanques vacíos se recolectan y se rellenan en centros especializados. Otra forma de distribución del gas LP doméstico es por medio de tanques estacionarios, cuya capacidad es, por lo general, de 300 kg. Estos tanques se llenan a domicilio por camiones especiales equipados con mangueras. En la Ciudad de México, 32 empresas independientes hacen unas 200,000 entregas diarias. Hay instalados cinco millones de tanques de acero en los millones de viviendas urbanas, en donde son conectados con mangueras y tuberías que puede o no recibir un mantenimiento adecuado (Sacramento Bee, 1995a).

En los países altamente industrializados, el gas LP está formado principalmente por propano (cuando menos el 95%). En México se vende una mezcla en la que predomina el propano (60%) pero que también contiene una cantidad apreciable de butano, isobutano, propileno y butilenos (PEMEX, 1996). Dado que, desde el punto de vista fotoquímico, los butanos y las olefinas son más reactivos que el propano la alta reactividad fotoquímica del gas LP mexicano también contribuye a su importancia potencial como una fuente de emisión.

CONTAMINANTES: GOT

GOR: Las emisiones de GOR constituyen el 98.4% de los GOT (PEMEX, 1996).

AJUSTES POR FUENTES PUNTUALES:

Por lo general, las emisiones de esta categoría de fuente no se incluyen en un inventario de fuentes puntuales. Sin embargo, si algunos centros de distribución de gas a granel se inventarían como fuentes puntuales, estas emisiones deben restarse de las emisiones totales a fin de estimar las emisiones de fuentes de área.

METODOLOGÍA:

Es necesario determinar la cantidad de gas LP consumido en la región de inventario. Si las estadísticas de uso de gas LP no corresponden directamente a las necesidades del inventario (e. g., existen estadísticas a nivel estatal pero la región del inventario incluye partes de varios estados; existen estadísticas a nivel estatal pero el inventario requiere estimaciones de emisiones a nivel municipal) entonces los datos censales (e. g., de censos de población o de vivienda) pueden usarse para repartir los datos regionales entre las áreas geográficas mas pequeñas. El ejemplo de cálculo para la combustión doméstica (combustibles comerciales) ilustra este procedimiento.

La forma esperada del cálculo de emisiones es:

$$\text{Emisiones de GOT} = (\text{volumen de gas LP usado}) \times (\text{densidad del gas LP}) \times (\text{FE [expresado como \% de fugas]}) \quad (7.3-1)$$

DATOS NECESARIOS:

Datos	Fuentes
Uso total de gas LP en el área del inventario	PEMEX
Datos de Población o de Vivienda	INEGI
Factor de emisión de fugas de gas LP - 3.6%	PEMEX, 1996
Composición química del gas LP, densidad	PEMEX

NOTAS:

1. El factor de emisión se basa en un estudio llevado a cabo para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) (PEMEX, 1996):

$$\begin{aligned}
 \text{FE} &= \text{emisiones totales de gas LP} / \text{uso total de gas LP} \\
 &= (76,414 \text{ ton/año}) / (2,136,000 \text{ ton(año)}) \\
 &= 3.6\%
 \end{aligned}$$

2. Si los datos específicos sobre la densidad del gas LP no están disponibles se puede usar como valor por omisión el valor del AP-42, de 507 g/litro (incluido en el Apéndice V-B de este documento).
3. La alta reactividad fotoquímica del gas LP usado en México, combinada con su gran consumo, significa que se están tomando en cuenta dos tipos de cambios de proceso: la eliminación de una parte significativa de las fugas en las instalaciones domésticas y comerciales o el enriquecimiento del gas LP con propano. Sin embargo hay algún riesgo asociado con el propano. Debido a que este compuesto tiene una presión de envasado mas alta que la de los otros componentes del gas LP, el gas LP reformulado, enriquecido con propano tendría también una presión de envasado mas alta que la del gas LP que se usa por lo común. Como resultado, sería necesario verificar que los tanques están en buenas condiciones y que pueden soportar la presión de la nueva formulación (DDF, et al, 1996).

EJEMPLO DE CALCULO:

Este ejemplo muestra como calcular las emisiones de las fugas en la distribución de gas LP en la ZMCM y se basa en los datos de uso de combustible obtenidos para desarrollar las emisiones de combustión para el inventario de área de la Ciudad de México (DDF, 1995a). Si es posible, deben obtenerse los datos específicos por región. En lugar de los datos específicos de la región se puede usar la información que se presenta a continuación:

Las emisiones de GOT se calculan usando los siguientes pasos:

1. Determinar la cantidad del gas LP usado en la ZMCM:

En el Oficio GPASI-1511/93, PEMEX reportó que la cantidad total de gas LP consumido en la ZMCM en 1993 fue de $3830.31 \times 10^3 \text{ m}^3$. Con base en las cifras de PEMEX para 1992 se estimó que el 13% del total de gas LP fue usado por la industrial, 7% por los comercios y servicios y 80% para propósitos domésticos.

2. Determinar el factor de emisión de la distribución de gas LP:

A partir del estudio de PEMEX el factor de emisión es de 3.6%.

3. Entonces, las emisiones de GOT se calculan como:

$$\begin{aligned} E_{\text{TOG}} &= (3830.31 \times 10^6 \text{ litros/año}) \times (507 \text{ g/litro}) \times (3.6\%) \\ &= 69,911 \text{ Mg/año.} \end{aligned}$$

8.0 FUENTES INDUSTRIALES LIGERAS Y COMERCIALES

Algunas actividades industriales ligeras o comerciales pueden ser demasiado pequeñas o demasiado numerosas para ser incluidas en el inventario de fuentes puntuales de una región de inventario dada. Por lo tanto, estas fuentes mas pequeñas deben incluirse en el inventario de fuentes de área. La guía para estas fuentes se presenta en las siguientes subsecciones:

- Panaderías;
- Ladrilleras;
- Actividades de Construcción;
- Señales de Tránsito;
- Asados al carbón y
- Vendedores Ambulantes.

8.1 Panaderías

CÓDIGO DE FUENTE: 23-02-050-000

DESCRIPCIÓN:

La fermentación de la levadura en las panaderías produce emisiones de hidrocarburos. Otras emisiones de las panaderías que se deben a la combustión no se cubren en esta sección y se deben calcular como parte de la categoría de uso comercial de combustibles. Las panaderías que producen artículos horneados que no son leudados no generan ningunos gases orgánicos provenientes de la fermentación de levaduras.

Las emisiones de hidrocarburos de las panaderías consisten principalmente del etanol que se produce durante la fermentación de la levadura. El etanol se emite durante los procesos de fermentación y de levantado, así como en el horneado. Las emisiones provienen de un proceso biológico y, como es típico en estos procesos, dependen de un gran número de variables como la duración del tiempo de levantado para la levadura, la cantidad de azúcares fermentables en la masa y la temperatura de fermentación. Para un inventario de fuentes de área, el esfuerzo que se requiere para recopilar datos sobre estos detalles consume demasiado tiempo comparado con la magnitud de las emisiones.

CONTAMINANTES: GOT

GOR: Las emisiones de GOR constituyen el 100% de los GOT.

AJUSTES POR FUENTES PUNTUALES:

Debe identificarse cualquier panadería incluida en el inventario de fuentes puntuales y las emisiones provenientes de la fermentación de levaduras se deben restar de las emisiones calculadas con los métodos que se describen aquí.

METODOLOGÍA:

Las emisiones de esta fuente se calculan usando un factor de emisión per cápita desarrollado para los EU (Adams, 1992). Esta fuente contiene una amplia gama de factores de emisión para los procesos de leudado de masa sin mezcla y de masa esponjosa:

Proceso	Factor de Emisión (kg de GOT/Mg de Pan)	Fuente
Masa sin mezcla	0.5 kg/Mg	Adams, 1992
Masa esponjosa	5 a 8 kg/Mg	Adams, 1992

La mayor parte de las panaderías usan masa esponjosa para el leudado de las levaduras por lo que el factor de emisión fue tomado de esta categoría. Dado que las estimaciones de emisión serán más altas y por lo tanto más conservadoras con la masa esponjosa que con la masa sin mezcla, se escogió el límite inferior del intervalo de factores de emisión. Para determinar el siguiente factor de emisión per cápita se usó una tasa de consumo de pan de 28.02 kg de pan por persona (fuente: U.S. Department of Commerce, International Trade Administration).

$$\frac{5 \text{ kg de GOT}}{\text{Mg de pan}} \times \frac{1 \text{ Mg}}{1,000 \text{ kg}} \times \frac{28.02 \text{ kg de pan}}{\text{persona - año}} = 0.14 \frac{\text{kg de GOT}}{\text{persona - año}}$$

Este factor de emisión basado en datos de los EU tiene aplicación limitada en México y sólo se debe usar si no hay otros datos disponibles.

El cálculo utilizando el factor de emisión per cápita es:

$$\text{Emisiones Anuales} = (\text{Población}) \times (\text{Factor de Emisión}) \quad (8.1-1)$$

DATOS NECESARIOS:

Datos	Fuentes
Método Per Cápita:	
Población	INEGI
Factor de Emisión de GOT	0.14 kg/persona-año Adams, 1992

NOTAS:

- Si los datos nacionales de producción de artículos horneados con levadura están disponibles es posible desarrollar un factor de emisión mexicano para esta categoría de fuentes. Para hacer esto se podría usar una tasa de emisión por kilogramo de pan horneado (5 kg de GOT/Mg pan producido) para estimar las emisiones nacionales de esta categoría de fuente y después se repartirían las emisiones resultantes entre la población nacional total. Sin embargo, es importante recordar que el uso de factores de emisión per cápita no refleja las

variaciones locales y que los datos de producción de pan deberían corresponder al año del inventario o bien a un año semejante. La información sobre la producción podría estar disponible en la Cámara Nacional de la Industria Panificadora. Las emisiones deberían calcularse con los siguientes métodos:

$$\text{Emisiones de GOT} = \frac{5 \text{ kg de GOT}}{\text{Mg de pan producido}} \times \frac{\text{Mg de pan producido}}{\text{año}} \quad (8.1-2)$$

2. Las estimaciones de emisiones calculados usando el método de la producción de pan deberán relacionarse correctamente con el SNIFF para facilitar su ajuste con el inventario de fuentes puntuales.

EJEMPLO DE CÁLCULO:

Por ejemplo, las emisiones de panaderías en un estado con una población de 1,250,000 habitantes son:

$$\begin{aligned} (1,250,000 \text{ personas}) \times (0.14 \text{ kg/persona-año}) &= 175,000 \text{ kg/año} \\ &= 175 \text{ Mg/año} \end{aligned}$$

Si hay panaderías grandes en el área del inventario que hayan sido inventariadas como fuentes puntuales, las emisiones asignadas a esas plantas deben restarse del total calculado anteriormente. Por ejemplo, si las emisiones de fuentes puntuales son:

- 32 Mg por año para la Planta A;
- 11.2 Mg por año para la Planta B y
- 23 Mg por año para la Planta C.

Entonces:

$$\begin{aligned} \text{Emisiones de Fuentes de Area} &= 175 \text{ Mg} - (32 \text{ Mg} + 11.2 \text{ Mg} + 23 \text{ Mg}) \\ &= 108.8 \text{ Mg/año} \end{aligned}$$

8.2 Ladrilleras

CÓDIGO DE FUENTE: 23-05-090-000* Fabricación de Ladrillos

* Código específico propuesto para México para una categoría de fuente que en general no se inventaría en EU.

DESCRIPCIÓN:

En algunas partes del norte de México existen numerosos hornos pequeños de ladrillos. Por ejemplo, se estima que en Ciudad Juárez hay unos 200-300 hornos. Muchas de estas unidades son operaciones domésticas lo que hace impráctica su inclusión en los inventarios de fuentes puntuales. La leña es el combustible predominante en los hornos domésticos de ladrillos. También se ha reportado que algunos utilizan otros materiales derivados de residuos, tales como basura o solventes de desecho. Además, en el área de Ciudad Juárez se están haciendo esfuerzos para convencer a algunos operadores domésticos de que utilicen gas LP.

CONTAMINANTES: GOT, CO, NO_x, SO_x, PM

GOR: Los factores de ajuste para los GOR dependen del tipo de combustible. Ver las Secciones 4.1 y 4.2 para los factores de ajuste de GOR/GOT para la combustión.

AJUSTES POR FUENTES PUNTUALES:

Las ladrilleras industriales mas grandes pueden incluirse en un inventario de fuentes puntuales. Se debe tener cuidado de no hacer un conteo doble de las emisiones en el inventario de fuentes de área.

METODOLOGÍA:

Se debe determinar la cantidad de cada tipo de combustible usado en los hornos pequeños en la región del inventario. Se debe hacer un esfuerzo especial para realizar una encuesta destinada a obtener datos sobre el número de hornos, el número de ladrillos producido por horno, así como sobre los tipos y cantidades de combustibles que consumen.

Los factores de emisión se pueden encontrar en el Capítulo 1 del AP-42 (AP-42, 1995) y se incluyen en el Apéndice V-B de este volumen (Nota: en el AP-42, el término “COT” a menudo se refiere a “GOT”). Las secciones en el Capítulo 1 cubren las emisiones para combustibles comerciales, leña y aceite residual. La Sección 2.5 del AP-42 también incluye los factores de emisión para la quema de residuos agrícolas y de llantas a cielo abierto los que podrían usarse para estimar las emisiones de los hornos de ladrillo. Sin embargo, el uso de factores de emisión de la quema a cielo abierto podría ser muy incierto debido a las condiciones de combustión diferentes.

Para cada tipo de combustible, después se multiplica la cantidad quemada por los hornos pequeños por los factores de emisión adecuados como se muestra a continuación:

$$\text{Emisiones} = \left(\begin{array}{l} \text{Combustible Quemado} \\ \text{por Equipos del Tipo A} \\ \text{en Fuentes de Área} \end{array} \right) \times \left(\begin{array}{l} \text{Factor de Emisión} \\ \text{para Equipos del} \\ \text{Tipo A} \end{array} \right) \tag{8.2-1}$$

DATOS NECESARIOS:

Datos	Fuentes
Combustible usado en la región del inventario por tipo de combustible	Encuesta o juicio de ingeniería (por omisión)
Número de hornos de ladrillo en la región del inventario	Encuesta o juicio de ingeniería (por omisión)
Características del combustible (contenido de calor, contenido de humedad de la madera)	AP-42, 1995, Apéndice A; Manuales Técnicos (e. g., <i>Marks Mechanical Handbook</i> - ver los datos presentados en el ejemplo de calculo)
Factores de emisión por tipo de combustible	AP-42, 1995

NOTAS:

1. Si no están disponibles las cantidades de combustible usado para una región específica se puede suponer que un horno promedio produce 16,000 ladrillos por día y que se requieren aproximadamente 5,000 Btu (1,260 kcal) para hornear un ladrillo de 2.2 kg (4.8 lb) (Valenzuela, 1996). Después se pueden estimar las cantidades usadas de cada combustible como se muestra a continuación:

$$\begin{aligned} \text{Cantidad de} & & & (\text{no. de hornos/día}) \times (16,000 \text{ ladrillos/horno/día}) \times (5,000 \text{ kcal/ladrillo}) \\ \text{Combustible} & = & & \text{-----} \\ \text{Quemado} & & & (\text{contenido de calor del combustible [kcal/unidad de combustible]}) \end{aligned}$$

(8.2-2)

2. Para aquellas regiones en las que la fabricación de ladrillos es una actividad importante es muy recomendable que se haga una encuesta de una muestra representativa de las operaciones típicas. Los resultados de esta muestra se deben aumentar a la escala de toda el área de inventario. Ver el Manual de *Técnicas Básicas de Estimación de Emisiones* para tener una descripción del procedimiento de encuesta.

EJEMPLO DE CALCULO:

Este ejemplo se basa en los cálculos desarrollados para estimar las emisiones de la manufactura de ladrillos en el área de Ciudad Juárez (Valenzuela, 1996).

- (1) Determinar la cantidad de cada combustible quemado en los hornos de ladrillo:

Para este ejemplo se supone que un horno promedio produce 16,000 ladrillos por día y que se requieren aproximadamente 5,000 Btu (1,260 kcal) para hornear un ladrillo de 2.2 kg (4.8 lb) (Valenzuela, 1996). Si se alimentan 10 hornos con pino amarillo la cantidad de combustible se puede estimar como se muestra a continuación:

$$\begin{aligned} \text{Cantidad de pino amarillo quemado} & = \frac{(\# \text{ hornos}) \times (16,000 \text{ ladrillos/horno/día}) \times (1,260 \text{ kcal/ladrillo})}{(\text{contenido de calor del combustible [kcal/unidad del combustible]})} \\ & = \frac{(10 \text{ hornos/día}) \times (16,000 \text{ ladrillos/horno/día}) \times (1,260 \text{ kcal/ladrillo})}{(3720 \text{ kcal/kg})} \\ & = 54,194 \text{ kg/día de pino amarillo.} \end{aligned}$$

Donde el contenido de calor del pino amarillo se calculó como se muestra a continuación (usando datos del Marks Mechanical Handbook):

El pino amarillo (seco) con 12% de humedad pesa 3,240 lb/cuerda
 El pino amarillo (verde) con 50% de humedad pesa 4,770 lb/cuerda
 Pino amarillo (seco) con 12% humedad - 26×10^6 Btu/cuerda
 Pino amarillo (verde) con 50% humedad - 23.7×10^6 Btu/cuerda
 (Nota: 1 cuerda de leña = 3.62 m^3):

Suponer que el contenido promedio de humedad en la madera es de 25%. Entonces, por interpolación:

El pino con 25% de humedad pesa 3,764 lbs/cuerda
 Pino con 25% de humedad - 25.2×10^6 Btu/cuerda

$$\text{ó } (25.2 \times 10^6 \text{ Btu/cuerda}) / (3764 \text{ lb/cuerda}) = 6,695 \text{ Btu/lb de pino}$$

(2) Identificar los factores de emisión apropiados:

Usar los factores de emisión del AP-42, Sección 1.9-4 desarrollados para chimeneas domésticas (i. e., quemado de leña):

PM ₁₀	17.3 g/kg
CO	126.3 g/kg
SO _x	0.2 g/kg
NO _x	1.3 g/kg
GOT	114.5 g/kg

$$E_{\text{PM}_{10}} = (54,194 \text{ kg/día de pino}) \times (17.3 \text{ g/kg}) / (1,000 \text{ g/kg}) \\ = 938 \text{ kg de PM}_{10}/\text{día}$$

$$E_{\text{CO}} = (54,194 \text{ kg/día de pino}) \times (126.3 \text{ g/kg}) / (1,000 \text{ g/kg}) \\ = 6,845 \text{ kg de CO/día}$$

$$E_{\text{SO}_2} = (54,194 \text{ kg/día de pino}) \times (0.2 \text{ g/kg}) / (1,000 \text{ g/kg}) \\ = 11 \text{ kg de SO}_x/\text{día}$$

$$E_{\text{NO}_x} = (54,194 \text{ kg/día de pino}) \times (1.3 \text{ g/kg}) / (1,000 \text{ g/kg}) \\ = 70 \text{ kg de NO}_x/\text{día}$$

$$E_{\text{GOT}} = (54,194 \text{ kg/día de pino}) \times (114.5 \text{ g/kg}) / (1,000 \text{ g/kg}) \\ = 6,205 \text{ kg de COVs/día}$$

8.3 Actividades de Construcción

CÓDIGO DE FUENTE: 23-11-000-000

DESCRIPCIÓN:

La construcción de edificios, caminos y otras actividades relacionadas son una fuente potencialmente importante de emisiones de partículas fugitivas. Estas emisiones pueden generarse por una gran variedad de actividades incluyendo el desmonte, el barrenado y dinamitado, la excavación y el movimiento de tierra y la construcción del edificio en sí. Las emisiones debidas a las actividades de construcción varían en cada sitio debido a los diferentes niveles de actividad, de operaciones y a las condiciones meteorológicas.

Esta sección se enfoca solamente en las emisiones fugitivas de partículas generadas por las actividades de construcción. Las emisiones de los escapes y las emisiones evaporativas del equipo de construcción y de los vehículos se tratan en la Sección 5.4 de este manual.

CONTAMINANTES: PM₁₀

GOR: No es aplicable.

AJUSTES POR FUENTES PUNTUALES: Ninguno

METODOLOGIA:

Debido a las diferencias potencialmente significativas en las prácticas de construcción mexicanas es recomendable que se recopilen datos específicos para México por medio de encuestas. Después se pueden usar estos datos en el desarrollo de un modelo de variable múltiple para las actividades de construcción en México. Hasta que estos datos se recopilen se recomienda usar los factores de emisión de los EU para estimar las emisiones de las actividades de construcción.

Hasta que se pueda hacer un modelo de emisiones de variable múltiple usando datos específicos para México se puede usar la siguiente ecuación para estimar las emisiones de polvo fugitivo de las actividades globales de construcción de la región.

$$\text{Emisiones} = \text{Área} \times \text{Tiempo} \times \text{FE} \quad (8.3-1)$$

donde:

Emisiones	= Emisiones totales anuales de polvo fugitivo (PM ₁₀);
Área	= Área total del sitio específico de construcción;
Tiempo	= Duración total de las actividades de construcción y
FE	= Factor de emisión de polvo fugitivo (PM ₁₀).

La Tabla 8.3-1 presenta los factores globales de emisión de PM₁₀ sin control para siete sitios de construcción localizados en California y Nevada, así como la media geométrica resultante. También se incluye la descripción del tipo y nivel de la actividad de construcción en cada uno de los siete sitios.

Se recomienda usar el factor de emisión de la media geométrica (0.25 Mg PM₁₀/hectárea-mes). Sin embargo, se pueden usar otros factores de emisión de la tabla si la actividad específica de construcción es similar a las que están incluidas en la tabla. Debido a que estos factores de emisión representan actividades de construcción en EU debe tenerse cuidado cuando sean aplicados en México. Las diferencias en las prácticas de construcción y en los niveles de mecanización en México podrían introducir una incertidumbre considerable en las estimaciones de emisiones.

La metodología de estimación de emisiones presentada anteriormente es muy aplicable para las emisiones regionales de la construcción. Si se necesita estimar las emisiones para sitios individuales el AP-42, Tabla 13.2.3-1 (resumido en el MRI, 1996 [pág. 2-3 a 2-5, Tabla 1]) se presenta una metodología alternativa. Esta metodología proporciona diferentes factores de emisión para diversas operaciones de construcción (i. e., nivelación, compactación, desmonte, etc.). Con estos factores de emisión se obtendrá una estimación de emisiones más exacta que con los que se presentan en la Tabla 8.4-1 pero se deben recopilar datos mas detallados que sean específicos para el sitio.

DATOS NECESARIOS:

Datos	Fuentes
Área de Construcción	Autoridades locales o la Cámara Nacional de la Industria de la Construcción
Duración de la Construcción	Autoridades locales o la Cámara Nacional de la Industria de la Construcción
Factor de Emisión	Tabla 8.3-1
Datos Específicos del Sitio (ver AP-42, Tabla 13.2.3-1)	Personal en el sitio de construcción

EJEMPLO DE CÁLCULO:

En 1995 los funcionarios locales indicaron que había 120 hectáreas de actividad de construcción. Estos funcionarios estimaron que la áreas estarían en construcción durante un periodo promedio de 2.5 meses. A continuación se calculan las emisiones anuales totales de PM₁₀ estimadas para 1995:

1. Si se supone que hay una gran variedad de tipos de construcción parece que el factor de emisión de la media geométrica de 0.25 Mg/hectárea-mes es el más apropiado.
2. Emisiones totales de PM₁₀ :

$$120 \text{ hectáreas} \times 2.5 \text{ meses} \times 0.25 \text{ Mg de PM}_{10}/ \text{ hectárea-mes} \\ = 75 \text{ Mg PM}_{10}$$

Tabla 8.3-1**Resumen de las Tasas de Emisiones de PM₁₀ sin Control Estimadas para Sitios de Construcción^a**

Sitio	Factor Global de Emisión de PM₁₀ sin Control (Mg/hectárea/mes)	Tipo de Construcción y Nivel de Actividad
A	0.072	Industrial - Actividad Moderada (atrincherado, prepavimentación, movimiento de tierra a pequeña escala)
B	0.72	Residencial - Actividad Moderada a Pesada (atrincherado, movimiento de tierra, barrenado y dinamitado, compactación)
C	0.18	Residencial - Actividad Moderada a Pesada (atrincherado, prepavimentación, acarreo del material de base para caminos)
D	0.0087	Residencial - Actividad Baja a Moderada (planeación y modificación del terreno)
E	0.90	Residencial - Actividad Pesada (movimiento de tierra, arrastre, apilado)
F	0.96	Residencial - Actividad Pesada (movimiento de tierra)
G	0.76	Comercial - Actividad Moderada a Pesada (atrincherado, acarreo de material de relleno)
Media Geométrica	0.25	

^a Tabla derivada del MRI, 1996 (pág. 3-2, Tabla 2; pág. 4-2, Tabla 3).

8.4 Asados al Carbón

CÓDIGO DE FUENTE: 23-02-002-000

DESCRIPCIÓN:

Carnes asadas se refiere al cocinado de carne (por lo general de res o de pollo) sobre una flama abierta en el que se permite que la grasa escurra hacia adentro de la flama abierta. Esta categoría se limita a la actividad comercial ya que se piensa que la de las carnes asadas caseras es muy limitada. En México la actividad comercial se limita a restaurantes en pequeña escala y a vendedores callejeros. Los primeros se presentan en esta sección y los segundos en la Sección 8.5. Con base en observaciones realizadas en Nogales, Sonora por lo general la carne de res se asa con gas LP y el pollo con carbón.

Los principales contaminantes de interés provenientes del asado de carne son las PM₁₀. Virtualmente todas estas PM₁₀ son de tamaño submicrónico. Además, una cantidad significativa de éstas consisten de carbono orgánico.

Las emisiones de las carnes asadas dependen de un gran número de variables, tales como el tipo de combustible usado, el tipo de carne asado, el contenido de grasa de la carne y la temperatura de la flama. Sin embargo, hasta hace poco, los efectos de estas variables no estaban muy bien cuantificados. Los datos existentes sobre las emisiones limitaban sobre todo a las hamburguesas asadas sobre una flama de gas natural, lo que constituye una fracción significativa de este tipo de cocina en los EU. Investigadores del Colegio del Centro de Ingeniería para la Investigación y Tecnología Ambiental CE-CERT (*College of Engineering Center for Environmental Research and Technology*) de la Universidad de California en Riverside terminaron recientemente un estudio para el Distrito de Gestión de la Calidad del Aire de la Costa Sur (*South Coast Air Quality Management District, SCAQMD*) en el que se examinan los efectos del tipo de carne sobre el tipo de emisiones. Los resultados preliminares de estas investigaciones se presentan en la Tabla 8.4-1.

CONTAMINANTES: GOT y PM₁₀

GOR: Las emisiones de GOR constituyen aproximadamente el 100% de los GOT (Welch, 1997).

AJUSTES POR FUENTES PUNTUALES:

Con la excepción de alguna planta industrial de cocinado de carne las emisiones de esta categoría de fuentes no se incluirían en un inventario de fuentes puntuales. Por lo tanto, en general, los ajustes por fuentes puntuales no deberían ser necesarios.

METODOLOGÍA:

Se considera que los factores de emisión basados en la cantidad de carne asada son muy confiables por lo que necesario estimar ésta.

La ecuación usada para estimar las emisiones de la carne asada es:

$$\text{Emisiones}_{ca} = N_{ca} \times CP_{ca} \times FE_{ca}$$

donde:

Emisiones _{ca}	=	Emisiones para el tipo de carne ca;
N _{ca}	=	Número de operaciones de asado para el tipo de carne ca;
CP _{ca}	=	Cantidad promedio de carne asada para el tipo de carne ca en cada operación y
FE _{ca}	=	Factor de emisión para el tipo de carne ca.

El primer paso al estimar las emisiones de la carne asada consiste en determinar el número de asadores. Los funcionarios locales de sanidad pueden aportar alguna información sobre el número de restaurantes con asadores. Debido a que estos restaurantes se concentran por lo general en los distritos comerciales y de compras se pueden hacer conteos gruesos por medio de encuestas informales.

La cantidad de carne asada y alguna otra información relacionada (uso de combustible, prácticas de cocinado, características de la carne, etc.) se deben estimar por medio de encuestas locales. Las diferencias culturales y socioeconómicas entre las diferentes regiones hacen que la utilización de datos que hayan sido obtenidos en otra región sea sumamente incierta.

La Tabla 8.4-1 presenta factores de emisión para la carne asada que se calcularon recientemente. Estos pueden que no representen exactamente las operaciones reales pero los factores de emisión todavía son algo limitados. En el futuro se espera refinar los factores de emisión existentes así como desarrollar nuevos factores.

Tabla 8.4-1**Factores de Emisión para la Carne Asada^a**

Tipo de Carne	PM ₁₀ ^b (g/kg carne)	GOT ^c (g/kg carne)	Comentarios
Res	32.7	3.9	Hamburguesas con 25% de grasa
Pollo	10.4	1.8	Pollos enteros abiertos
Pescado	3.2	0.4	Filetes de salmón del Atlántico

^a Todos los factores de emisión se basan en muestreos en la fuente de parrillas con calentamiento inferior que usan gas natural (SCAQMD, 1997).

^b Virtualmente todo las PM₁₀ tiene un diámetro aerodinámico <2.5 µm o menor (Welch, 1997).

^c Los factores de emisión originales fueron para GOR. Sin embargo, el metano medido estaba cerca de los límites de detección por lo que los GOT son casi equivalentes a los GOR (Welch, 1997)

DATOS NECESARIOS:

Datos	Fuentes
Número de asadores	Funcionarios locales de sanidad o datos de encuestas
Cantidad promedio de carne asada	Datos de encuestas locales
Tipo y cantidad de combustible	Datos de encuestas locales
Factores de Emisión	Tabla 8.4-1 de esta Sección; ver también Nota 1

EJEMPLO DE CALCULO:

Un área metropolitana tiene 80 restaurantes cada uno de los cuales asa un promedio de 60 kg de carne de res al día. Se supone que hay operaciones de asado todos los días del año. Calcular las emisiones anuales de PM₁₀.

$$\begin{aligned}
 & 80 \text{ restaurantes} \times 60 \text{ kg de carne/día} \times 365 \text{ días/año} \times 32.7 \text{ g PM}_{10}/\text{kg de carne} \\
 & = 57,290 \text{ kg de PM}_{10} \\
 & = 57.3 \text{ Mg de PM}_{10}/\text{año}
 \end{aligned}$$

NOTAS:

1. Las emisiones del asado de carne dependen sobre todo de la temperatura de la
Programa de Inventarios de Emisiones de México

flama en la interfaz flama-carne. A mayores temperaturas de flama se tienen emisiones mas altas. Aunque en la investigación del CE-CERT no se examinaron los efectos de diferentes combustibles algunas investigaciones previas sobre carnes asadas caseras indican que los combustibles con temperaturas de flama más altas (i. e., gas natural o propano) generan emisiones más altas que los combustibles con temperaturas de flama mas bajas (i. e., carbón) (Welch, 1997).

8.5 Vendedores Callejeros 7.5 Street Vendors

CÓDIGO DE FUENTE: 23-02-002-005*

*Código específico propuesto para México para una categoría de fuente que por lo general no se inventaría en los EU.

DESCRIPCIÓN:

Los vendedores ambulantes venden una gran variedad de productos comestibles en los distritos comerciales y de compras. En general estos vendedores expenden sus alimentos en carritos portátiles que se desplazan de un lado a otro. Muchas de las operaciones de estos vendedores no producen emisiones. Sin embargo, algunos de estos vendedores asan carne lo que puede ser una fuente significativa de GOT y PM₁₀ y parece que el gas LP es su combustible preferido. Para ver comentarios más detallados sobre el asado de carne referirse a la Sección 8.4.

CONTAMINANTES: GOT y PM₁₀

GOR: Las emisiones de GOR constituyen aproximadamente el 100% de los GOT (Welch, 1997).

AJUSTES POR FUENTES PUNTUALES: Ninguno

METODOLOGÍA:

La metodología empleada para estimar las emisiones de los vendedores callejeros es idéntica a la de los restaurantes en general. Para mayores detalles ver la Sección 8.4.

DATOS NECESARIOS:

Datos	Fuentes
Número de asadores de vendedores callejeros	Funcionarios locales de sanidad o datos de encuestas
Cantidad promedio de carne asada	Datos de encuestas locales
Tipo y cantidad de combustible	Datos de encuestas locales
Factores de Emisión	Tabla 8.4-1 de la Sección 8.4; ver también la Nota 1 de la Sección 8.4

EJEMPLO DE CÁLCULO:

Un área metropolitana tiene 140 vendedores callejeros y cada uno asa un promedio de 25 kg de carne de res al día. Se supone que las operaciones de asado se hacen todos los días del año. Usando el factor de emisión de PM₁₀ para la carne de res presentado en la Tabla 8.4-1 calcular las emisiones anuales de PM₁₀.

$$\begin{aligned} & 140 \text{ vendedores ambulantes} \times 25 \text{ kg de carne/día} \times 365 \text{ días/año} \times 32.7 \text{ g PM}_{10}/\text{kg de carne} \\ & = 41,774 \text{ kg de PM}_{10} \\ & = 41.8 \text{ Mg de PM}_{10}/\text{año} \end{aligned}$$

9.0 AGRICULTURA

La mayor parte de las fuentes de emisión agrícolas pueden ser demasiado pequeñas o demasiado numerosas como para ser incluidas en el inventario de fuentes puntuales de una región dada. Por lo tanto, estas fuentes necesitan incluirse en el inventario de fuentes de área. La guía para el inventario de estas fuentes se presenta en las siguientes subsecciones.

- Aplicación de Plaguicidas;
- Corrales de Engorda de Ganado;
- Quemadas Agrícolas;
- Aplicación de Fertilizantes;
- Desechos de Animales y
- Labranza Agrícola.

9.1 Aplicación de Plaguicidas

CODIGO DE FUENTES: 24-61-850-000

DESCRIPCION:

Los plaguicidas se usan para matar insectos, malezas u otras plagas o para retardar su crecimiento. La mayor parte de las emisiones al aire provenientes del uso de plaguicidas ocurren sobre todo debido a la naturaleza volátil de los ingredientes activos, los solventes acarreadores y otros productos químicos en las formulaciones. La volatilización de los plaguicidas puede ocurrir tanto durante la aplicación como algún tiempo después. Algunas formulaciones secas son polvos o gránulos y pueden resultar en emisiones de partículas. Sin embargo, no se han desarrollado factores de emisión de partículas debido a la insuficiencia de datos. La siguiente presentación se limita a las emisiones debidas a la volatilización de los plaguicidas con base hidrocarburos.

Por lo general, los plaguicidas volátiles se aplican como formulaciones líquidas tales como soluciones, emulsiones o aerosoles. En general, estos compuestos consisten de un ingrediente "activo" y de varios ingredientes "inertes". Los términos "activo" e "inerte" no se refieren a la actividad fotoquímica sino mas bien son una medida de la toxicidad del compuesto. Las fracciones activa e inerte pueden variar dependiendo del tipo específico de aplicación del plaguicida.

La volatilidad de los ingredientes activos también puede ser muy variable. Se supone a menudo que la volatilización ocurre durante los 30 días siguientes a la aplicación. Después de aproximadamente 30 días, la degradación y los escurrimientos superficiales se convierten en los principales mecanismos de remoción de plaguicidas. Investigaciones de laboratorio y de campo indican que aparentemente la volatilidad de los ingredientes activos depende de tres parámetros principales: las propiedades físicas y químicas del ingrediente activo, las condiciones meteorológicas locales y la adsorción del suelo. Una discusión adicional sobre los efectos de estos tres parámetros se puede encontrar en la Sección 9.2.2.3 del AP-42 (AP-42, 1995).

La mayor parte de los plaguicidas no se aplican a la concentración completa (i. e., la forma pura del ingrediente activo) sino más bien en una mezcla con un "acarreador" inerte. A veces se usa agua como acarreador en las formulaciones de plaguicidas líquidos. Sin embargo, muchos de los acarreadores usados son gases y líquidos orgánicos volátiles. Se supone que el 100% de los acarreadores inertes volátiles se volatilizan durante los 30 días siguientes a la aplicación. Además de los plaguicidas orgánicos sintéticos descritos anteriormente a veces se usan destilados de petróleo para el control de malezas, hongos e insectos. En estos casos, se supone

que el 100% de los destilados se volatiliza.

CONTAMINANTES: GOT

GOR: Las emisiones de GOR constituyen el 100% de los GOT.

AJUSTES POR FUENTES PUNTUALES: Ninguno

METODOLOGIA:

Para plaguicidas orgánicos sintéticos:

$$\text{Emisiones}_i = (\text{Uso}_i \times \% \text{ activo}_i \times \text{FE}_i) + (\text{Uso}_i \times \% \text{ inerte}_i \times \% V_i) \quad (9.1-2)$$

donde: Emisiones_i = Emisiones totales anuales de GOT del plaguicida i,
 Uso_i = Uso anual total del plaguicida i;
 $\% \text{ activo}_i$ = Porcentaje de ingredientes activos en el plaguicida i;
 FE_i = Factor de emisión de ingredientes activos en el plaguicida i;
 $\% \text{ inerte}_i$ = Porcentaje de ingredientes inertes en el plaguicida i (100% - $\% \text{ activo}_i$)
 y
 $\% V_i$ = Contenido volátil de la fracción inerte del plaguicida i.

El factor de emisión usado en la ecuación anterior depende de la presión de vapor de los ingredientes activos específicos y del método de aplicación del plaguicida. Los factores de emisión para la aplicación superficial y para la incorporación en el suelo se presentan en la Tabla 9.1-1. No hay factores de emisión disponibles para la aplicación aérea de plaguicidas. Algunas investigaciones en curso indican que la volatilización es pequeña comparada con los efectos del arrastre en las aplicaciones aéreas.

Para destilados de petróleo:

$$\text{Emisiones}_i = \text{Uso}_i \quad (9.1-2)$$

Tabla 9.1-1**Factores de Emisiones sin Control para los Ingredientes Activos de Plaguicidas^a**

Tipo de Aplicación	Intervalo de Presión de Vapor (mm de Hg a 20 - 25 °C)^b	Factor de Emisión (kg/Mg)^c
Aplicación Superficial	1×10^{-4} a 1×10^{-6}	350
	$>1 \times 10^{-4}$	580
Incorporación al Suelo	$<1 \times 10^{-6}$	2.7
	1×10^{-4} a 1×10^{-6}	21
	$>1 \times 10^{-4}$	52

^a Tabla modificada del AP-42, Tabla 9.2.2-4.

^b Las presiones de vapor de algunos ingredientes activos específicos se pueden encontrar en el AP-42, Tabla 9.2.2-1. Para otros ingredientes activos, se deben consultar las referencias sobre plaguicidas.

^c Los factores de emisión expresan como el peso equivalente de ingredientes activos volatilizados por unidad de peso de los ingredientes activos aplicados.

El método anterior proporciona una estimación exacta de las emisiones de la aplicación de plaguicidas. Sin embargo, si los datos enlistados en la tabla siguiente no están disponibles se puede usar un método conservador, si bien menos preciso. Éste consiste en suponer que el 100% del plaguicida aplicado se volatiliza. Esto dará como resultado una sobreestimación de las emisiones pero es un método alternativo razonable si no hay datos detallados disponibles.

DATOS NECESARIOS:

Datos	Fuentes
Uso anual de plaguicidas (por formulación específica)	Oficina Local de la (SAGAR)/CICOPLAFEST
Método de aplicación	Oficina Local de la SAGAR/CICOPLAFEST
Tipos de ingredientes activos en la formulación	Envase del plaguicida, fabricante, formulador del uso final o distribuidor local. Los ingredientes activos para los nombres comerciales comunes de los plaguicidas se presentan en el AP-42, Tabla 9.2.2-2. También, en <i>Farm Chemicals Handbook - 1992</i> . (Meister, 1992)
Presiones de vapor de los ingredientes activos	Algunas presiones de vapor se proporcionan en el AP-42, Tabla 9.2.2-1. Se presentan presiones de vapor adicionales en <i>Wauchope et al.</i> , 1992.
Tipo de formulación (e. g., emulsión, solución, gránulos, etc.)	Envase del plaguicida, fabricante, formulador del uso final o distribuidor local.
Porcentaje de ingredientes activos e inertes	Envase del plaguicida, fabricante, formulador del uso final o distribuidor local.
Contenido de compuestos volátiles en los ingredientes inertes	Fabricante del plaguicida o formulador del uso final. También se dan estimaciones del contenido promedio de compuestos volátiles en el AP-42, Tabla 9.2.2-3.

EJEMPLO DE CÁLCULO:

Se han aplicado 5,000 kg de Lazo® en la superficie de unos terrenos de cultivo para el control de malezas y se desea una estimación de la cantidad total de emisiones dentro de los 30 días siguientes a la aplicación.

1. El ingrediente activo en el Lazo® es el alacloro (AP-42 [Tabla 9.2.2-2] ó *Farm Chemicals Handbook - 1992*). En el contenedor del plaguicida se estipula que la formulación es una emulsión que contiene 41% de ingrediente activo y 59% de ingrediente inerte.

2. Cantidad total de ingrediente activo aplicado:

$$0.41 \times 5,000 \text{ kg} = 2,050 \text{ kg de alacloro aplicado}$$

3. Del AP-42, Tabla 9.2.2-1, se determina que la presión de vapor del alacloro es 1.4×10^{-5} mm de Hg entre los 20 y los 25 °C. A partir del AP-42, Tabla 9.2.2-4, esto corresponde a un factor de emisión de 350 kg de ingrediente activo volatilizado por Mg de ingrediente activo aplicado. Por lo tanto, la cantidad total de ingrediente activo volatilizado está dada por:

$$2.05 \text{ Mg} \times (350 \text{ kg/Mg}) = 718 \text{ kg de alacloro volatilizado dentro de los 30 días siguientes a la aplicación}$$

4. En el AP-42, Tabla 9.2.2-3, se puede determinar que el contenido promedio de compuestos volátiles en la porción inerte de las emulsiones (concentrados emulsionables) es de 56%.

Cantidad total de emisiones de los ingredientes inertes:

$$5,000 \text{ kg} \times 0.59 \times 0.56 = 1,652 \text{ kg de ingredientes inertes volátiles (se supone que el 100% de los ingredientes inertes volátiles se volatiliza durante los 30 días siguientes a la aplicación)}$$

5. La cantidad total de emisiones durante los 30 días siguientes a la aplicación es la suma de las emisiones de los ingredientes activos y de los ingredientes inertes. En este ejemplo, las emisiones son:

$$718 \text{ kg (ingredientes activos)} + 1,652 \text{ kg (ingredientes inertes volátiles)} \\ = 2,370 \text{ kg}$$

9.2 Corrales de Engorda de Ganad Vacuno

CÓDIGO DE FUENTES: 28-05-001-000

DESCRIPCIÓN:

Los corrales de engorda de ganado son áreas utilizadas para engordar o retener el ganado antes de comercializarlo o transferirlo a otro lugar. Por lo general el proceso de engorda consiste en alimentar al ganado con una ración de granos de alta energía por un periodo de cuatro a cinco meses. Los corrales pueden ser una fuente importante de partículas fugitivas. El principal mecanismo de generación es el movimiento del ganado sobre el polvo del suelo y el estiércol seco. El tránsito vehicular y la acción del viento en la vecindad del corral también pueden contribuir a las emisiones de partículas. No se espera que ocurran emisiones similares cuando el ganado pasta en el exterior porque habrá una acumulación mínima de estiércol concentrado y de área superficial perturbada.

Las emisiones de amoníaco también son generadas por el ganado a causa de la descomposición anaeróbica del estiércol sobre las superficies del patio así como por la volatilización desde la orina. Las emisiones de amoníaco producidas por el ganado se tratarán en la sección sobre desechos de animales (Sección 9.5).

CONTAMINANTES: PM₁₀

GOR: No es Aplicable.

AJUSTES POR FUENTES PUNTUALES: Ninguno.

METODOLOGÍA:

Las emisiones de los corrales de engorda pueden estimarse usando la siguiente ecuación basada en la producción del corral:

$$\text{Emisiones} = \text{Producción} \times \text{FE}_{\text{Producción}}$$

(9.2-1)

donde: Emisiones = Emisiones anuales totales de PM₁₀
Producción_{Ganado} = Producción anual de ganado

FE_{Producción} = Factor de emisión de PM₁₀ basado en la producción anual.

De manera alternativa las emisiones de los corrales de engorda se pueden estimar usando la siguiente ecuación basada en la capacidad del corral:

$$\text{Emisiones} = \text{Ganado} \times \text{Días} \times \text{FE}_{\text{Capacidad}}$$

(9.2-1)

donde: Emisiones = Emisiones anuales totales de PM_{10} ;
 Ganado = Número de cabezas promedio presentes en el corral;
 Días = Número de días al año que el ganado permanece en el corral;
 $\text{FE}_{\text{Capacidad}}$ = Factor de emisión de PM_{10} basado en la capacidad promedio.

DATOS NECESARIOS:

Datos	Fuentes
Factor de emisión ^a de PM_{10} , 12.0 Mg/producción de 1,000 cabezas (12.0 ton/ producción de 1,000 cabezas)	AP-42, 1985
Factor de emisión ^a de PM_{10} , 62.4 kg/día - capacidad de 1,000 cabezas (134.4 lb/día- capacidad de 1,000 cabezas)	AP-42, 1985
Producción anual de ganado	SAGAR, INEGI o corrales de engorda locales
Número promedio de cabezas de ganado en el corral	SAGAR, INEGI o corrales de engorda locales
Número de días que el ganado permanece en el corral	SAGAR, INEGI o corrales de engorda locales

^a En realidad, los factores de emisión del AP-42 están dados para Partículas. Documentos del Air Resource Board (ARB) indican que el 48% de las Partículas de los corrales de engorda de ganado vacuno son PM_{10} (ARB, 1995).

NOTAS:

1. Todos los factores de emisión suponen que no se ha instrumentado ninguna medida interna de control de la contaminación del aire. En la mayor parte de los corrales de engorda se usan medidas normales de mantenimiento para evitar cantidades inaceptables de estiércol.
2. Los factores de emisión vigentesson muy inciertos. La EPA está haciedo investigación sobre esta categoría de fuente. En un futuro se debe contar con factores de emisión mejorados pero hasta marzo de 1997 no había ninguno disponible. Cuando los haya, estos factores de emisión mejorados se presentarán en la Sección 9.4.1 del AP-42.

EJEMPLO DE CÁLCULO:

En un corral de engorda de ganado se indica que hay una producción anual de 23,200 cabezas de ganado.

1. Cantidad total de emisiones de PM_{10} para este corral de engorda:

$$23,200 \text{ cabezas} \times (12.0 \text{ Mg/producción de } 1,000 \text{ cabezas}) = 278 \text{ Mg de } PM_{10}$$

9.3 Quemas Agrícolas

CÓDIGO DE FUENTES: 28-01-500-000

DESCRIPCIÓN:

La quemas agrícolas se refieren a la quema de cultivos, madera y hojas asociadas con las actividades agrícolas. En México esta práctica se limita sobre todo a la quema de los restos de la cosecha para preparar los campos para nuevos cultivos. La quema agrícola se permite en México siempre y cuando primero se notifique a la SEMARNAP o a la SAGAR. Todas las quemas agrícolas deben cumplir con la NOM-EM-003-SEMARNAP/ SAGAR-1996.

Las emisiones de quemas agrícolas dependen de varios factores diferentes. Entre los factores principales está el tipo de cultivo, la carga de combustible (cantidad de material orgánico por unidad de área de terreno) y tipo de quemado (directo o a contracandela). Los fuegos directos se inician en el lado del campo contrario al viento y se deja que avancen en la dirección del viento. Los incendios a contracandela se inician en el lado del campo a favor del viento y se les obliga a avanzar en la dirección contraria. Entre otros factores que pueden afectar a las emisiones están el contenido de humedad y el arreglo del material orgánico que se va a quemar. Hay información adicional sobre estos factores en la Sección 2.5.2.3 del AP-42 (AP-42, 1995).

CONTAMINANTES: GOT, CO y partículas

GOR: Las emisiones de GOR constituyen el 72.2% de los GOT.

AJUSTES POR FUENTES PUNTUALES: Ninguno.

METODOLOGÍA:

$$\text{Emisiones}_c = \text{Área}_c \times \text{Carga de combustible}_c \times \text{FE}_c$$

(9.3-1)

donde:

Emisiones _c	= Emisiones totales del tipo de cultivo c;
Área _c	= Área total quemada del tipo de cultivo c;
Carga de combustible _c	= Carga de combustible promedio para el tipo de cultivo c y
FE _c	= Factor de emisión para el tipo de cultivo c.

La SAGAR mantiene estadísticas de las áreas cultivadas para diversas cosechas. Esta información se puede obtener en sus oficinas en los Estados. El INEGI también recopila y publica parte de esta información agrícola. Sin embargo la SAGAR no cuenta por el momento con ninguna información sobre el número de quemas que se realizan ni cual es el método empleado. A medida que se aplique la NON-EM-003-SEMARNAP/SAGAR-1996 se espera que este tipo de información esté disponible en la SAGAR Mientras tanto, será necesario recopilarla a nivel local.

El factor de emisión usado en la ecuación anterior depende sobre todo del tipo de cultivo y del tipo de quema. Los factores de emisión para quemas agrícolas se pueden encontrar en la Tabla 2.5-5 del AP-42. Se dan los siguientes tipos de quema: de cultivos no especificados y de cultivos especificados (quemas directas, a contracandela y quemas independientes del tipo de encendido) , de enredadera, de malezas, de huertos y residuos forestales. A su vez, estos grupos se dividen en tipos específicos de cultivo (e. g., los huertos incluyen aguacates, cítricos, higos, aceitunas, etc.). La Tabla 2.5-5 del AP-42 incluye diferentes factores de carga de combustible para cada tipo de cultivo.

Debe señalarse que los factores de emisión para quemas agrícolas y los factores de carga de combustible presentados en el AP-42 fueron desarrollados en los EU. Las prácticas agrícolas mexicanas que son muy diferentes así como otros factores podrían dar como resultado factores de emisión y factores de carga de combustible diferentes. Un ejemplo de diferentes factores de carga de combustible en los EU pueden encontrarse en el pie de página "i" de la Tabla 2.5-5 del AP-42. El factor de carga de combustible de la caña de azúcar para Louisiana está dado como 8-13.6 Mg/hectárea, mientras que para Hawaii está dado como 30-48 Mg/hectárea. Estos factores de carga de combustible son sumamente distintos debido a las diferencias en clima y/o en las prácticas agrícolas. En vez de depender de los factores de carga de combustible presentados en el AP-42 siempre que sea posible se deben desarrollar factores de carga de combustible específicos para México. Esto requerirá estudios de campo para determinar la cantidad (i. e., el peso) de los residuos de cultivos que están presentes por área de terreno.

DATOS NECESARIOS:

Datos	Fuentes
Area agrícola quemada (por tipo de cultivo)	Recopilación de datos locales
Factor de carga de combustible	Recopilación de datos locales; valores de los EU presentados en el AP-42, Tabla 2.5-5
Factor de emisión	AP-42, Tabla 2.5-5

NOTAS:

1. Los factores de emisión de partículas están dados como partículas totales. Algunas investigaciones indican que las partículas de la mayor parte de quemas agrícolas están en el intervalo de los submicrómetros. Por lo tanto, se puede suponer que las partículas totales son equivalentes a las PM_{10} .
2. Los factores de emisión GOT se presentan separados como factores de GOT no metano y factores de GOT metano. El factor de emisión de GOT global se puede calcular sumando los factores de emisión no metano y metano.

EJEMPLO DE CÁLCULO:

Los funcionarios locales indican que aproximadamente el 75% de las 120 hectáreas de cultivos de melón se queman después de la cosecha. Calcular la cantidad de emisiones de CO de esta quema agrícola.

1. Área total quemada:
 $120 \text{ hectáreas} \times 0.75 = 90 \text{ hectáreas de campos quemados.}$
2. De la Tabla 2.5-5 del AP-42 el factor de carga de combustible para melones (cultivo de enredadera) es 5.6 Mg/hectárea. Sin embargo, esta región agrícola practica un cultivo más concentrado. En consecuencia se usará un factor hipotético de carga de combustible específico para la región de 7.8 Mg/hectárea.
3. El factor de emisión de CO para los cultivos de enredadera de la Tabla 2.5-5 del AP-42 es 26 kg/Mg de residuos agrícolas.
4. Emisiones de CO totales:
 $90 \text{ hectáreas} \times (7.8 \text{ Mg de residuos/hectárea}) \times (26 \text{ kg/Mg de residuos})$
 $= 18,252 \text{ kg de CO}$
 $= 18.3 \text{ Mg de CO}$

9.4 Aplicación de Fertilizantes

CÓDIGO DE FUENTES	DESCRIPCIÓN
28-01-700-001	Amoníaco Anhidro
28-01-700-002	Amoníaco Acuoso (Amoníaco en Solución)
28-01-700-003	Soluciones de Nitrógeno
28-01-700-004	Urea
28-01-700-005	Nitrato de Amonio
28-01-700-006	Sulfato de Amonio
28-01-700-007	Tiosulfato de Amonio
28-01-700-008	Otro Nitrógeno sin combinar
28-01-700-009	Fosfatos de Amonio
28-01-700-010	Mezclas de N-P-K

DESCRIPCION:

Los fertilizantes se utilizados de manera extensiva para añadir o reabastecer nutrientes agotados o que de alguna otra manera faltan en el suelo agrícola. Debido a la gran variedad de suelos y de cultivos se han formulado muchos tipos diferentes de fertilizantes. Después de su aplicación, los fertilizantes con base nitrógeno emiten amoníaco a la atmósfera. La cantidad de emisiones de amoníaco depende del tipo de fertilizante aplicado y por lo general se expresa como un porcentaje del contenido de nitrógeno del fertilizante.

El desarrollo de factores de emisión de amoníaco de la aplicación de fertilizantes todavía está en las etapas iniciales. Sin embargo, a pesar de que se han calculado algunos factores de emisión generalizados, existen muchas variables que tienen influencia sobre estos factores y que no se han tratado de manera adecuada. Entre estas variables están las condiciones meteorológicas, las propiedades del suelo, la técnica de aplicación (superficial o bajo la superficie) y los ciclos de aplicación.

CONTAMINANTES: NH₃

GOR: No es Aplicable.

AJUSTES POR FUENTES PUNTUALES: Ninguno.

METODOLOGÍA:

Las emisiones de amoníaco provenientes de la aplicación de fertilizantes se pueden estimar usando la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones}_f = \text{Uso}_f \times \%N_f \times \text{FE}_f \quad (9.4-1)$$

donde: Emisiones_f = Emisiones anuales totales de NH_3 para el fertilizante tipo f
 Uso_f = Uso anual total del fertilizante tipo f
 $\%N_f$ = Contenido de nitrógeno del fertilizante tipo f
 FE_f = Factor de emisión para el fertilizante tipo f.

DATOS NECESARIOS:

Datos		Fuentes
Uso Anual de Fertilizante (por tipo de fertilizante)		Oficina Local SAGAR/CICOPLAFEST
Contenido de Nitrógeno (por tipo de fertilizante)		Oficina Local SAGAR/CICOPLAFEST
Factores de Emisión de NH_3		Battye <i>et al.</i> , 1994
Amoniaco Anhidro	12 kg NH_3 /Mg N Total	
Amoniaco Acuoso	12 kg NH_3 /Mg N Total	
Soluciones de Nitrógeno	30 kg NH_3 /Mg N Total	
Urea	187 kg NH_3 /Mg N Total	
Nitrato de Amonio	25 kg NH_3 /Mg N Total	
Sulfato de Amonio	97 kg NH_3 /Mg N Total	
Tiosulfato de Amonio	30 kg NH_3 /Mg N Total	
Otro Nitrógeno Directo	30 kg NH_3 /Mg N Total	
Fosfatos de Amonio	48 kg NH_3 /Mg N Total	
N-P-K	48 kg NH_3 /Mg N Total	

NOTAS:

1. Actualmente, la EPA está desarrollando un factor de emisión de amoníaco para la aplicación de fertilizantes; sin embargo, para marzo de 1997, aún no estaba disponible. En un momento determinado, estos factores serán presentados en la Sección 9.2.1 del AP-42. Se espera que algunos de los factores de emisión presentados anteriormente sea incluido en la documentación del AP-42.

EJEMPLO DE CÁLCULO:

Se reporta que se han aplicado 42 Mg de N-P-K a los campos de melones en una región determinada. El fertilizante de N-P-K tiene un contenido total de nitrógeno del 32%.
¿Cuáles son las emisiones de NH₃ resultantes?

1. Emisiones totales de NH₃ del fertilizante de N-P-K:

$$\begin{aligned} & (42 \text{ Mg de N-P-K}) \times (0.32 \text{ Mg de N total /Mg de N-P-K}) \times \\ & (48 \text{ kg de NH}_3\text{/Mg de N total}) \\ & = 645 \text{ kg de NH}_3 \end{aligned}$$

9.5 Desechos de Animales

CÓDIGO DE FUENTES	DESCRIPCIÓN
Reses y Becerros	
28-05-020-001	Ganado vacuno
28-05-020-002	Vacas Lecheras
28-05-020-003	Vaquillas (Reemplazos del ganado vacuno)
28-05-020-004	Vaquillas (Reemplazos de vacas lecheras)
28-05-020-005	Vaquillas (Otras)
28-05-020-006	Novillos
28-05-020-007	Toros
28-05-020-008	Terneros
Cerdos	
28-05-025-011	Marranas de cría (> 50 kg)
28-05-025-011	Marranas de cría (20-50 kg)
28-05-025-021	Cerdos para la venta (< 27.2 kg)
28-05-025-022	Cerdos para la venta (27.2-54.0 kg)
28-05-025-023	Cerdos para la venta (54.1-81.2 kg)
28-05-025-024	Cerdos para la venta (> 81.3 kg)
Pollos	
28-05-030-001	Gallinas Criadoras (> 6 meses)
28-05-030-002	Gallinas Ponedoras (> 18 semanas)
28-05-030-003	Gallinas Criadoras (< 6 meses)
28-05-030-004	Gallinas Ponedoras (< 18 semanas)
28-05-030-005	Otros Pollos
28-05-030-006	Pollos para Asar
Otras Aves	
28-05-035-001	Patos
28-05-035-002	Pavos
28-05-035-003	Pavos (< 7 meses)
28-05-035-004	Pavos (> 7 meses)
28-05-035-005	Pavos (para freír o para hornear)
Animales Misceláneos de Granja	
28-05-040-000	Ovejas y Corderos
28-05-045-001	Cabras
28-05-045-004	Conejos
27-10-020-030	Caballos.

DESCRIPCIÓN:

El ganado y otros animales domésticos de granja son una fuente importante de emisiones de emisiones de amoníaco. En algunos lugares constituyen la fuente única mas grande de emisiones de amoníaco. Estas emisiones resultan de la conversión del nitrógeno excretado en amoniaco y su subsecuente volatilización. Se piensa que el nitrógeno contenido en la orina del ganado se convierte fácilmente en amoníaco y se emite como tal. En cambio, las emisiones de amoníaco del estiércol por lo general requieren considerable descomposición.

La magnitud de las emisiones de amoníaco del ganado dependen de muchos factores. Entre éstos se incluye el tipo de ganado, el tamaño y peso de los animales, las prácticas de almacenamiento del estiércol, el contenido de nitrógeno del alimento y la meteorología. Adicionalmente, hay un gran número de factores ambientales que rigen la tasa de descomposición del estiércol. Debido a que las emisiones de amoníaco del ganado dependen de una amplia gama de variables ambientales es bastante difícil establecer un conjunto exacto de factores de emisión. Los factores que se presentan a continuación son los que se recomiendan en la actualidad para los inventarios de emisión a escala regional.

Se han desarrollado factores de emisión adicionales para fuentes de ganado especializadas (i. e., lecherías, rastros, etc.). En las **NOTAS** se presentan dos referencias sobre estos factores.

CONTAMINANTES: NH₃

GOR: No es Aplicable.

AJUSTES POR FUENTES PUNTUALES: Ninguno.

METODOLOGIA:

Las emisiones de amoníaco del ganado y de otros animales domésticos de granja se pueden estimar usando la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones}_a = \text{Población}_a \times \text{FE}_a \times \text{TR}_a \quad (9.5-1)$$

donde:

Emisiones _a	=	Emisiones anuales totales de NH ₃ para el animal tipo a;
Población _a	=	Población total del animal tipo a;
FE _a	=	Factor de emisión de NH ₃ para el animal tipo a y
TR _a	=	Tiempo de residencia del ganado para el animal tipo a como una fracción de un año.

DATOS NECESARIOS:

Datos	Fuentes
Poblaciones de ganado	Oficina Local de SAGAR. Las estadísticas del INEGI también pueden ser útiles.
Tiempo de Residencia del Ganado	Oficina Local de SAGAR.
Factor de emisión Ganado vacuno 39.7 kg NH ₃ /cabeza-año Vacas Lecheras 39.7 kg NH ₃ /cabeza-año Vaquillas (Reemplazo de ganado vacuno) 15.2 kg NH ₃ /cabeza-año Vaquillas (Reemplazo de vacas lecheras) 13.0 kg NH ₃ /cabeza-año Vaquillas (Otras) 13.0 kg NH ₃ /cabeza-año Novillos 8.2 kg NH ₃ /cabeza-año Toros 27.9 kg NH ₃ /cabeza-año Terneros 5.2 kg NH ₃ /cabeza-año Marranas de cría (>50 kg) 16.1 kg NH ₃ /cabeza-año Marranas de cría (20-50 kg) 5.2 kg NH ₃ /cabeza-año Cerdos para la venta (<27.2 kg) 7.0 kg NH ₃ /cabeza-año Cerdos para la venta (27.2-54.0 kg) 7.0 kg NH ₃ /cabeza-año Cerdos para la venta (54.1-81.2 kg) 11.0 kg NH ₃ /cabeza-año Cerdos para la venta (>81.3 kg) 11.0 kg NH ₃ /cabeza-año Pollos (Gallinas Criadoras>6 meses) 0.60 kg NH ₃ /cabeza-año Pollos (Gallinas Ponedoras>18 semanas) 0.31 kg NH ₃ /cabeza-año Pollos (Gallinas Criadoras<6 meses) 0.27 kg NH ₃ /cabeza-año Pollos (Gallinas Ponedoras<18 semanas) 0.17 kg NH ₃ /cabeza-año Otros Pollos 0.18 kg NH ₃ /cabeza-año Pollos para Asar 0.17 kg NH ₃ /cabeza-año Patos 0.12 kg NH ₃ /cabeza-año Pavos 0.86 kg NH ₃ /cabeza-año Pavos (<7 meses) 0.89 kg NH ₃ /cabeza-año Pavos (>7 meses) 1.3 kg NH ₃ /cabeza-año Pavos (para freír o para hornear) 0.86 kg NH ₃ /cabeza-año Ovejas y Corderos 3.4 kg NH ₃ /cabeza-año Cabras 6.4 kg NH ₃ /cabeza-año Conejos 2.8 kg NH ₃ /cabeza-año Caballos 12.2 kg NH ₃ /cabeza-año	Battye <i>et. al</i> , 1994

NOTAS:

1. Se han desarrollado algunos factores de emisión de amoníaco especializados para las lecherías del sur de California (Schmidt and Winegar, 1996). Se calcularon factores de emisión por animal para procesos unitarios individuales así como promedios globales de las lecherías. Existe incertidumbre respecto a qué tan aplicables serían estos factores de emisión para las lecherías mexicanas.

s mexicanas.

2. Se han desarrollado algunos factores de emisión de amoníaco para las plantas procesadoras de carne y de pollo en los EU (Radian, 1995). Los factores de emisión están dados en términos del número de animales procesados por día, de la cantidad de carne procesada diariamente, de la cantidad de aguas residuales descargadas y de la cantidad de amoníaco en el efluente o de la DBO (demanda bioquímica de oxígeno). Existe incertidumbre respecto a qué tan aplicables serían estos factores de emisión para las plantas mexicanas procesadoras de carne.

EJEMPLO DE CÁLCULO:

Una determinada región tiene una población anual de ganado vacuno de 25,000 cabezas y de 5,000 toros. Durante tres meses del año se traen 15,000 ovejas a pastar en la región. Calcular las emisiones totales de NH₃.

1. Emisiones totales de las 25,000 cabezas de ganado vacuno:
 $25,000 \text{ cabezas} \times (39.7 \text{ kg de NH}_3/\text{cabeza-año}) \times 1.0$
 $= 992,500 \text{ kg de NH}_3/\text{año}$
2. Emisiones totales de los 5,000 toros:
 $5,000 \text{ toros} \times (27.9 \text{ kg de NH}_3/\text{cabeza-año}) \times 1.0$
 $= 139,500 \text{ kg de NH}_3/\text{año}$
3. Emisiones totales de las 15,000 ovejas:
 $15,000 \text{ ovejas} \times (3.4 \text{ kg de NH}_3/\text{cabeza-año}) \times 0.25$
 $= 12,750 \text{ kg de NH}_3/\text{año}$
4. Emisiones totales del ganado:
 $992,500 \text{ kg de NH}_3/\text{año} + 139,500 \text{ kg de NH}_3/\text{año} + 12,750 \text{ kg de NH}_3/\text{año}$
 $= 1,144,750 \text{ kg de NH}_3$
 $= 1,145 \text{ Mg de NH}_3$

9.6 Labranza Agrícola

CÓDIGO DE FUENTES: 28-01-000-003

DESCRIPCIÓN:

El polvo fugitivo de las operaciones agrícolas puede contribuir de manera significativa a las emisiones de PM₁₀ en algunas áreas rurales. Por lo general las operaciones agrícolas se dividen en tres clasificaciones: preparación del suelo, mantenimiento del suelo y cosecha. La categoría de labranza agrícola se enfoca principalmente en la preparación del suelo. Ésta incluye operaciones tales como: arado, gradado, nivelado y cortado.

CONTAMINANTES: PM₁₀

GOR: No es Aplicable

AJUSTES POR FUENTES PUNTUALES: Ninguno.

METODOLOGÍA:

Para estimar la emisiones de la labranza agrícola se usa la siguiente ecuación derivada del AP-42 y del manual de la Air Resources Board: *Emission Inventory Procedural Manual* (ARB, 1995):

$$\text{Emisiones}_c = 5.38(s)^{0.6} \times k \times \text{HP}_c \times \text{Área}_c \quad (9.6-1)$$

donde:

Emisiones _c	=	Emisiones anuales de PM ₁₀ para el cultivo tipo c;
5.38(s) ^{0.6}	=	Factor de emisión de base (kg de partículas/ hectárea-pase);
k	=	Multiplicador del tamaño de partícula (0.21 para PM ₁₀ , del AP-42);
s	=	Contenido de sedimento (%) - (ver NOTA #2);
HP _c	=	Número de hectárea-pases por hectárea para el cultivo tipo c y
Área _c	=	Área total cultivada del cultivo tipo c.

El primer término de la ecuación es tomado de la Sección 11.2.2 de la Cuarta Edición del AP-42 (AP-42, 1993) y se usa para estimar las emisiones de una operación específica.

El segundo término de la ecuación (número de hectárea-pases por hectárea) se usa para dar razón de las operaciones de labranza múltiple que se usan para la mayor parte de los tipos de cultivo. Este término se calcula multiplicando el número de operaciones típicas de labranza por el porcentaje de suelo agrícola que en realidad es labrado. En la mayor parte de cultivos de campo se labra el 100% del terreno. Sin embargo para los cultivos de huerto se labra una fracción mas pequeña del área (5-20%). La Tabla II de la Sección 7.4 del manual de la Air Resources Board: *Emission Inventory Procedural Manual* presenta algunos valores típicos para el número de operaciones de labranza y para el porcentaje del área cultivada que se labra en realidad para varios tipos de cultivos. Estos valores, sin embargo, representan las prácticas agrícolas de California. Debido a que las prácticas agrícolas mexicanas pueden ser muy diferentes se recomienda el desarrollo de datos específicos para México.

Aunque hay disponible un valor por omisión (18%) para el contenido de sedimento serían muy deseables los datos específicos por región. Los Apéndices C.1 y C.2 del AP-42 contienen los procedimientos para determinar el contenido de sedimento.

DATOS NECESARIOS:

Datos	Fuentes
Contenido de sedimentos en el suelo	Mediciones específicas en sitio, INEGI o Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Area agrícola cultivada	SAGAR o funcionarios de agricultura
Número de operaciones anuales	SAGAR o funcionarios locales de agricultura ; valores de California presentados en el <u>Emission Inventory Procedural Manual</u>
Porcentaje del área labrada	SAGAR o funcionarios locales de agricultura ; valores de California presentados en el <u>Emission Inventory Procedural Manual</u>

NOTAS:

1. La metodología presentada anteriormente (en particular el factor $(5.38(s))^{0.6}$) se basa en datos limitados. Actualmente la EPA está revisando su metodología para estimar las emisiones de la labranza agrícola. Cuando ésta esté completa se presentará en la Sección 9.1 de la Quinta Edición del AP-42.

2. El valor por omisión para el contenido de sedimento es 18%. La ecuación 8.12-1 es válida para contenidos de sedimento entre 1.7 y 88%.
3. Algunos investigadores creen que las emisiones de la labranza no sólo son función del contenido de sedimento como se describió antes sino que hay otros parámetros que podrían explicar mejor los mecanismos de emisión para la labranza agrícola. En la actualidad el personal de investigación del Laboratorio Crocker Nuclear de la Universidad de California en Davis está recopilando datos y haciendo análisis estadísticos para calcular nuevos factores de emisión (Ashbaugh, 1996).
4. Se están llevando a cabo algunas investigaciones que indican que las emisiones de labranza agrícola varían dependiendo del tipo de cultivo y de los implementos de labranza usados. Por ejemplo, las concentraciones de polvo respirable muestreado al nivel del implemento (50% de las partículas tienen un diámetro aerodinámico igual o inferior a 4 micrómetros) revelaron que la rotura del suelo ocasiona concentraciones que son 31 veces más elevadas que las del cortado de los rastrojos de maíz. Además, las concentraciones del cortado de los rastrojos de trigo son 7.5 veces mayores que las del cortado de rastrojos de maíz. Las emisiones de la labranza agrícola también pueden ser influidas por varios factores ambientales como la humedad del suelo y la velocidad del viento. Se están haciendo más investigaciones en un intento de probar y cuantificar estos factores (Clausnitzer y Singer, 1996).

EJEMPLO DE CÁLCULO:

Un área agrícola determinada tiene un contenido de sedimento de 20%. Los dos cultivos principales que se producen en esta región son algodón y naranjas. Hay 110 hectáreas de algodón y 35 hectáreas de naranjas. A partir de las prácticas agrícolas locales se determinó que el 100% de la tierra usada para el algodón es labrada cinco veces al año y que 15% de la tierra utilizada para las naranjas es labrada tres veces al año. ¿Cuáles son las emisiones anuales de PM_{10} ?

1. Los pases hectárea por hectárea para el algodón son:
$$5 \times 100\% = 5$$
2. Los pases hectárea por hectárea para las naranjas:
$$3 \times 15\% = 0.45$$
3. Las emisiones anuales de PM_{10} del algodón son:

$$5.38 (20)^{0.6} (\text{kg de PM}_{10}/\text{pase-hectárea}) \times 0.21 \times 5 (\text{pase-hectárea/hectárea}) \times 110 \text{ hectáreas} \\ = 3,750 \text{ kg}$$

4. Las emisiones anuales de PM_{10} de las naranjas son:

$$5.38 (20)^{0.6} (\text{kg PM}_{10}/\text{pase-hectárea}) \times 0.21 \times 0.45 (\text{pase-hectárea/hectárea}) \times 35 \text{ hectáreas} \\ = 107 \text{ kg}$$

5. Las emisiones anuales totales de PM_{10} de la labranza agrícola son:

$$3,750 \text{ kg} + 107 \text{ kg} = 3,856 \text{ kg de PM}_{10} = 3.86 \text{ Mg de PM}_{10}$$

10.0 MANEJO DE RESIDUOS

Algunas fuentes de emisiones debidas al manejo de residuos pueden ser demasiado pequeñas o demasiado numerosas para ser incluidas en el inventario de fuentes puntuales para una región dada. Por lo tanto, estas fuentes deben incluirse en el inventario de fuentes de área. La guía para el inventario de estas fuentes se presenta en las siguientes subsecciones:

- Incineración en Sitio;
- Quema a Cielo Abierto;
- Tratamiento de Aguas Residuales y
- Aguas Negras y Aguas Residuales en Canales Abiertos.

10.1 Incineración en Sitio

CÓDIGO DE FUENTE DESCRIPCIÓN

26-01-000-000	Todas las Categorías
26-01-020-000	Comercial e Institucional
26-01-030-000	Residencial

DESCRIPCIÓN

La incineración en sitio es la quema **confinada** de basura y otros desechos. La quema de estos materiales a cielo abierto se trata en la Sección 10.2 de este manual. Por lo general los incineradores de residuos municipales, peligrosos o industriales se clasifican como fuentes puntuales y caen dentro de la jurisdicción federal. Estos incineradores no serán tratados en esta sección. Aquí se tratarán solamente los dispositivos comerciales, institucionales y residenciales para la incineración en sitio. En México todavía no se dispone fácilmente de estadísticas directas relacionadas con esta incineración pues no se trata de una actividad muy extendida. Sin embargo, el método de balance de materiales que se describe a continuación puede usarse para estimar las emisiones.

CONTAMINANTES: GOT, CO, NO_x, SO_x y PM₁₀

GOR: Las emisiones de GOR constituyen 75% del GOT.

AJUSTES POR FUENTES PUNTUALES:

Las emisiones de la incineración en sitio deben ajustarse hacia abajo para tomar en cuenta cualquier fuente puntual de incineración (i e., incineradores municipales, etc.) en la región. Esto se hace restando los residuos que van a estas fuentes de la corriente global de residuos incinerados. El INE u otras dependencias gubernamentales deben tener información sobre las fuentes puntuales de incineración

METODOLOGÍA:

El primer paso para estimar las emisiones de la incineración en sitio consiste en hacer un balance de materiales de los residuos sólidos. En general, éste tiene la forma siguiente:

$$\Sigma \text{Residuos}_{\text{Generados}} = \Sigma \text{Residuos}_{\text{Eliminados}} \quad (10.1-1)$$

donde: $\Sigma \text{Residuos}_{\text{Generados}}$ = Cantidad total de residuos generados y
 $\Sigma \text{Residuos}_{\text{Eliminados}}$ = Cantidad total de residuos eliminados.

Por lo general, la cantidad total de residuos generados se calcula multiplicando una tasa de generación de residuos per cápita por la población del área del inventario. Esto se representa matemáticamente como:

$$\Sigma \text{Residuos}_{\text{Generados}} = \text{Población} \times \Sigma \text{Residuos}_{\text{per cápita}} \quad (10.1-2)$$

De acuerdo con el INE, la tasa de generación de residuos per cápita para 1994 para todo el país fue de 0.893 kg/persona-día (INE, 1994). Las diferencias socioeconómicas a nivel regional dan como resultado tasas de generación mas altas o mas bajas para diferentes regiones. Por ejemplo, se ha estimado que la tasa de generación en Nogales, Sonora es de aproximadamente 0.8 kg/persona-día (Monroy, 1996). Se recomienda ponerse en contacto con los funcionarios locales para obtener una tasa de generación de residuos apropiada.

La cantidad total de residuos eliminados está dada por la siguiente ecuación:

$$\Sigma \text{Residuos}_{\text{Generados}} = \text{Residuos}_{\text{Relleno sanitario}} + \text{Residuos}_{\text{Reciclados}} + \text{Residuos}_{\text{Incineración}} + \text{Residuos}_{\text{Quema a cielo abierto}} + \text{Residuos}_{\text{Otros}} \quad (10.1-3)$$

donde: $\text{Residuos}_{\text{Relleno sanitario}}$ = Cantidad total de residuos enviados a rellenos sanitarios;
 $\text{Residuos}_{\text{Reciclados}}$ = Cantidad total de residuos reciclados;
 $\text{Residuos}_{\text{Incineración}}$ = Cantidad total de residuos enviados a incineración;
 $\text{Residuos}_{\text{Quema a cielo abierto}}$ = Cantidad total de residuos consumidos a través de la quema a cielo abierto
 $\text{Residuos}_{\text{Otros}}$ = Cantidad total de residuo eliminados por otros medios (i. e., abandono, etc.)

El rearrreglo de las ecuaciones 10.1-1, 10.1-2 y 10.1-3 da como resultado la siguiente ecuación que da la cantidad de residuos quemados en incineradores. Como se indicó antes, esta cantidad de residuos debe ajustarse todavía por los incineradores considerados fuentes puntuales.

$$\text{Residuos}_{\text{Incineració}} = (\text{Población} \times \text{Residuos}_{\text{per cápita}}) - \text{Residuos}_{\text{Relleno sanitario}} + \text{Residuos}_{\text{Reciclados}} - \text{Residuos}_{\text{Quema a cielo abierto}} - \text{Residuos}_{\text{Otros}}$$

(10.1-4)

El INE estima que alrededor del 70% de los residuos generados en las ciudades mexicanas termina siendo recolectado y enviado a los rellenos sanitarios. Otras áreas pueden enviar a rellenos sanitarios fracciones diferentes de la corriente global de residuos.

Es probable que la cantidad de residuos globales que se reciclan sea pequeña en la mayor parte de las áreas de México. Por ejemplo, se ha estimado que el 1.3% del total en Nogales, Sonora se recicló en 1990 (Monroy, 1996). Sin embargo, se espera que la cantidad de residuos reciclados aumente en el futuro a medida que la práctica del reciclaje se expanda a nivel mundial.

Será necesario consultar a los funcionarios locales para conocer la cantidad de residuos que se eliminan por quema a cielo abierto y por otros medios.

Después de estimar la cantidad de residuos enviados a incineración se le debe restar la cantidad enviada a los incineradores considerados fuentes puntuales. Después se pueden calcular las emisiones usando la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones}_i = \text{Residuos}_{\text{Incineración}} \times \text{FE}_i$$

(10.1-5)

donde:

Emisiones _i	=	Emisiones anuales totales del contaminante i;
Residuos _{Incineración}	=	Residuos totales incinerados (ajustado por incineradores considerados fuentes puntuales)
FE _i	=	Factor de emisión para el contaminante i.

En la Tabla 10.1-1 se presentan algunos factores de emisión para incineradores en sitio.

Tabla 10.1-1**Factores de Emisiones sin Control para Incineradores en Sitio que no sean para Residuos Municipales^a**

Tipo de Combustor		COT ^b (kg/Mg)	CO (kg/Mg)	NO _x (kg/Mg)	Partículas (kg/Mg)	SO ₂ (kg/Mg)
Comercial / Institucional	Cámara Múltiple	1.5	5.0	1.5	3.5	1.25
	Una sola Cámara	75	10	1.0	7.5	1.25
Doméstico	Sin Quemador Primario	50	150	0.5	17.5	0.25
	Con Quemador Primario	1.0	≈0	1.0	3.5	0.25

^a Factores de emisión tomados de la Tabla 2.1-12 del AP-42. Ahí se pueden encontrar factores de emisión adicionales para otros incineradores de residuos no municipales.

^b Expresado como metano.

DATOS NECESARIOS:

Datos	Fuentes
Población	INEGI o funcionarios locales
Tasa de generación de residuos per cápita (por omisión - 0.893 kg/persona-día)	INE, INEGI o funcionarios locales
Cantidad de residuos eliminados en rellenos sanitarios (por omisión - 70% de los residuos totales)	INE o funcionarios locales
Cantidad de residuos reciclados	Funcionarios locales
Cantidad de residuos eliminados por quema a cielo abierto	Funcionarios locales
Cantidad de residuos eliminados por otros medios (abandono, etc.)	Funcionarios locales
Cantidad de residuos eliminados en incineradores considerados fuentes puntuales	INE o plantas locales
Factores de emisión	Tabla 10.1-1 de este manual o Tabla 2.1-12 del AP-42

EJEMPLO DE CALCULO:

Cierto municipio tiene una población de 160,000 habitantes. Los funcionarios locales indican que el factor de generación de residuos per cápita es ligeramente inferior al promedio nacional (~0.85 kg/persona-día). También indican que el 65% de los residuos totales es enviado a rellenos sanitarios, el 3% es reciclado, el 10% es quemado a cielo abierto y el resto es incinerado. El 5% es abandonado o tirado a cielo abierto. Un incinerador de residuos de la municipalidad incinera 5,500 Mg de residuos anualmente. Calcular las emisiones anuales de CO provenientes de la incineración en sitio suponiendo que todo el residuo se quema en un incinerador comercial de una sola cámara.

1. Residuos totales anuales generados:

$$\begin{aligned} &160,000 \text{ habitantes} \times (0.85 \text{ kg/persona-día}) \times 365 \text{ días} \\ &= 49,640,000 \text{ kg} \\ &= 49,640 \text{ Mg} \end{aligned}$$

2. Residuos anuales totales que se envían a rellenos sanitarios:

$$49,640 \text{ Mg} \times 0.65 = 32,266 \text{ Mg}$$

3. Residuos anuales totales que se reciclan:

$$49,640 \text{ Mg} \times 0.03 = 1,489 \text{ Mg}$$

4. Residuos anuales totales que se queman a cielo abierto:

$$49,640 \text{ Mg} \times 0.10 = 4,964 \text{ Mg}$$

5. Residuos anuales totales que son abandonados o tirados a cielo abierto:

$$49,640 \text{ Mg} \times 0.05 = 2,482 \text{ Mg}$$

6. Residuos anuales totales que son incinerados:

$$49,640 \text{ Mg} - 32,266 \text{ Mg} - 1,489 \text{ Mg} - 4,964 \text{ Mg} - 2,482 \text{ Mg} = 8,439 \text{ Mg}$$

7. Residuos anuales totales que son incinerados (ajustado por los incineradores considerados fuentes puntuales):

$$8,439 \text{ Mg} - 5,500 \text{ Mg} = 2,939 \text{ Mg}$$

8. Emisiones totales de CO:

$$\begin{aligned} & 2,939 \text{ Mg residuos} \times (10 \text{ kg CO/Mg residuos}) \\ & = 29,390 \text{ kg de CO/año} \\ & = 29.4 \text{ Mg de CO/año} \end{aligned}$$

10.2 Manejo de Residuos - Quema a Cielo Abierto

CODIGO DE FUENTE	DESCRIPCION
26-10-000-000	Todas las Categorías
26-10-010-000	Industrial
26-10-020-000	Comercial / Institucional
26-10-030-000	Residencial

DESCRIPCION:

En algunas áreas la quema a cielo abierto es el método preferido para eliminar los residuos sólidos. La quema confinada de materiales de desecho se trata en la parte correspondiente a la incineración en sitio (Sección 10.1). La quema agrícola a gran escala no se incluye en esta sección. La metodología para efectuar quemas agrícolas se puede encontrar en la Sección 9.3. Los tiraderos grandes donde se hace quema a cielo abierto se clasifican, por lo general, como fuentes puntuales y no se tratarán en esta sección.

Las estadísticas directas relacionados con la quema de desechos a cielo abierto son limitadas. La ley mexicana establece que esta práctica sólo está permitida en zonas de jurisdicción federal, con la autorización de la SEMARNAP y sólo cuando se realice para el entrenamiento de bomberos. Al hacer la solicitud, se debe indicar la cantidad y tipo del combustible que va a quemarse. Sin embargo, también parece que la práctica de hacer quemas a cielo abierto de desechos en pequeña escala, sin permiso de SEMARNAP, sigue siendo común. Al estimar las emisiones de la quema a cielo abierto también deben tenerse en cuenta los efectos de las reglas y regulaciones locales. El método del balance de materiales, que se describe después, puede usarse para estimar las emisiones.

CONTAMINANTES: GOT, CO, NO_x, SO_x y PM₁₀

GOR: Las emisiones de GOR constituyen el 38.7% de los GOT.

AJUSTES POR FUENTES PUNTUALES:

Las emisiones de la quema de residuos a cielo abierto deben ajustarse hacia abajo para tomar en cuenta cualquier quema a cielo abierto considerada fuente puntual (i. e., grandes tiraderos donde se practica la quema a cielo abierto) dentro de la región. Esto se hace restando los residuos que van a estas fuentes desde la corriente global de residuos incinerados. Los funcionarios locales deben tener información sobre estas fuentes puntuales.

METODOLOGIA:

El primer paso al estimar las emisiones de la quema de residuos a cielo abierto consiste en hacer un balance de materiales de los residuos sólidos. En general, un balance de materiales de este tipo tiene la siguiente la forma:

$$\Sigma \text{Residuos}_{\text{Generados}} = \Sigma \text{Residuos}_{\text{Eliminados}} \quad (10.2-1)$$

donde: $\Sigma \text{Residuos}_{\text{Generados}}$ = Cantidad total de residuos generados y
 $\Sigma \text{Residuos}_{\text{Eliminados}}$ = Cantidad total de residuos eliminados.

Por lo general, la cantidad total de residuos generados se calcula multiplicando una tasa de generación de residuos per cápita por la población del área del inventario. Esto se representa matemáticamente como:

$$\Sigma \text{Residuos}_{\text{Generados}} = \text{Población} \times \text{Residuos}_{\text{per cápita}} \quad (10.2-2)$$

De acuerdo con el INE la tasa per cápita de generación de residuos en 1994, para todo el país, era de 0.893 kg/persona-día (INE, 1994). Las diferencias socioeconómicas a nivel regional dan como resultado tasas de generación mas altas o mas bajas para diferentes regiones. Por ejemplo, se ha estimado que la tasa de generación de residuos en Nogales, Sonora es de aproximadamente 0.8 kg/persona-día (Monroy, 1996). Se recomienda ponerse en contacto con los funcionarios locales para obtener una tasa de generación de residuos apropiada.

La cantidad total de residuos eliminados está dada por la siguiente ecuación:

$$\Sigma \text{Residuos}_{\text{Eliminados}} = \text{Residuos}_{\text{Relleno sanitario}} + \text{Residuos}_{\text{Reciclados}} + \text{Residuos}_{\text{Incineración}} + \text{Residuos}_{\text{Quema a cielo abierto}} + \text{Residuos}_{\text{Otros}} \quad (10.2-3)$$

donde: $\text{Residuos}_{\text{Relleno sanitario}}$ = Cantidad total de residuos enviados a rellenos sanitarios;
 $\text{Residuos}_{\text{Reciclados}}$ = Cantidad total de residuos reciclados;
 $\text{Residuos}_{\text{Incineración}}$ = Cantidad total de residuos enviados a incineración;
 $\text{Residuos}_{\text{Quema a cielo abierto}}$ = Cantidad total de residuos consumidos por quema al aire libre y
 $\text{Residuos}_{\text{Otros}}$ = Cantidad total de residuos eliminados por otros medios (i. e., abandono, etc.)

Rearreglando las ecuaciones 10.1-1, 10.1-2 y 10.1-3 se obtiene la siguiente ecuación que da la cantidad de residuos quemados a cielo abierto.

$$\text{Residuos}_{\text{Quema a cielo abierto}} = (\text{Población} \times \text{Residuos}_{\text{per cápita}}) - \text{Residuos}_{\text{Relleno sanitario}} - \text{Residuos}_{\text{Reciclados}} - \text{Residuos}_{\text{Incineración}} - \text{Residuos}_{\text{Otros}} \quad (10.2-4)$$

El INE ha estimado que aproximadamente el 70% de los residuos generados en las ciudades mexicanas termina siendo recolectado y enviado a los rellenos sanitarios. Otras áreas pueden enviar a los rellenos diferentes fracciones de su corriente general de residuos.

Es probable que la cantidad que se recicla de los residuos globales sea pequeña en la mayor parte de las áreas de México. Por ejemplo, se ha estimado que el 1.3% del total de residuos generados en Nogales, Sonora se reciclaron en 1990 (Monroy, 1996). Sin embargo, se espera que esta cantidad aumente en el futuro a medida que la práctica del reciclaje se expanda a nivel mundial.

Es necesario consultar a los funcionarios locales para conocer la cantidad de residuos que se eliminan por incineración y por otros medios.

Después de estimar la cantidad de residuos quemados a cielo abierto es posible calcular las emisiones usando la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones}_i = \text{Residuos}_{\text{Quema a cielo abierto}} \times \text{FE}_i \quad (10.2-5)$$

donde: Emisiones_i = Emisiones anuales totales para el contaminante i ;
 $\text{Residuos}_{\text{Quema a cielo abierto}}$ = Residuos quemados totales (ajustado por incineradores considerados fuentes puntuales) y
 FE_i = Factor de emisión para el contaminante i .

En la Tabla 10.2-1 se presentan factores de emisión para residuos municipales típicos. La quema a cielo abierto de desechos orgánicos o desechos agrícolas se trata en la Sección 9.3 de este manual. La quema a cielo abierto de partes de automóviles, llantas y películas agrícolas de plástico se trata en forma especializada en las secciones 2.5.2.2, 2.5.2.3, y 2.5.2.4 del AP-42 (AP-42, 1995).

Tabla 10.2-1**Factores de Emisión para la Quema a cielo abierto de Residuos Municipales^a**

Fuente	GOT (kg/Mg) ^b		CO (kg/Mg)	NO _x (kg/Mg)	Partículas ^c (kg/Mg)	SO ₂ (kg/Mg)
	Metano	No Metano				
Desechos Municipales	6.5	15	42	3	8	0.5

^a Factores de emisión tomados de la Tabla 2.5-1 del AP-42.

^b Los factores de emisión de GOT se presentan separadamente como GOT no metano y factores de emisión de metano juntos.

^c Los factores de emisión de partículas se presentan como partículas totales. Aunque no se estipula, parece razonable asumir que una fracción significativa de las partículas son PM₁₀.

DATOS NECESARIOS:

Datos	Fuentes
Población	INEGI o funcionarios locales
Tasa de generación de residuos per cápita (por omisión - 0.893 kg/persona-día)	INE, INEGI o funcionarios locales
Cantidad de residuos eliminados en rellenos sanitarios (por omisión - 70% de los residuos totales)	INE o funcionarios locales
Cantidad de residuos reciclados	Funcionarios locales
Cantidad de residuos eliminados por incineración	Funcionarios y plantas locales
Cantidad de residuos eliminados por otros medios (abandono, etc.)	Funcionarios locales
Factores de emisión	Tabla 10.2-1

EJEMPLO DE CÁLCULO:

Un cierto municipio tiene una población de 140,000 habitantes. Los funcionarios locales indican que el factor de generación de residuos per cápita es inferior al promedio nacional (~0.75 kg/persona-día). También indican que el 60% de los residuos totales es dispuesto en rellenos sanitarios, el 2% es reciclado, el 10% es eliminado por incineración (municipal y en sitio), el 5% es abandonado o arrojado en tiraderos y el resto es quemado a cielo abierto. Calcular las emisiones anuales de NO_x de la quema cielo abierto suponiendo que todos los residuos generados son residuos municipales típicos.

1. Residuos totales anuales generados:

$$\begin{aligned} &140,000 \text{ habitantes} \times (0.75 \text{ kg/persona-día}) \times 365 \text{ días} \\ &= 38,325,000 \text{ kg} \\ &= 38,325 \text{ Mg} \end{aligned}$$

2. Residuos anuales totales enviados a rellenos sanitarios:

$$38,325 \text{ Mg} \times 0.60 = 22,995 \text{ Mg}$$

3. Residuos anuales totales que son reciclados:

$$38,325 \text{ Mg} \times 0.02 = 767 \text{ Mg}$$

4. Residuos anuales totales que se eliminan por incineración:

$$38,325 \text{ Mg} \times 0.10 = 3,833 \text{ Mg}$$

5. Residuos anuales totales que son abandonados o tirados a cielo abierto:

$$38,325 \text{ Mg} \times 0.05 = 1,916 \text{ Mg}$$

6. Residuos anuales totales que son quemados a cielo abierto:

$$38,325 \text{ Mg} - 22,995 \text{ Mg} - 767 \text{ Mg} - 3,833 \text{ Mg} - 1,916 \text{ Mg} = 8,814 \text{ Mg}$$

7. Emisiones totales de NO_x:

$$\begin{aligned} &8,814 \text{ Mg residuos} \times (3 \text{ kg NO}_x/\text{Mg residuos}) \\ &= 26,442 \text{ kg NO}_x/\text{año} \\ &= 26.4 \text{ Mg NO}_x/\text{año} \end{aligned}$$

10.3 Tratamiento de Aguas Residuales

CÓDIGO DE FUENTE	DESCRIPCIÓN
26-30-000-000	Todas las Categorías/ VALOR? Compuesto
26-30-010-000	Industrial/ VALOR? Compuesto
26-30-020-000	Propiedad Pública/ VALOR? Compuesto
26-30-030-000	Residencial o de Propiedad subdividida Mixta/ VALOR? Compuesto

DESCRIPCIÓN

Hay varios procesos industriales que generan corrientes de aguas residuales que contienen compuestos orgánicos. Por lo general estas corrientes se recolectan, se someten a un tratamiento de sus contaminantes y a los pasos de almacenamiento antes de que sean descargadas, ya sea a un cuerpo receptor o a una planta municipal de tratamiento (también llamadas “obras públicas de tratamiento” [POTWs, por sus siglas en inglés], en EU) para recibir un tratamiento posterior. Durante algunas de estas operaciones las aguas residuales están expuestas al aire y se pueden emitir compuestos orgánicos a la atmósfera.

Además de las aguas residuales industriales, las plantas también pueden tratar aguas domésticas, institucionales o comerciales, así como aguas que ingresan al sistema de alcantarillado desde el suelo y desde los escurrimientos pluviales. En general, estos otros tipos de aguas residuales no contienen niveles significativos de GOT. En los EU, si se desconoce la contribución anual real de aguas residuales industriales a estas plantas en una región de inventario, se recomienda un valor por omisión del 16% del flujo total anual (i. e., el promedio nacional). Este valor por omisión basado en datos de los EU tiene una aplicación limitada en México y sólo debe usarse si no existen otros datos disponibles.

Los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales deben cumplir con las normas de calidad federales, estatales y municipales antes de ser descargados a un cuerpo receptor. El tamaño y grado del tratamiento de las corrientes de aguas residuales dependerá de su volumen y grado de contaminación, así como del grado de remoción de contaminantes que se desea.

CONTAMINANTES: GOT

GOR: La mayor parte de los hidrocarburos no reactivos que deben excluirse son compuestos orgánicos halogenados. Si hay datos de concentración en las aguas residuales de compuestos químicos específicos, las emisiones de GOT pueden ajustarse para excluir la parte correspondiente a compuestos orgánicos halogenados. Por ejemplo, si las emisiones de GOT son de 100 Mg/año, la suma de las concentraciones de compuestos orgánicos halogenados es de 40 ppmp y la concentración de COT es de 500 ppmp, entonces:

$$\text{Parte No Reactiva} = (40 \text{ ppmp}) / (500 \text{ ppmp}) = 8\%$$

$$\begin{aligned} \text{Emisiones} &= (\text{emisiones de GOT}) \times (\text{fracción de GOR}) \\ &= (100 \text{ Mg/año}) \times (1 - 0.08) \\ &= 92 \text{ Mg/año} \end{aligned}$$

AJUSTES POR FUENTES PUNTUALES:

El tratamiento de aguas residuales puede ocurrir en plantas grandes que se inventarían como fuentes puntuales. De manera ideal, el volumen total de aguas residuales tratadas en las fuentes puntuales debería restarse del volumen total de aguas residuales tratadas en la región del inventario y el “volumen total de aguas residuales tratadas en fuentes de área” resultante debe usarse en los cálculos de las emisiones. Si sólo hay datos para las plantas consideradas fuentes puntuales, estas emisiones deben restarse de las emisiones totales calculadas utilizando los métodos aquí descritos para producir la estimación final de emisiones de las fuentes de área.

METODOLOGÍA:

Es necesario determinar la cantidad de aguas residuales industriales tratadas en la región del inventario. Si las estadísticas disponibles no corresponden directamente a las necesidades del inventario (e. g., existen estadísticas a nivel de todo el estado pero la región del inventario incluye porciones de diversos estados o el inventario requiere estimaciones de emisión a nivel municipal) se pueden usar datos de los censos (e.g., población o vivienda) o bien otras estadísticas disponibles para desagregar los totales para la región del inventario. Por ejemplo, los datos de población podrían usarse para el tratamiento de aguas residuales municipales y el número de plantas industriales o los ingresos industriales podrían usarse para el tratamiento de aguas residuales industriales. El ejemplo de cálculo para la combustión residencial (combustibles comerciales) (Sección 4.2) ilustra este procedimiento.

El factor de emisión que se desarrolle debe relacionar la masa de contaminante emitido con la cantidad de aguas residuales tratadas (e. g., kg de GOT/litro). Entonces, la ecuación para las emisiones no controladas de GOT es simplemente:

$$\text{Emisiones}_{\text{GOT}} = (\text{volumen de aguas residuales tratadas}) \times \text{FE}_{\text{GOT}} \quad (10.3-1)$$

Como alternativa, puede aplicarse un enfoque mucho más riguroso usando un modelo de emisiones como el CHEMDAT8 ó el WATER8. Ver la Sección 4.1.4 del Manual de *Técnicas Básicas de Estimación de Emisiones* (Volumen III de esta serie) que contiene mayor información sobre estos modelos de cómputo, sobre las ecuaciones del modelo de emisión y los requerimientos de datos. También la Sección 4.2.8 (i. e., Tratamiento de Aguas Residuales) de los documentos para el desarrollo de un inventario de fuentes de área para el Area Metropolitana de la Ciudad de México (DDF, 1995a) dan información más detallada sobre la manera en que un modelo de emisiones mas antiguo (i. e., *the Surface Impoundment Modeling System [SIMS]* “Sistema de Modelado de Estanques Superficiales”) se usó previamente en México para hacer estimaciones de las emisiones de fuentes de área del tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, la EPA ya no apoya este modelo.

DATOS NECESARIOS:

Datos	Fuentes
Cantidad de aguas residuales industriales tratadas en la región del inventario	Dependencia Federal: Comisión Nacional del Agua Dependencia estatal o local: (e. g., Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, México, D. F.)
Factor de Emisión 1.3 x 10 ⁻⁵ kg de GOT/litro (1.1 x 10 ⁻⁴ GOT lb/gal)	U.S. EPA, 1991a

NOTAS:

1. La información sobre las plantas de tratamiento de aguas residuales por regiones en el país se puede encontrar en la Comisión Nacional del Agua, que es la dependencia federal que recopila la información sobre el uso y descarga en los cuerpos de agua federales y que es también una fuente de información sobre las plantas municipales de tratamiento de aguas.
2. El único factor de emisión que está publicado es de 1.3 x 10⁻⁵ kg/litro (1.1 x 10⁻⁴ lb/gal) (U.S. EPA, 1991a). Este factor se basa en el reporte sobre el flujo industrial total descargado a las plantas de tratamiento en los EU durante 1984, que fue de 1.6 x 10¹² galones, y una estimación de emisiones de VOCs a nivel nacional proveniente de las plantas de 78,540 Mg/año. Esta estimación de las emisiones de COVs se basó en las cargas anuales de COVs reportadas para el influente crudo de las plantas, así como en una suposición, que ha sido apoyada por la investigación, de que en el caso de una gran carga química, el 85% de todos los contaminantes volátiles descargados en los sistemas de tratamiento de aguas residuales se emitirán al aire ambiente. Esto es:

$$FE_{COVs} = (78540 \text{ Mg/año}) (10^6 \text{ g/Mg}) / (453.6 \text{ g/lb}) / (1.6 \times 10^{12} \text{ gal/año})$$

$$= 1.1 \times 10^{-4} \text{ lbs COVs/gal}$$

Este valor por omisión basado en datos de los EU tiene aplicación limitada en México y sólo debe usarse si no hay otros datos disponibles

EJEMPLO DE CÁLCULO:

1. Determinar la cantidad de aguas residuales tratadas. Suponer que la cantidad total de aguas residuales tratadas en la región del inventario es de $2,500 \times 10^6$ litros/año. Dado que se desconoce la cantidad de aguas residuales industriales tratadas, se usará el valor por omisión de los EU, de 16%.

$$(2,500 \times 10^6 \text{ litros/año}) \times (16\%) = 400 \times 10^6 \text{ litros/año}$$

2. Determinar las emisiones de GOT

Por ejemplo, las emisiones anuales totales de GOT de un estado que trata 400×10^6 litros/año de aguas residuales industriales son:

$$\begin{aligned} (400 \times 10^6 \text{ litros/año}) \times (1.3 \times 10^{-5} \text{ kg de GOT/litro}) &= 5200 \text{ kg/año} \\ &= 5.2 \text{ Mg/año} \end{aligned}$$

3. En caso necesario restar las emisiones de las fuentes puntuales,.

Si hay plantas grandes de tratamiento de aguas residuales en la región del inventario que hayan sido inventariadas como fuentes puntuales entonces sería preferible que el volumen total de aguas residuales tratadas en las fuentes puntuales fuera restado del volumen total de aguas residuales tratadas en la región del inventario y el volumen total de aguas residuales tratadas en las fuentes de área se usara en los cálculos de las emisiones. Por ejemplo, si los gastos de las fuentes puntuales son:

- 10 millones de litros/año para la Planta A y
- 20 millones de litros/año para la Planta B;

Entonces:

$$\begin{aligned} [(400) - (10 + 20)] \times 10^6 \text{ litros/año} \times (1.3 \times 10^{-5} \text{ kg de GOT/litro}) &= 4810 \text{ kg/año} \\ &= 4.8 \text{ Mg/año} \end{aligned}$$

Si sólo estuvieran disponibles los datos de emisiones para las plantas consideradas fuentes puntuales las emisiones asignadas a éstas deben ser restadas del total calculado para la región del inventario. Por ejemplo, si las emisiones de las fuentes puntuales son:

- 100 kg/año para la Planta A y
- 150 kg/año para la Planta B;

Entonces:

$$\begin{aligned} \text{Emisiones de Fuentes de Área} &= (\text{Emisiones Totales}) - (\text{Emisiones Puntuales}) \\ &= 5200 - (100 + 150) \\ &= 4950 \text{ kg/año} \\ &= 4.95 \text{ Mg/año} \end{aligned}$$

10.4 Aguas Negras y Aguas Residuales en Canales Abiertos

CÓDIGO DE FUENTE:

26-30-090-000*

DESCRIPCIÓN:

Tratamiento de Aguas Residuales

*Código específico propuesto para México para una categoría de fuente que en general no se inventaría en los EU.

DESCRIPCIÓN

En algunas áreas de México se pueden usar canales abiertos para conducir aguas negras de origen humano y/o aguas residuales industriales. Por ejemplo, Ciudad Juárez con aproximadamente un millón de habitantes, no tiene sistema de drenaje y manda aproximadamente 55 millones de galones de aguas negras crudas diarias hacia canales abiertos sin revestimiento que fluyen a lo largo del Río Bravo (*Sacramento Bee*, 1995b). Estos canales, corrientes, ríos y presas son fuentes de emisiones a la atmósfera por la descomposición del material orgánico y la evaporación de los hidrocarburos presentes en las descargas.

CONTAMINANTES:GOT y NH₃.**GOR:**

Las aguas residuales industriales pueden incluir clorofluorocarburos (CFCs) u otros compuestos orgánicos que no se consideran reactivos y que deben excluirse de los inventarios de GOR.

AJUSTES POR FUENTES PUNTUALES:

Por lo general, los canales abiertos de aguas negras y las fuentes de aguas residuales no se incluyen en un inventario de fuentes puntuales. Por lo tanto, los ajustes no son necesarios.

METODOLOGÍA:

Se requieren más estudios para desarrollar una metodología para estimar las emisiones de hidrocarburos volátiles provenientes de la descomposición del material orgánico y de las emisiones en canales abiertos. Ahora la EPA está financiando cuando menos una actividad de este tipo a través del Centro de Información sobre Contaminación del Aire (CICA). El proyecto No. 2 del CICA, *Emission Estimation Techniques for Unique Source Categories in Mexicali, Mexico* (Técnicas de Estimación de Emisiones para Categorías Especiales de Fuentes en Mexicali, México) presentará y evaluará metodologías específicas para el desarrollo de factores de emisión para presas y canales abiertos de aguas residuales. Se espera que el borrador del reporte de este proyecto esté terminado en abril de 1997 y que esté disponible al público en la Página del CICA (<http://www.epa.gov/oar/oaqps/cica/>).

Es probable que en algunas regiones haya datos que sirvan para apoyar un enfoque simple de balance de materiales (e. g., cantidad total de aguas residuales, concentraciones de los contaminantes que se van a inventariar). Sin embargo, es seguro que la metodología deba tomar en cuenta los efectos de la descomposición, ya que esta reacción química puede, tanto destruir algunas especies químicas originalmente descargadas en los canales abiertos, como crear otros subproductos. Es interesante señalar que en un estudio de la Universidad Rice se sugiere que en algunos casos es posible que los residuos humanos no se descompongan debido a que los niveles de concentración de los productos químicos industriales matan a las bacterias en el agua (<http://www.rice.edu/projects/TELRC/Colonias/file5.html>).

DATOS NECESARIOS:

Datos	Fuentes
Información general sobre la longitud y condiciones de los canales abiertos.	Dependencias municipales (e. g., la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del D.D.F.)
Número de viviendas y habitantes por disponibilidad y tipo de drenaje	INEGI (e. g., Reporte del censo de 1990)
Cantidad de aguas residuales generadas per cápita (desarrollada potencialmente a partir de la cantidad de aguas residuales tratadas y del número de habitantes atendidos por las plantas de tratamiento de aguas residuales existentes).	Plantas locales de tratamiento de aguas residuales.

NOTAS:

1. Por determinarse.

EJEMPLO DE CÁLCULO:

Por determinarse.

11.0 FUENTES DE ÁREA MISCELANEAS

Algunas fuentes diversas de emisiones pueden ser demasiado pequeñas o demasiado numerosas para ser incluidas en el inventario de fuentes puntuales de una región determinada. Por lo tanto, estas fuentes necesitan incluirse en el inventario de fuentes de área. La guía para esta fuentes se presenta en las siguientes subsecciones:

- Incendios Silvestres;
- Incendios de Construcciones;
- Polvo de Caminos Pavimentados;
- Polvo de Caminos sin Pavimentar;
- Erosión Del viento y
- Emisiones Domésticas de Amoníaco.

11.1 Incendios Silvestres 10.1 Wildfires

CÓDIGO DE FUENTE: 28-10-001-000

DESCRIPCIÓN:

Los incendios silvestres ocurren de manera natural en México pero otras causas significativas de las emisiones de este tipo de incendios son aquellos provocados de manera intencional para promover el crecimiento de pastos para el pastoreo de ganado. El uso de incendios prescritos para el manejo de ecosistemas forestales no se practica en México. La mayor parte de los incendios ocurren en las regiones central y sur del país durante los meses que van de enero a mayo. Estos incendios no sólo ocurren en pastizales sino también en áreas forestales. En junio termina la estación de incendios cuando comienzan las lluvias de verano. Una excepción a esto se presenta en Baja California donde los incendios de matorrales ocurren de manera muy similar a como lo hacen en California.

Debido a que estos incendios tienden a presentarse durante la parte más fresca del año por lo general no arden con altas temperaturas. Esto da como resultado que la mayor parte sean incendios de superficie más que incendios de corona. Además, los incendios tienden a ser pequeños, aunque numerosos. Esto es particularmente cierto en los terrenos públicos, en los que se provocan más incendios que en los terrenos privados. Las estadísticas sobre la cantidad de acres quemados anualmente son conservadas por SEMARNAP.

CONTAMINANTES: GOT, CO y PM₁₀

GOR: La emisiones de GOT constituyen el 45% de los GOT.

AJUSTES POR FUENTES PUNTUALES: Ninguno.

METODOLOGÍA:

La ecuación básica para estimar las emisiones de incendios silvestres es:

$$\text{Emisiones}_i = \text{FE}_i \times L \times C \times A \quad (11.1-1)$$

donde: Emisiones_i = Emisiones totales del contaminante i
 FE_i = Factor de emisión para el contaminante i (g/kg)
 L = Carga de combustible (kg/ha)
 C = Porcentaje de la carga de combustible que es consumido por el incendio
 A = Superficie quemada (ha).

Los valores de la carga de combustible son estimaciones específicas para cada lugar de la masa secada al horno de los combustibles vegetales disponibles para ser consumidos por un incendio. De manera ideal, éstos se definen mejor en términos de la clase del tamaño del combustible, tales como combustibles finos (diámetro de 0-1”), combustibles pequeños (diámetro de 1-3”), combustibles leñosos grandes (diámetro mayor a 3”), vegetación viva y mantillo (humus parcialmente descompuesto). Cada componente del combustible tiene una propensión diferente a arder en un incendio y equilibra su contenido de humedad con el medio que lo rodea a una tasa diferente.

La cantidad de combustible disponible que realmente es consumido por un incendio es una función compleja de muchas variables, pero los principales parámetros son el contenido de humedad del combustible, la distribución de clase de tamaño y el arreglo del combustible, la velocidad del viento y la intensidad del fuego. Existen modelos de consumo, tales como el CONSUME para muchos combustibles en los EU (Ottmar *et al.*, 1993). Si no se dispone de alguno de estos modelos se puede hacer la suposición conservadora de que el 100% del combustible disponible es consumido (i. e., $C = 1.0$).

De manera ideal, las estimaciones de consumo se calculan separadamente para el combustible consumido en las fases de la combustión, llameante y sin llama. Esta distinción es importante debido a que cada fase de la combustión ocurre con una eficiencia de combustión característica (η). La eficiencia de combustión completa ($\eta = 1.00$) produce solamente agua, dióxido de carbono y una pequeña cantidad de contaminantes inorgánicos. En la práctica, sin embargo, la combustión completa no ocurre nunca. La combustión sin llama es muy ineficiente y produce una mayor proporción de contaminantes en comparación con la combustión llameante. En general, los factores de emisión presentados en esta sección son función de la eficiencia de combustión. Para hacer las estimaciones detalladas de emisión, primero deben hacerse por separado las estimaciones para las emisiones llameantes y las emisiones sin llama porque las emisiones de la fase llameante, aunque son más “limpias”, pueden ser transportados a largas distancias cuando están contenidos en una pluma muy flotante proveniente de un gran incendio, mientras que las emisiones de la fase sin llama son más “sucias” y muy importantes para evaluar los impactos locales. El manejo de las emisiones puede hacerse limitando la combustión de la fase sin llama lo que puede lograrse: 1) programando las igniciones para aprovechar el contenido de humedad del combustible limitando así la duración de la combustión sin llama; y 2) limpiando muy bien después de la fase de llama para extinguir los rescoldos.

El consumo estimado total de combustible (después de sumar las fases llameante y sin llama) se presenta en la Tabla 11.1-1 para varios combustibles del oeste de los EU. Estos combustibles (o especies similares) también se extienden hasta México por lo que se espera que los valores de consumo sean representativos de las condiciones en este país. Los valores de consumo de combustible que se presentan en la Tabla 11.1-1 son en realidad producto de los términos L y C de la ecuación 11.1-1. Las estimaciones de consumo de combustible están dadas para un escenario de tiempo de incendio “seco” (usado para incendios silvestres en condiciones de sequía severa), para un escenario de tiempo de incendio “normal” (usado para las quemas por prescripción o para los incendios silvestres en condiciones moderadamente secas) y para un escenario de tiempo “húmedo” (usado para las quemas por prescripción o para los incendios silvestres en condiciones de mas humedad). Las estimaciones de quema de combustible de la Tabla 11.1-1 se obtuvieron asignando clasificaciones estándar de vegetación de la Society of American Foresters (SAF) (*Sociedad de Silvicultores Americanos*) y de la Society for Range

Management (SRM) (*Sociedad de Manejo de Praderas*) a uno de los modelos del sistema de combustibles de la National Fire Danger Rating (NFDR, por sus siglas en inglés) (*Clasificadora Nacional de los Peligros de Incendio*) (Deeming y Cohen, 1982). Para cada clasificación de vegetación presentada en la Tabla 11.1-1 se identifica el modelo NFDR específico (T, F, L, H ó C) usado en las estimaciones de quema de combustibles. Asimismo, para cada modelo específico, la carga de combustible y la intensidad del fuego resultante se ha identificado como baja, media o alta (Hardy et al., 1997). Los datos de la Tabla 11.1-1 representan sobre todo a una vegetación en un nivel de desarrollo maduro temprano. Si la vegetación se encuentra en etapas anteriores o posteriores de desarrollo las cargas serán diferentes.

Como se mencionó antes, las especies presentadas en la Tabla 11.1-1 son las que se encuentran tanto en EU como en México. Los datos de esta tabla no son apropiados para las especies nativas de México, sobre todo para aquellas que se encuentran en las áreas tropicales del país. La Tabla 11.1-1 también incluye factores promedio de emisión de $PM_{2.5}$ para cada escenario de combustible y tiempo, calculado a partir de los factores promedio de emisión de PM_{10} (Hardy et al., 1997) por medio de un modelo de regresión desarrollado por Ward et al. (1993).

Algunos factores de emisión adicionales para combustibles de los páramos se presentan en la Tabla 11.1-2. Estos datos se basan en emisiones medidas de algunos combustibles representativos de los EU (Ward et al., 1993). Las interrelaciones entre los contaminantes emitidos permite calcular el factor de emisión a partir de la eficiencia de la combustión o de los datos de $PM_{2.5}$ data en la Tabla 11.1-1.

Tabla 11.1-1.

**Consumo Total de Combustible, Factores de Emisión de PM_{2.5}
y Estimaciones de la Eficiencia de Combustión
para Algunos Combustibles Representativos del Oeste de los EU**

Combustible^a	Escenario del Tiempo del Incendio	Consumo Total de Combustible (kg/ha)	Factor de Emisión de PM_{2.5} (g/kg)	Eficiencia Promedio de la Combustión del Incendio h
Cola de antílope - Pasto empenachado: SRM104, T, M	Seco	2,317	6.99	0.90
	Normal	2,317	6.99	0.90
	Húmedo	2,317	6.78	0.90
Roble Azul - Pino Excavador: SAF250, F, H	Seco	2,317	6.95	0.90
	Normal	2,197	6.65	0.91
	Húmedo	1,877	5.55	0.93
Bosque de Roble Azul: SRM201, L, M	Seco	819	8.09	0.89
	Normal	799	8.09	0.89
	Húmedo	799	7.75	0.89
Chamizal: SRM206, F, M	Seco	2,317	6.99	0.90
	Normal	2,317	6.99	0.90
	Húmedo	2,317	6.78	0.91
Abeto Douglas Interior: SAF210, H, L	Seco	7,749	9.32	0.87
	Normal	7,050	9.36	0.87
	Húmedo	4,553	8.81	0.88
Pino Ponderosa Interior: SAF237, T, H	Seco	5,772	8.52	0.88
	Normal	5,292	8.52	0.88
	Húmedo	3,715	7.75	0.89
Bosque de Juníperos: SAF412, L, M	Seco	1,038	7.20	0.90
	Normal	1,038	7.20	0.90
	Húmedo	1,038	6.95	0.90

Tabla 11.1-1. (Continuación)

Combustible ^a	Escenario del Clima del Incendio	Consumo Total de Combustible (kg/ha)	Factor de Emisión de PM _{2.5} (g/kg)	Eficiencia Promedio de la Combustión del Incendio h
Pino para Construcción: SAF218, H, H	Seco	4,993	7.46	0.90
	Normal	4,733	7.50	0.90
	Húmedo	4,074	7.58	0.90
Mezquite: SAF242, T, M	Seco	2,396	6.99	0.90
	Normal	1,358	5.81	0.92
	Húmedo	1,138	4.45	0.94
Pino Ponderosa - arbustos: SRM109, T, M	Seco	7,649	8.26	0.89
	Normal	7,130	8.43	0.88
	Húmedo	5,372	8.05	0.89
Pino Ponderosa - pastizal: SRM110, C, H	Seco	5,951	9.45	0.87
	Normal	5,432	9.41	0.87
	Húmedo	3,415	8.14	0.89
Abeto Blanco: SAF211, H, M	Seco	7,968	9.28	0.87
	Normal	7,269	9.36	0.87
	Húmedo	4,813	8.98	0.87

^a Base para el consumo de combustible (clasificación vegetal, modelo NFR utilizado, suposición sobre la intensidad del fuego [alta, media o baja]).

Tabla 11.1-2.**Algoritmos de los Factores de Emisión**

Contaminante (FE)	Algoritmo del Factor de Emisión	Unidades	Incertidumbre
Monóxido de carbono (CO)	$961 - (\eta \times 984)$	g/kg	±10%
Metano (CH ₄)	$42.7 - (\eta \times 43.2)$	g/kg	±20%
Hidrocarburos no metano (NMHC)	$0.76 + (FE_{CH_4} \times 0.616)$	g/kg	±25%
GOT	$FE_{CH_4} + FE_{NMHC}$	g/kg	±25%
PM ₁₀	$1.18 \times FE_{PM_{2.5}}$	g/kg	±25%

DATOS NECESARIOS :

Datos	Fuentes
Superficie quemada	SEMARNAP
Carga de combustible y consumo	Datos específicos de México; Tabla 11.1-1
Factores de emisión	Datos específicos de México; Tabla 11.1-2

NOTAS:

1. La información presentada en las Tablas 11.1-1 y 11.1-2 no intenta ser exhaustiva, sino más bien contiene valores representativos. Si se requiere información adicional más detallada se deben consultar las referencias citadas en esta sección.
2. Todavía no se han calculado valores de carga de combustible para México. La carga de combustible depende de la edad y la distribución de las especies en cada sitio quemado por lo que se determina mejor a partir de inventarios de biomasa vegetal de los sitios representativos. Hasta que estos valores estén disponibles se pueden usar modelos de combustibles de otras regiones, tales como los EU, para estimar la carga de combustible mexicanas. Referirse a la Tabla 11.1-1 para obtener los datos de carga de combustibles de los EU que pueden ser usados en lugar de los datos específicos para México.
3. Los datos de consumo de combustible para México aún no han sido desarrollados. El consumo de combustible en las fases llameante y sin llama del incendio se determina mejor a partir de los inventarios de biomasa vegetal antes y después del incendio.
4. Todavía no se calculan los factores de emisión para la biomasa vegetal mexicana. Hasta que estos datos estén disponibles se pueden usar modelos de combustible de otras regiones, tales como los EU, para estimar los factores de emisión para los incendios mexicanos de vegetación. Referirse a las Tablas 11.1-1 para obtener los factores de emisión de los EU que pueden utilizados en lugar de los valores específicos de México
5. En la actualiad Radian está trabajando con Ernesto Alvarado y Roger Ottmar del USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station (*Servicio Forestal de EU, Estación de Investigación del Noroeste del Pacífico*) (206-553-7815) para desarrollar datos de carga de combustible y factores de emisión apropiados para usarse en México.

EJEMPLO DE CÁLCULO:

Estimar las emisiones de CO de un incendio por prescripción de 120 hectáreas de abeto Douglas interior a principios de la primavera.

1. Determinar el consumo de combustible para el incendio de 120 hectáreas (suponer que las condiciones a principios de la primavera están representadas por los datos de consumo “húmedo” en la Tabla 11.1-1):

$$A = 120 \text{ ha}$$

$$(L \times C) = 4,553 \text{ kg/ha}$$

$$120 \text{ ha quemadas} \times 4,553 \text{ kg de combustible consumido/ha} = 546,360 \text{ kg de combustible consumido}$$

2. A continuación estimar el factor de emisión de CO a partir de la ecuación apropiada en la Tabla 11.1-2. Se usa la estimación de eficiencia de combustión (η) obtenida de la Tabla 11.1-1:

$$EF_{CO} = 961 - (0.88 \times 984)$$

$$= 95.08 \text{ g CO / kg de combustible consumido.}$$

3. Finalmente, estimar las emisiones totales del incendio utilizando el factor de emisión calculado para el CO y el consumo del combustible del paso 1:

$$546,360 \text{ kg combustible} \times \left(\frac{95.08 \text{ g de CO}}{\text{kg combustible}} \right) = 51,948 \text{ kg de CO}$$

$$= 51.9 \text{ Mg de CO}$$

11.2 Incendios de Construcciones

CODIGO DE FUENTE: 28-10-030-000

DESCRIPCIÓN:

Igual que otras fuentes de combustión, los incendios de construcciones generan emisiones de GOT, CO, NO_x y partículas. Sin embargo, a diferencia de otras fuentes de combustión, estos incendios no son intencionales y en consecuencia la cantidad de combustible quemado puede ser difícil de determinar.

Para estimar las emisiones de los incendios de construcciones primero es necesario determinar la cantidad de material quemado. Esto incluye tanto los materiales estructurales como el contenido del edificio. En esta sección se incluyen algunos valores típicos para los edificios de apartamentos en los EU. Sin embargo, se piensa que los valores en México pueden ser drásticamente diferentes debido a las diferencias en la construcción (i. e., en los EU las casas están construidas de madera de manera predominante, mientras que las mexicanas son de ladrillos o de otros materiales diferentes de la madera). Es deseable tener valores específicos para México por lo que éstos deben desarrollarse.

CONTAMINANTES: GOT, CO, NO_x y partículas

GOR: La emisiones de GOT constituyen el 69.9% de los GOT.

AJUSTES POR FUENTES PUNTUALES: Ninguno.

ECUACIONES:

$$\text{Emisiones}_p = \text{Incendios} \times \% \text{Pérdidas} \times (\text{MC}_{\text{Edificio}} + \text{MC}_{\text{Contenidos}} \times \text{FE}_p) \quad (11.2-1)$$

donde: Emisiones_p = Emisiones totales anuales del contaminante p;
 Incendios = Número total anual de incendios;
 %Pérdidas = Porcentaje promedio pérdida de la construcción;
 MC_{Edificio} = Cantidad de material combustible del edificio mismo;
 MC_{Contenidos} = Cantidad de material combustible de los contenidos del edificio
 FE_p = Factor de emisión para el contaminante p.

El porcentaje promedio de pérdida de la construcción se debe estimar porque los incendios de este tipo no consumen el 100% del material combustible disponible. Muchos de estos incendios son extinguidos antes de que la construcción se haya consumido por completo. En California, el porcentaje promedio de pérdida de la construcción se ha estimado en 7.3%. Éste podría usarse como valor por omisión para México pero es deseable tener una estimación específica para este país.

En EU, la casa habitación promedio tiene entre 111 y 139 m² (1,200-1,500 ft²) de espacio de piso, con un peso de 9.1 a 10.9 Mg (10-12 tons) de materiales de construcción combustibles. Es probable que estas estadísticas no describan con exactitud las casas habitación en México. De manera específica, es probable que las casas de ladrillos, bloques de concreto y adobe, materiales tan extendidos en México, contengan menores cantidades de materiales combustibles.

En los EU se han determinado valores para el contenido de combustible por pie cuadrado para las diferentes áreas funcionales de la casa promedio. Estos valores se presentan en la Tabla 11.2-1 (CARB, 1995).

Tabla 11.2-1

**Contenido de Materiales Combustibles
para Diferentes Áreas Funcionales en los EU**

Área Funcional	Origen de Incendios (%)	Combustibles (lbs/ft ²)	Combustibles (kg/m ²)	Promedio Ponderado (lbs/ft ²)
Recámara	28.96	10.4	50.8	3.01
Área de Dormitorios	0.20	10.4	50.8	0.02
Área del Comedor	2.20	7.2	35.2	0.16
Cocina	53.92	6.8	33.2	3.67
Baño	6.32	7.0	34.2	0.44
Lavandería	8.08	7.2	35.2	0.58
Estudio	0.17	7.9	38.6	0.01
Otro	0.13	9.6	46.9	0.01
Total	100.00	—	—	7.90

En los EU se ha estimado un promedio ponderado de 7.90 lbs/ft² (38.6 kg/m²) de contenidos combustibles utilizando la distribución de ocurrencia de incendios para diferentes áreas funcionales multiplicada por el contenido de combustible en cada área funcional. Este valor puede no ser exacto para México en cuyo caso sería necesario estimar un contenido de combustible específico para el país.

DATOS NECESARIOS :

Datos	Fuentes
Número de Incendios	Departamento local de bomberos
Pérdida Porcentual Promedio de Construcción	Departamento local de bomberos o asociación nacional de protección contra incendios; valores por omisión para los EU.
Cantidad de Material de Construcción Combustible	INEGI, asociación nacional de protección contra incendios o asociación nacional de constructores; valores por omisión para los EU.
Cantidad de Contenidos Combustibles en el Edificio	INEGI, asociación nacional de protección contra incendios o asociación nacional de constructores; valores por omisión para los EU.
Factor de emisión de GOT ^a 6.95 kg/Mg (13.9 lbs/ton)	ARB, 1995
Factor de emisión de CO ^a 84 kg/Mg (168 lbs/ton)	ARB, 1995
Factor de emisión de NO _x ^b 2.0 kg/Mg (4.0 lbs/ton)	ARB, 1995
Factor de emisión de partículas ^a 5.4 kg/Mg (10.8 lbs/ton)	ARB, 1995

^a Los factores de emisión de GOT, CO y partículas fueron obtenidos de pruebas realizadas durante los incendios de edificios de madera modelo.

^b Se supone que el factor de emisión de NO_x es similar al que se presenta en el AP-42 para desechos municipales.

EJEMPLO DE CÁLCULO:

Un municipio reportó 1,100 incendios en 1995. Se estimó que la pérdida porcentual de construcción fue de aproximadamente 14%. La mayor parte de las casas en este municipio están construidas de ladrillos o de bloques de concreto por lo que se estima que el material combustible de la construcción era de sólo 2.5 Mg por casa. También se estimó que hay 25 kg de contenidos combustibles por metro cuadrado sabiendo que una casa típica mide 90 m². Los valores en este ejemplo sólo son para propósitos ilustrativos y no pretenden representar las condiciones en México, por lo que no deben usarse para hacer estimaciones de emisiones.

1. Cantidad total de contenidos combustibles por casa:

$$(25 \text{ kg/m}^2) \times 90 \text{ m}^2 = 2,250 \text{ kg}$$

$$= 2.25 \text{ Mg}$$

2. Emisiones totales de CO:

$$1,100 \text{ incendios} \times 0.14 \times (2.5 \text{ Mg} + 2.25 \text{ Mg}) \times (84 \text{ kg CO/Mg combustible quemado})$$

$$= 61,446 \text{ kg CO}$$

$$= 61.4 \text{ Mg CO}$$

11.3 Polvo de Caminos Pavimentados

<u>CÓDIGO DE FUENTE</u>	<u>DESCRIPCIÓN</u>
22-94-000-000	Todos los Caminos Pavimentados
22-94-005-000	Caminos Interestatales y Arterias
22-94-010-000	Todos los Demás Caminos Públicos
22-94-015-000	Caminos Industriales

DESCRIPCIÓN:

Cuando los vehículos circulan sobre las superficies de caminos pavimentados, el polvo que se ha depositado sobre la superficie pavimentada o que ha sido llevado a ésta es arrastrado por la estela turbulenta del vehículo y se emite como partículas. En la actualidad, las emisiones se calculan como una función de la carga de sedimentos de la superficie pavimentada y del peso promedio de los vehículos que circulan sobre ella. A su vez, la carga de sedimentos es función del tipo de camino. Por lo general, los caminos con altos volúmenes de tránsito tienen menores cargas de sedimentos que aquellos con bajos volúmenes. El sedimento se define como el material que atraviesa una criba de malla 200 usando el método ASTM-C-136.

Se están haciendo investigaciones adicionales para refinar el método usado actualmente para estimar emisiones. Esta sección se actualizará a medida que haya nueva información disponible. Se debe preguntar al INE cual es el método de estimación más reciente.

CONTAMINANTES: PM₁₀

GOR: No es aplicable.

AJUSTES POR FUENTES PUNTUALES: Ninguno.

METODOLOGÍA:

Para calcular un factor de emisión específico para la región se usa la siguiente ecuación empírica:

$$FE = k \left(\frac{Cs}{2} \right)^{0.65} \left(\frac{P}{3} \right)^{1.5}$$

(11.3-1)

donde:

EF	=	factor de emisión de partículas
k	=	Multiplicador del tamaño de partícula (g/VKT)
Cs	=	Carga de sedimentos en la superficie del camino (g/m ²)
P	=	Peso promedio del vehículo (Mg).

Con base en datos recopilados en EU se ha encontrado que las cargas de sedimentos tienen importantes variaciones espaciales y temporales. Para los caminos que tienen un elevado tránsito promedio diario (ADT, por sus siglas en inglés) la distribución de frecuencia de los datos disponibles da un valor de carga del tamaño de 0.4 g/m² para el percentil 50 y de 7 g/m² para el percentil 90. Los datos correspondientes para los caminos con bajo ADT son 2.5 y 25 g/m² respectivamente. Para una autopista, la carga promedio de sedimentos baja hasta 0.02 g/m² (el valor para el percentil 90 no está disponible).

Además, esta ecuación es muy aplicable para las siguientes condiciones:

Carga de sedimentos: 0.02 a 400 g/m²;
 Peso promedio del vehículo: 1.8 a 38 Mg y
 Velocidad promedio del vehículo: 16 a 88 km/hr.

Si se aplica esta ecuación en regiones con parámetros fuera de estos intervalos se obtendrán estimaciones muy inciertas. Las emisiones de polvo de caminos pavimentados se estiman usando la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones}_p = \text{FE}_p \times \text{VKT}_p \tag{11.3-2}$$

donde: Emisiones_p = Emisiones anuales de PM₁₀ del polvo de caminos pavimentados;
 FE_p = Factor de emisión de polvo de caminos pavimentados y
 VKT_p = VKT anual de caminos pavimentados.

DATOS NECESARIOS:

Datos	Fuentes
Vehículos kilómetros Recorridos (VKT)	Obtenerlo de los cálculos para el modelado de emisiones de vehículos automotores. También ver el <i>Manual de Emisiones de Vehículos Automotores</i> .
Multiplicador del tamaño de partícula (k): 4.6 g/VKT para PM ₁₀	U.S. EPA, 1995
Carga de sedimentos	Muestras locales (preferentemente por tipo de camino)
Peso promedio del vehículo	Análisis de la flotilla de vehículos automotores. Ver los datos de emisión de vehículos automotores para las características de la flotilla.

NOTAS:

1. En los Apéndices C.1 y C.2 del AP-42 se pueden encontrar métodos para determinar los datos de sedimentos específicos por región.
2. Si no es posible calcular los datos de carga de sedimentos específicos por región se pueden consultar las tablas del Apéndice V-D de este manual. Si es necesario, los datos apropiados de esta tabla se pueden extrapolar a otras regiones.
3. Si es necesario, se puede usar un valor por omisión para el peso promedio por vehículo de 2.2 Mg.

EJEMPLO DE CÁLCULO:

Las siguientes estimaciones de tránsito diario fueron calculados para una región geográfica definida: 1.1 millones VKT para autopistas; 500,000 VKT para caminos con alto ADT y 175,000 VKT para caminos con bajo ADT. Usando valores por omisión se tendría una primera aproximación de las emisiones de PM_{10} :

$$\begin{aligned} \text{Autopistas} &= (1,100,000)(4.6) \left(\frac{0.02}{2} \right)^{0.65} \left(\frac{2.2}{3} \right)^{1.5} (10^{-6})(365) \\ &= 58.1 \text{ Mg/año} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Caminos con} &= (500,000)(4.6) \left(\frac{0.4}{2} \right)^{0.65} \left(\frac{2.2}{3} \right)^{1.5} (10^{-6})(365) \\ \text{Alto ADT} &= 185.2 \text{ Mg/año} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Caminos con} &= (175,000)(4.6) \left(\frac{2.5}{2} \right)^{0.65} \left(\frac{2.2}{3} \right)^{1.5} (10^{-6})(365) \\ \text{Bajo ADT} &= 213.3 \text{ Mg/año} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Emisiones} &= 58.1 + 185.2 + 213.3 \\ \text{Totales} &= 456.5 \text{ Mg/año} \end{aligned}$$

11.4 Polvo de Caminos No Pavimentados

CÓDIGO DE FUENTE DESCRIPCIÓN

22-96-000-000	Todos los caminos sin pavimentar
22-96-005-000	Caminos públicos sin pavimentar
22-96-010-000	Caminos industriales sin pavimentar

DESCRIPCIÓN:

Cuando los vehículos circulan sobre las superficies de los caminos sin pavimentar el polvo que contienen es arrastrado por la estela turbulenta del vehículo y es emitido como partículas. En el momento en que los vehículos pasan sobre la superficie la fuerza de las ruedas muele el material del camino en partículas más pequeñas reponiendo así parcialmente el contenido de sedimentos del camino.

Las emisiones se estiman como una función del volumen de tránsito, del contenido de sedimentos en la superficie sin pavimentar, de la velocidad de los vehículos, del número promedio de ruedas y del peso promedio de los vehículos que transitan sobre la superficie y del número de días con una precipitación superior a los 0.254 mm. El contenido de sedimentos, definido como partículas con un tamaño inferior a 75 micrómetros varía espacialmente y por tipo de camino (e. g., los caminos de grava tienen un contenido de sedimentos diferente al de los caminos de terracería). El contenido de sedimentos de un camino se determina midiendo la proporción de polvo superficial seco y suelto que pasa a través de una criba de malla 200 usando el método ASTM-C-136.

CONTAMINANTES: PM₁₀

GOR: No es Aplicable.

AJUSTES POR FUENTES PUNTUALES: Ninguno.

METODOLOGÍA:

La siguiente ecuación empírica se usa para calcular un factor de emisión específico para un sitio:

$$FE = k(1.7) \left(\frac{s}{12} \right) \left(\frac{v}{48} \right) \left(\frac{P}{2.7} \right)^{0.7} \left(\frac{r}{4} \right)^{0.5} \left(\frac{365 - p}{365} \right) \quad (11.4-1)$$

donde: FE = Factor de emisión (kg/VKT);
 k = Multiplicador del tamaño de partícula (adimensional);
 s = Contenido de sedimentos del material de la superficie del camino (%);
 v = Velocidad promedio del vehículo (km/hr);
 P = Peso promedio del vehículo (Mg);
 r = Número promedio de ruedas y
 p = Número de días con una precipitación > 0.25 mm.

En algunos estudios previos hechos en los EU se ha encontrado que la carga de sedimentos de caminos sin pavimentar varía significativamente. Por ejemplo, en los caminos de terracería se han observado valores del contenido de sedimentos del 1.6 al 68% con un valor medio de 12%. Siempre que sea posible es deseable obtener muestras locales y medirles el contenido de sedimentos.

Además, la ecuación empírica presentada anteriormente es muy aplicable en las siguientes condiciones:

Contenido de sedimentos: 4.3 a 20%;
 Peso promedio del vehículo: 2.7 a 142 Mg;
 Velocidad promedio del vehículo: 21 a 64 km/hr y
 Número promedio de ruedas: 4 a 13.

Al aplicar esta ecuación en regiones con parámetros fuera de estos límites se obtendrán estimaciones sumamente inciertas. Las emisiones de polvo de caminos sin pavimentar se estiman usando las siguientes ecuaciones:

$$\text{Emisiones}_{sp} = FE_{sp} \times VKT_{sp} \tag{11.4-2}$$

donde: $Emisiones_{sp}$ = Emisiones anuales de PM_{10} del polvo de caminos sin pavimentar;
 FE_{sp} = Factor de emisión de polvo de un camino sin pavimentar y
 VKT_{sp} = VKT anual de un camino sin pavimentar.

DATOS NECESARIOS:

Datos	Fuentes
Vehículos Kilómetros Recorridos (VKT)	Datos locales de uso de vehículos. También ver el Manual de Emisiones de Vehículos Automotores
Multiplicador del tamaño de partícula(k): 0.36	U.S. EPA, 1995
Contenido de sedimentos	Muestras locales (de preferencia, por tipo de camino)

Datos	Fuentes
Peso promedio del vehículo	Análisis de la flotilla de vehículos automotores; ver los datos de modelado de emisiones de vehículos automotores para las características de la flotilla.
Velocidad promedio del vehículo	Observación de las velocidades locales
Número promedio de ruedas	Análisis de la flotilla de vehículos automotores; ver los datos de modelado de emisiones de vehículos automotores para las características de la flotilla.

NOTAS:

1. Los métodos para determinar los datos de sedimentos específicos para un sitio se pueden encontrar en los Apéndices C.1 y C.2 del AP-42.
2. Si no es posible calcular los datos de carga de sedimentos específicos para un sitio se pueden usar los siguientes valores por omisión. Camino rural de grava: de 5.0 a 13% con un valor promedio de 8.9%. Camino rural de terracería: de 1.6 a 68% con un valor promedio de 12%. Camino municipal sin pavimentar: de 0.4 a 13% con un valor promedio de 5.7%. En el AP-42 se pueden encontrar otros valores adicionales para caminos industriales.
3. Como valor por omisión se puede usar un peso promedio del vehículo de 2.2 Mg.

EJEMPLO DE CÁLCULO:

Para una región geográfica definida el VKT anual para caminos municipales sin pavimentar se estima en 2.3 millones VKT. Además, se estima que el 80% de este VKT ocurre en caminos de grava y el 20% en caminos rurales de terracería. La velocidad promedio en los caminos de grava es de 20 km/hr mientras que en los caminos rurales de terracería es de 10 km/hr. Anualmente hay 20 días con una precipitación superior a 0.25 mm. Usando los valores por omisión se obtiene una primera aproximación para las emisiones de PM₁₀ de:

$$\begin{aligned}
 &\text{Caminos de Grava} \\
 &= (2.3 \times 10^6 \text{ VKT}) (0.80) (0.36) (1.7) \left(\frac{8.9}{12} \right) \left(\frac{20}{48} \right) \left(\frac{2.2}{2.7} \right)^{0.7} \left(\frac{5}{4} \right)^{0.5} \left(\frac{365 - 20}{365} \right) (10^{-3}) \\
 &= 319 \text{ Mg}
 \end{aligned}$$

Caminos de terracería

$$= (2.3 \times 10^6) (0.20) (0.36) (1.7) \left(\frac{12}{12} \right) \left(\frac{10}{48} \right) \left(\frac{2.2}{2.7} \right)^{0.7} \left(\frac{4}{4} \right)^{0.5} \left(\frac{365 - 20}{365} \right) (10^{-3})$$

$$= 48 \text{ Mg}$$

$$\text{Emisiones Totales} = 319 + 48$$

$$= 367 \text{ Mg/año}$$

11.5 Erosión Eólica

CODIGO DE FUENTE: 27-30-100-000

DESCRIPCIÓN:

Durante los periodos de vientos de alta velocidad, las partículas pequeñas de polvo pueden ser arrastradas por el viento y emitidas a la atmósfera como partículas. Por lo general, estas emisiones se asocian con suelos perturbados, como los campos agrícolas en cultivo o grandes sitios de construcción. Además, las emisiones pueden originarse en terrenos baldíos, en cunetas que contienen tierra suelta y en caminos sin pavimentar. Los suelos naturales que no han sido perturbados se consideran fuentes despreciables de polvo movido por el viento. De manera gradual, las fuentes que no se perturban de manera periódica pierden su capacidad para emitir polvo movido por el viento.

CONTAMINANTES: PM₁₀

GOR: No es Aplicable.

AJUSTES POR FUENTES PUNTUALES: Ninguno

METODOLOGÍA:

La técnica actual de estimación de emisiones para esta categoría se basa en una versión modificada de la ecuación de erosionabilidad del suelo desarrollada por el Departamento de Agricultura de los EU (USDA por sus siglas en inglés) (U.S. EPA, 1977). La siguiente ecuación presenta el enfoque modificado del USDA:

$$E_s = (FS) I C K L' V' \quad (11.5-1)$$

donde: E_s = Factor de emisión de partículas suspendidas (ton/acre/año);
 FS = Fracción de las pérdidas totales por erosión del viento medidas como partículas suspendidas;
 I = Erosionabilidad del suelo (ton/acre/año)
 C = Factor climático (adimensional);
 K = Factor de rugosidad de la superficie (adimensional);
 L' = Factor de amplitud del campo sin protección (adimensional) y
 V' = Factor de cobertura vegetal (adimensional).

Fracción de la Pérdida por Erosión del Viento - FS

Este término representa la fracción de las pérdidas por erosión del viento que serían medidas como partículas suspendidas. Una determinada cantidad de suelo se “arrastra” sobre la superficie y no es suspendida en la atmósfera como una fuente de emisión. Por lo general se supone un valor de 2.5% para los suelos agrícolas y se usa un valor de 3.8% para los caminos sin pavimentar y para otras áreas. De la cantidad suspendida, alrededor del 50% son PM₁₀.

Erosionabilidad del Suelo - I

El factor de erosionabilidad del suelo es función de la textura o tipo de suelo. El tipo de suelo se obtiene de los mapas de suelos del área. En una región de inventario puede haber uno o más tipos de suelo por lo que habría diferentes grados de erosionabilidad en diferentes partes de la región. Debido a una falta de información sobre los límites correspondientes al área de cada tipo de suelo, por lo general el factor de erosionabilidad se basa en el tipo de suelo predominante en la región del inventario. La Tabla 11.5-1 enlista los factores de erosionabilidad (I) para 12 tipos predominantes de suelo.

Factor Climático - C

El factor climático C depende de la velocidad del viento y de la humedad de la superficie del suelo. La tasa de movimiento del suelo varía directamente con la velocidad del viento e inversamente con la humedad de la superficie y se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$C = \frac{(0.345)V^3}{\left[115 \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{PM_i}{TM_i - 10} \right)^{10/9} \right]^2} \quad (11.5-1)$$

donde: V = Velocidad media anual del viento (mph), corregida a 30 pies;
 PM = Precipitación mensual en pulgadas y
 TM = Temperatura promedio mensual en grados Fahrenheit (considerada igual a 28.4° si es inferior a 28.4°).

El factor climático, más que cualquier otro en la ecuación del polvo levantado por el viento, se hace menos exacto a medida que se aplica un valor promediado a las áreas más pequeñas y a períodos de tiempo más cortos. También es importante señalar que, a valores equivalentes para los otros parámetros, un viento de 100 mph arrastra 125 veces más partículas en una hora que un viento de 20 mph. De esta manera, un año con severas tormentas de viento puede tener emisiones de polvo arrastrado por el viento cuatro o cinco veces más grandes que las de un año sin dichas tormentas.

La velocidad del viento también es un parámetro importante para calcular estimaciones temporales de emisión. La velocidad promedio del viento no puede usarse con este propósito debido a que en la ecuación está elevada al cubo.

Este punto se demuestra en el siguiente ejemplo:

Area A: Velocidad del viento = 10 mph durante el 100% del tiempo
 Area B: Velocidad del viento = 40 mph durante 25% del tiempo
 0 mph durante 75% del tiempo

Ambas áreas tienen una velocidad numérica promedio del viento de 10 mph. En la ecuación 11.5-2 el término de la velocidad del viento para el Area A tiene el valor de:

$$(10 \text{ mph})^3 \times 100\% = 1,000$$

Mientras que el término de la velocidad del viento para el Area B es:

$$[(40 \text{ mph})^3 \times 25\%] + [(0 \text{ mph})^3 \times 75\%] = 16,000$$

Por lo tanto, si bien ambas áreas tienen la misma velocidad promedio de viento, en realidad el Area B sufriría 16 veces más erosión del viento que el Area A. Por esta razón el Servicio de Conservación de Suelos de los (EU U.S. *US Soil Conservation Service*) pondera sus factores C de corto plazo con la fracción de la velocidad de la energía media anual del viento durante el periodo de tiempo en cuestión. La velocidad de la energía media (V_e) para un periodo de tiempo en el que se tomaron "n" mediciones de la velocidad del viento (V) a intervalos iguales está dada por:

$$V_e = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (v_i)^3}{n} \right)^{1/3} \quad (11.5-3)$$

Al calcular las emisiones de polvo levantado por el viento de la Cuenca Atmosférica del Desierto del Sureste de California, la EPA estimó por separado las emisiones resultantes de cada velocidad del viento medida (Ono y Bird, 1987). Este método es matemáticamente análogo a utilizar la velocidad de la energía media. La técnica de ponderar la velocidad de la energía media debe usarse sólo como lo hace el *U.S. Soil Conservation Service* si se requieren estimaciones calculadas en base temporal.

Además al despreciar los efectos de la irrigación en regiones áridas da como resultado un factor C de hasta un orden de magnitud más alto para algunos tipos de cultivo. El método preferido consiste en modificar el factor C de cada región para cada cultivo. Esto implica la recopilación de datos sobre la cantidad promedio de agua de riego que se requiere para hacer crecer cada cultivo en cada suelo y en cada área de temperatura. Esta agua de riego se suma al valor de la precipitación pluvial usado para calcular el factor C.

Factor de Rugosidad del Suelo - K

El factor de rugosidad de la superficie K toma en cuenta la resistencia al viento que sopla sobre los cerros, surcos o las grandes glebas en un campo. Para las áreas regionales, K es función del tipo de cultivo debido a que las técnicas de preparación del campo son relativamente uniformes para un cultivo específico. Algunos valores de K se presentan en la Tabla 11.5-2. Dado que esta Tabla enlista solamente un número limitado de cultivos, se debe asignar a algunos otros el mismo valor que tienen los que están en la lista basándose en el tipo de cultivo.

Para caminos sin pavimentar, el valor de K se toma como igual a 1.0 (i. e., existe un número mínimo de surcos y glebas en los caminos sin pavimentar).

Factor de amplitud del Campo sin Protección - L'

La erosión del suelo a través de un campo está directamente relacionada con la amplitud no protegida en la dirección del viento dominante. Conociendo esta amplitud (L) y la erosionabilidad de la superficie (IK) el factor L' se obtiene usando la gráfica de la Figura 11.5-1 (U.S. EPA, 1977). Los valores de L para algunos cultivos comunes se enlistan en la Tabla 11.5-2.

Existe una situación similar para los caminos sin pavimentar. El valor real de L varía con el ángulo del viento respecto al camino. En el largo plazo, se puede suponer que la L' para una superficie de camino dada en la dirección del viento dominante varía de manera continua. Para evaluar un factor promedio de la distancia efectiva se puede suponer que, en el largo plazo, la dirección del viento se distribuye de igual manera para todos los caminos. Cualquier error en esta suposición se compensa por la probable suposición de que todos los caminos están distribuidos en todas las diferentes direcciones. Con estas suposiciones L' se vuelve función de IK como se muestra a continuación:

IK	L' Promedio
40	0.29
60	0.32
80	0.34

Factor de Cobertura Vegetal - V'

La cubierta vegetal en los campos agrícolas, como por ejemplo los residuos del cultivo (rastros o el estiércol con paja) durante periodos que no sean la estación principal de cultivo reduce en gran medida la erosión del suelo por el viento. El factor V' es la fracción de pérdida anual de suelo debida a que el campo tiene una cubierta vegetal. Ésta se estima a partir de la figura 11.5-2 (U.S. EPA, 1977). La cantidad de cubierta vegetal V es la cantidad en libras por acre de residuo secado al aire que queda en un campo. Los valores de V para algunos cultivos comunes se obtienen de la Tabla 11.5-2. El factor V' se obtiene de la Figura 11.5-2 conociendo los valores de I, K, C, L, y V.

Para caminos sin pavimentar, V' es igual a 1.0.

DATOS NECESARIOS:

Datos	Fuentes
Datos Meteorológicos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) 2. Centro Meteorológico Nacional y Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) 3. Servicio Meteorológico Nacional dependiente de la Comisión Nacional del Agua.
Area de cultivo en acres	SAGAR, INEGI

NOTAS:

1. Se piensa que la técnica de estimación de emisiones que se presenta aquí puede dar resultados muy inciertos y posiblemente engañosos. En la actualidad la EPA está auspiciando el desarrollo de una nueva metodología para esta fuente de emisiones.

EJEMPLO DE CÁLCULO:

Determinar las emisiones de polvo levantado por el viento de un área en la que se cultivan 1,000 acres de tomates. Se ha determinado que el suelo es de tierra negra arenosa. Se ha calculado que el factor climático (C) es de 0.30 (incluyendo la irrigación).

A partir de la Tabla 11.5-1 la erosionabilidad (I) es de 86 ton/acre/año. De la Tabla 11.5-2 se toman los valores de (K), (L) y (V) para verduras:

- K = 0.6;
- L = 500 pies y
- V = 100 lb/acre.

El producto de (IK) es 52. Usando este valor de (IK) y con (L) igual a 500 pies se obtiene un valor de (L') igual a 0.57 basado en la información presentada en la Figura 11.5-1.

Para determinar (V') primero hay que calcular el producto de (IKCL') que es igual a 8.9. En la Figura 11.5-2 se lee que V' es aproximadamente igual a 0.85. Con base en estos datos las emisiones anuales de partículas suspendidas por acre son:

$$\begin{aligned}
 E_s &= FS I CK L' V' \\
 &= (0.025) (86) (0.30) (0.6) (0.57) (0.85) \\
 &= 0.19 \text{ ton/acre/año}
 \end{aligned}$$

Las emisiones anuales de PM₁₀ son:

$$\begin{aligned}
 EE &= (\text{Área}) (E_s) (0.50) \\
 &= (1,000) (0.19) (0.50) \\
 &= 95 \text{ ton/año de PM}_{10}
 \end{aligned}$$

Tabla 11.5-1
Factores de Erosionabilidad
para Varias Clases de Textura de Suelo

Clase de Textura de Suelo Predominante	Erosionabilidad I, ton/acre/año
Arena ^a	220
Arena con tierra negra ^a	134
Tierra negra arenosa ^a	86
Arcilla	86
Arcilla sedimentosa	86
Tierra negra	56
Tierra negra con arcilla arenosa ^a	56
Arcilla Arenosa ^a	56
Tierra negra con sedimentos	47
Tierra negra con arcilla	47
Tierra negra con arcilla sedimentosa	38
Sedimentos	38

^a Arena muy fina, fina o mediana.

Fuente: U.S. EPA, 1977

Tabla 11.5-2**Valores de K, L y V para algunos Cultivos Comunes**

Cultivo	K	L, ft	V, lb/acre
Alfalfa	1.0	1,000	3,000
Cebada	0.6	2,000	1,100
Frijoles	0.5	1,000	250
Maíz	0.6	2,000	500
Algodón	0.5	2,000	250
Heno de grano	0.8	2,000	1,250
Avena	0.8	2,000	1,250
Cacahuates	0.6	1,000	250
Papas	0.8	1,000	400
Arroz	0.8	1,000	1,000
Centeno	0.6	2,000	1,250
Cártamo	1.0	2,000	1,500
Sorgo	0.5	2,000	900
Soya	0.6	2,000	250
Betabel	0.6	1,000	100
Verduras	0.6	500	100
Trigo	0.6	2,000	1,350

Fuente: U.S. EPA, 1977

11.6 Emisiones Domésticas de Amoníaco

CODIGO DE FUENTE	DESCRIPCIÓN
27-10-020-020	Perros
27-10-020-010	Gatos
28-10-010-000	Respiración humana
28-10-010-000	Transpiración humana
28-10-010-000	Uso Doméstico de Amoníaco
28-10-060-000	Humo de Cigarrillos
28-10-010-000	Pañales
28-10-010-000	Desechos Humanos - Indigentes
28-10-010-000	Desechos Humanos - Otros

DESCRIPCIÓN:

Esta categoría consiste de diversas fuentes domésticas de amoníaco (NH₃) incluyendo los desechos de mascotas, la transpiración y la respiración humanas, el uso doméstico de amoníaco, el humo de cigarrillos y los desechos humanos sin tratar. A nivel individual, las emisiones de estas fuentes son relativamente pequeñas. Sin embargo, a nivel colectivo, podrían ser significativas.

CONTAMINANTES: NH₃

GOR: No es Aplicable.

AJUSTES POR FUENTES PUNTUALES: Ninguno.

METODOLOGÍA:

Las estimaciones de emisiones de amoníaco producidas por las mascotas (perros y gatos) se pueden hacer usando la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones}_p = \text{Población} \times \text{PM}_p \times \text{FE}_p \quad (11.6-1)$$

donde:

Emisiones _p	=	Emisiones anuales para el tipo de mascota p;
Población	=	Población total en la región;
PM _p	=	Proporción de mascotas (número de mascotas por 1,000 habitantes) para el tipo de mascota p y
FE _p	=	Factor de emisión para el tipo de mascota p.

En la Tabla 11.6-1 se presentan algunas proporciones de mascotas por habitante que son típicas para los EU. Estos son los únicos datos disponibles que existen. En la medida de lo posible se deben calcular datos específicos para México que se usen para reemplazar estos valores.

Tabla 11.6-1**Proporciones Típicas de Mascotas para Varias Regiones**

Tipo de Región	Proporción - Perros (mascotas/1,000 habitantes)	Proporción - Gatos (mascotas/1,000 habitantes)	Referencia
Urbana (> 800,000 habitantes)	122	83	Coe <i>et al</i> , 1996
Suburbana (200,000-800,000 habitantes)	167	111	
Rural (< 200,000 habitantes)	220	133	

Las emisiones de amoníaco provenientes de cigarrillos se pueden estimar usando la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones} = \text{Cigarrillos} \times \text{FE} \quad (11.6-2)$$

donde : Cigarrillos = Número de cigarrillos vendidos en la región.

Para todos los demás tipos de fuentes de amoníaco, las emisiones pueden estimarse usando la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones}_s = \text{Población}_s \times \text{FE}_s \quad (11.6-3)$$

donde: Emisiones_s = Emisiones anuales de la fuente tipo s;
Población_s = Población aplicable dentro de la región para la fuente tipo s (población global para la transpiración y la respiración humanas, uso doméstico de amoníaco y para desechos humanos [otros]; población humana indigente para desechos humanos [indigentes] y niños menores de 3 años para pañales) y
FE_s = Factor de emisión para la fuente tipo s.

DATOS NECESARIOS :

Datos	Fuentes
Población Global	INEGI
Población Indigente	INEGI o funcionarios locales
Población (menor de 3 años)	INEGI
Proporción de Mascotas	Tabla 11.6-1
Número de cigarrillos vendidos	INEGI o funcionarios locales
Factores de emisión:	Radian, 1991
Perros 2.49 kg/cabeza-año	
Gatos 0.82 kg/cabeza-año	
Cigarrillos 5.2 mg/cigarrillo	
Transpiración humana 0.25 kg/persona-año	
Respiración humana 0.0016 kg/persona-año	
Uso doméstico de amoníaco 0.023 kg/persona-año	
Pañales (tela) 3.13 kg/infante-año	
Pañales (desechables) 0.16 kg/infante-año	
Desechos Humanos (indigentes) 4.99 kg/persona-año	
Desechos Humanos (otros) 0.023 kg/persona-año	

NOTAS:

1. Las proporciones de mascotas presentadas en la Tabla 11.6-1 se basan en los estudios de poblaciones de perros y gatos realizados en California durante los años 70. Estas proporciones podrían no ser aplicables para México. Se pueden obtener nuevas estadísticas para México en los consultorios veterinarios o a través de encuestas. Para revisar la metodología de encuestas ver el *Manual de Técnicas Básicas de Estimación de Emisiones*.
2. El uso de pañales desechables ha aumentado de manera significativa en las ciudades y áreas urbanas de México, mientras que los pañales de tela se usan todavía de manera considerable en las áreas rurales.

EJEMPLO DE CALCULO:

Estimar las emisiones anuales totales de amoníaco de un municipio con 175,000 habitantes (definido como un área rural en la Tabla 11.6-1).

Suponer que el 15% de la población fuma un promedio de 20 cigarrillos/día. Suponer que los niños representan el 3% de la población y que todos ellos usan pañales desechables. Finalmente, suponer que no hay indigentes.

Perros: La proporción de mascotas para las áreas rurales es de 220 perros por 1,000 habitantes

$$\text{Emisiones} = (175,000 \text{ hab.}) \left(\frac{220 \text{ perros}}{1,000 \text{ hab.}} \right) \left(\frac{2.49 \text{ kg de NH}_3}{\text{Perros-año}} \right) = 95,865 \text{ kg}$$

Gatos: La proporción de mascotas para las áreas rurales es de 133 gatos por 1,000 habitantes.

$$\text{Emisiones} = (175,000 \text{ hab.}) \left(\frac{133 \text{ gatos}}{1,000 \text{ hab.}} \right) \left(\frac{0.82 \text{ kg}}{\text{gato-año}} \right) = 19,086 \text{ kg}$$

Cigarrillos:

$$\text{Emisiones} = (175,000 \text{ hab.})(0.15) \left(\frac{20 \text{ cigarrillos}}{\text{día}} \right) \left(\frac{365 \text{ días}}{\text{año}} \right) \left(\frac{5.2 \text{ mg}}{\text{cigarrillo}} \right) = 996 \text{ kg}$$

Transpiración Humana:

$$\text{Emisiones} = (175,000 \text{ hab.}) \left(\frac{0.25 \text{ kg}}{\text{persona-año}} \right) = 43,750 \text{ kg}$$

Respiración Humana:

$$\text{Emisiones} = (175,000 \text{ hab.}) \left(\frac{0.0016 \text{ kg}}{\text{persona-año}} \right) = 280 \text{ kg}$$

Uso Doméstico de Amoníaco:

$$\text{Emisiones} = (175,000 \text{ hab.}) \left(\frac{0.023 \text{ kg}}{\text{persona-año}} \right) = 4,045 \text{ kg}$$

Pañales (Desechables):

$$\text{Emisiones} = (175,000 \text{ hab.}) (0.03) \left(\frac{0.16 \text{ kg}}{\text{persona-año}} \right) = 840 \text{ kg}$$

Residuos Humanos (Otros):

$$\text{Emisiones} = (175,000 \text{ hab.}) \left(\frac{0.023 \text{ kg}}{\text{persona-año}} \right) = 4,045 \text{ kg}$$

Emisiones de Amoniaco Totales

$$= 95,865 + 19,086 + 996 + 43,750 + 280 + 4,025 + 840 + 4,025$$

$$= 168,867 \text{ kg/año}$$

$$= 168.9 \text{ Mg/año}$$

12.0 REFERENCIAS

Documentos

Adams, L., 1992. Memorandum de Lucy Adams, Radian Corporation, a SIP Inventory Preparers y Regiones de la EPA. Información necesaria para desarrollar los GOR estimados para panaderías.

Air Resources Board (ARB), 1995. Emission Inventory Procedural Manual, Volume III: Methods for Assessing Area Source Emissions. Stationary Source Emission Inventory Branch, Sacramento, California.

Air World, 1990. Turbine-Engined Fleets of the World's Airlines 1990. Air World, Volume 42, Number 2.

Alvarado, 1996. Comunicación personal entre Ernesto Alvarado (Universidad de Washington) y Ron Dickson (Radian International).

AP-42, 1985. Compilation of Air Pollution Emission Factors - Volumes 1 and 2: Stationary Point and Area Sources and Mobile Sources, Fourth Edition. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Carolina. AP-42.

AP-42, 1993. Compilation of Air Pollution Emission Factors - Volume 1: Stationary Point and Area Sources, Fourth Edition, Supplement F. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Carolina. AP-42.

AP-42, 1995. Compilation of Air Pollution Emission Factors - Volume 1: Stationary Point and Area Sources, Fifth Edition. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Carolina.

Ashbaugh, 1996. Comunicación personal entre Lowell Ashbough (Universidad de California en Davis) y Marty Wolf (Radian International).

Battye, R., W. Battye, C. Overcash, and S. Fudge, 1994. Development and Selection of Ammonia Emissions Factors. Final Report. Prepared for U.S. Environmental Protection Agency, Atmospheric Research and Exposure Assessment Laboratory by EC/R Incorporated, Durham, North Carolina.

Clausnitzer, H., and M.J. Singer, 1996. "Respirable-Dust Production from Agricultural Operations in the Sacramento Valley, California." *Journal of Environmental Quality*, Volume 25, Number 4, pages 877-884.

Coe, D.L., H.H. Main, L.R. Chinkin, C. Loomis, and J. Wilkinson, 1996. Review of Current Methodologies for Estimating Ammonia Emissions. Draft Final Report. Prepared for California Air Resources Board by Sonoma Technology, Inc., Santa Rosa, California and Alpine Geophysics, Golden, Colorado.

Cowherd, Chatten, Jr. et al., 1974. Development of Emission Factors for Fugitive Dust Sources. EPA 450/3-74-037, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina, June.

CRC, 1985. CRC Handbook of Chemistry and Physics, 1985-1986. 66th edition. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.

Deeming, J.E., and J.D. Cohen, 1982. The National Fire Danger Rating System: Basic Equations. General Technical Report PSW-82. USDA Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, Berkeley, California.

Departamento del Distrito Federal (DDF), 1995a. Inventario de Fuentes de Area - Precursores de Ozono y CO para la Zona Metropolitana de la Cd. de México. Departamento del Distrito Federal, Ciudad de México, México. Enero.

Departamento del Distrito Federal (DDF), 1995b. Elaboración de Factores de Emisión Per Cápita para la Ciudad de México. Memorandum de la Ing. Guillermina Barrera Zaragoza a la Ing. Margarita Juárez. Información sobre el desarrollo de factores de emisión per cápita para el uso de solventes. Abril.

Departamento del Distrito Federal (DDF), 1996a. Inventario de Fuentes de Area - Precursores de Ozono y Monóxido de Carbono para la Zona Metropolitana de la Cd. de México-1995.

Departamento del Distrito Federal (DDF), 1996b. Comunicación personal entre el staff del DDF y Enrique Nava (Corporación Radian).

Departamento del Distrito Federal (DDF) *et al.*, 1996. DDF, GEM, SEMARNAP, SSA. Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000.

Federal Aviation Administration (FAA), 1991. Federal Aviation Administration Aircraft Engine Emission Database (FAAED). U.S. Department of Transportation, Office of Environment and Energy, Washington, DC.

Hardy, C.C., R.E. Burgan, and R.D. Ottmar, 1997. "A Database for Spatial Assessments of Fire Characteristics, Fuel Profiles, and PM₁₀ Emissions." *Journal of Sustainable Forestry*, 1997 (en prensa).

Instituto Nacional de Ecología (INE), 1994. Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente 1993-1994. Instituto Nacional de Ecología, México, D. F.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1993. Catálogo de Productos (para información sobre las diversas publicaciones del INEGI). México, D. F.

Meister, 1992. Farm Chemicals Handbook - 1992, Meister Publishing Company, Willoughby, Ohio.

Monroy, 1996. Comunicación personal entre Gerardo Monroy (Arizona Department of Environmental Quality) y Marty Wolf (Radian International).

MRI, 1996. Improvement of Specific Emission Factors (BACM Project No.1). Final Report. Prepared for South Coast Air Quality Management District by Midwest Research Institute, Kansas City, Missouri.

Nava, E., 1996. Memorándum de Enrique Nava, Corporación Radian, a Marco Zarate, Lynn Creelman, Laura Markovich y Ron Dickson, Radian Corporation. Información recopilada para soportar el desarrollo de documentos guía para inventarios.

Ono, D., and A. Bird, 1987. Effects of a PM₁₀ Rural Fugitive Dust Policy on California's Southeast Desert Air Basin. U.S. Environmental Protection Agency, Region IX, San Francisco, California. Revised February 16, 1987.

Ottmar, R.D., M.F. Burns, J.N. Hall, and A.D. Hanson, 1993. CONSUME Users Guide. General Technical Report PNW-GTR-304. USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, Oregon.

Petróleos Mexicanos (PEMEX), 1996. Presentation intitulada "Contribución del Gas Licuado de Petróleo a la Contaminación Ambiental de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México", Gas y Petroquímica Básica. Septiembre.

Radian, 1991. Development of the Ammonia Emission Inventory for the Southern California Air Quality Study. Draft Final Report. Prepared for the Electric Power Research Institute by Radian Corporation, Sacramento, California.

Radian, 1995. Field Measurement of Greenhouse Gas Emission Rates and Development of Emission Factors for Wastewater Treatment. Prepared for Environmental Protection Agency by Radian Corporation, Austin, Texas.

Radian, 1996. Development of Mobile Emissions Factor Model for Ciudad Juárez, Chihuahua. Prepared for the Texas Natural Resources Conservation Commission, Air Quality Planning Division by Radian International LLC, Austin, Texas. August.

Sacramento Bee, 1995a. *Bottled Gas a Big Mexico City Polluter?* August 18.

Sacramento Bee, 1995b. *NAFTA Can't Force Mexico to Improve.* February 24.

SCAQMD, 1997. Draft Charbroiling Emission Results. Prepared for South Coast Air Quality Management District by University of California Riverside, College of Engineering - Center for Environmental Research and Technology.

Schmidt, C.E., and E. Winegar, 1996. Results of the Measurement of PM₁₀ Precursor Compounds (PM₁₀ PCs) from Dairy Industry Livestock Waste: Summer Testing Event (9/26/95 - 10/7/95). Revised Draft #2. Prepared for South Coast Air Quality Management District by C.E. Schmidt, Red Bluff, California and Air Toxics Limited, Folsom, California.

Sosa, G., 1995. Determinaciones de la Altura de Mezclado para la Ciudad de México. Presentado en el Simposio de Contaminación Atmosférica, 25 y 26 de Mayo, Aula Magna de El Colegio Nacional.

Summit, G.D., C.S. Lighty, W.H. McClennen, A. Kozinski, and C. Diaz-Quiz, 1996. Characterization of Pollutant Emissions from Waste Burning in Residential heaters of the U.S./Mexico Border Region. Report prepared for the Southwest Center for Environmental Research and Policy (SCERP) by researchers at the University of Utah and El Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez.

U.S. Department of Transportation, 1996. Geographic Information System (GIS) National Transportation Atlas. Available through the World Wide Web at <http://www.bts.gov>.

U.S. EPA, 1977. Guideline for Development of Control Strategies in Areas with Fugitive Dust Problems. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Carolina. EPA-450/2-77-029.

U.S. EPA, 1989. Procedures for Emission Inventory Preparation. Volume IV: Mobile Sources. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air and Radiation, Research Triangle Park, North Carolina, and Office of Mobile Sources, Ann Arbor, Michigan. EPA-450/4-81-026d (Revised). 1989 Revision.

U.S. EPA, 1991a. Procedures 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. Nonroad Engine and Vehicle Emission Study Report. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Mobile Sources, Ann Arbor, Michigan. EPA-21A-2001.

U.S. EPA, 1992a. Procedures for Emission Inventory Preparation. Volume IV: Mobile Sources. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air and Radiation, Research Triangle Park, North Carolina, and Office of Mobile Sources, Ann Arbor, Michigan. EPA-450/4-81-026d (Revised). 1992 Revision.

U.S. EPA, 1992b. Example Documentation Report for 1990 Base Year Ozone and Carbon Monoxide State Implementation Plan (SIP) Emissions Inventories. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Carolina.

U.S. EPA, 1993. MOBILE5 Information Sheet #2: Estimating Idle Emission Factors Using MOBILE5 U.S. Environmental Protection Agency, National Vehicle Fuels & Emissions Laboratory, Air Quality Analysis Branch, Ann Arbor, Michigan. July 30.

U.S. EPA, 1994. MOBILE5a User's Guide. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Mobile Sources, Ann Arbor, Michigan.

U.S. EPA, 1995. PART5 User's Guide. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Mobile Sources, Ann Arbor, Michigan.

U.S. EPA, 1996a. Consumer and Commercial Solvent Use, prepared by Eastern Research Group.

U.S. EPA, 1996b. Emission Inventory Improvement Program (EIIP). Area Sources Preferred and Alternative Methods. Volume III. Available from the U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Emission Factor and Inventory Group, Research Triangle Park, North Carolina. Telephone: 919-541-5285. Internet: <http://ttnwww.rtpnc.epa.gov>.

Valenzuela, V., 1996. Sample calculation by Victor Valenzuela, Texas Natural Resource Conservation Commission (TNRCC) to develop emission estimates from Mexico brick manufacturing.

Ward, D.E., J.L. Peterson, and W. Hao, 1993. "An Inventory of Particulate Matter and Air Toxic Emissions from Prescribed Fires in the United States for 1989." Paper 93-MP-6.04. In: *Proceedings of the 86th Annual Meeting and Exhibition of the Air & Waste Management Association, June 13-18, 1993, Denver, Colorado*. Air & Waste Management Association, Pittsburgh, Pennsylvania.

Wauchope, R.D., et al., 1992. "The SCS/ARS/CES Pesticide Properties Database for Environmental Decision-Making," *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, Springer-Verlag, New York.

Welch, 1997. Comunicación personal entre Bill Welch (University of California Riverside, College of Engineering - Center for Environmental Research and Technology) y Marty Wolf (Radian International).

Entidades

Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA). Subgerencia de Operaciones. Edif. Torre 3er. piso. Aeropuerto Internacional de la Cd. de México. Tel. 571-36-00, Ext. 2203.

Asociación Nacional de Fabricantes de Pinturas y Tintas (ANAFAPYT) Estadísticas de Pinturas y Estadísticas de Tintas. Gabriel Mancera No. 309, Col. Del Valle. Teléfono 682-19-27; 682-77-94.

Cámara Nacional de la Industria de Lavanderías (CANALAVA). Río Danubio No.38. Col. Cuauhtémoc. Teléfono: 514-61-01; 511-38-23, Fax: 533-67-17. Presidente: Carlos Maya de Anda.

Cámara Nacional de la Industria Panificadora. Subgerencia de Comunicación. Dr. Liceaga No. 96, P.B., Col Doctores, Teléfono: 578-92-77, Ext.723, Fax: 761-89-24.

Cámara Nacional de la Industria de la Transformación (CANACINTRA). Departamento de Estudios Económicos, Av. San Antonio No. 256, Col. Ampliación Nápoles. Teléfono: 563-34-00, Ext. 218, 219.

Centro de Información sobre Contaminación del Aire (CICA). Página Electrónica en <http://www.epa.gov/oar/oaqps/cica/>.

Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de los Plaguicidas, Fertilizantes y Substancias Tóxicas (CICOPLAFEST).

Departamento del Distrito Federal (DDF).

Dirección de Control Sanitario de Riesgos Ambientales, Secretaría de Salud. San Luis Potosí No. 192. Col. Roma. México, D.F. Teléfono: 564-64-34; 584-60-30; 584-52-60; 584-61-50.

Dirección General de Puertos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), Municipio Libre No. 377, 4º piso, Ala A, Esq. Cuauhtémoc. Teléfono: 688-22-66 Ext. 4300, Fax: 605-39-87.

Ferrocarriles Nacionales de México (FNM). Subdirección General de Operación. Av. Jesús Garcia Corona No. 140. Col. Buenavista, Teléfono: 541-37-62, 327-36-00 (conmutador).

Instituto Mexicano de Petróleo (IMP)

Instituto Nacional de Ecología (INE)

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI)

PEMEX Anuario Estadístico y Memoria de Labores. Unidad Central de Coordinación Operativa, Torre Ejecutiva Piso 40, Marina Nacional No. 329. Col. Huasteca, Teléfono: 250-55-96, 531-97-00, Fax: 203-55-66.

Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR)

Secretaría de Medio Ambientes, Recursos Naturales, y Pesca (SEMARNAP)

Universidad Nacional Autónoma de Mexico (UNAM)

APENDICE V-A

CODIGOS DE CATEGORIA DE FUENTES DE AREA

APENDICE V-B

**FACTORES DE EMISION DEL QUEMADO
INDUSTRIAL, COMERCIAL
E INSTITUCIONAL DE COMBUSTIBLE**

(TOMADOS DEL AP-42)

APENDICE V-D
DATOS DE MUESTREO DE CAMINOS
PAVIMENTADOS
(TOMADOS DEL AP-42)

APENDICE V-C

**DATOS DE ACTIVIDAD Y FACTORES DE EMISION
PARA EQUIPO MOVIL QUE NO CIRCULA
POR CARRETERAS**

670-017-51-02
Marzo 31, 1997

John T. Leary
Gerente de Proyecto
Asociación de Gobernadores del Oeste
600 17th Street
Suite 1705, South Tower
Denver, CO 80202

Asunto: Entrega de la versión final del Manual para el Desarrollo de Inventarios de Emisiones de Fuentes de Area para el Proyecto de Metodología para el Inventario de Emisiones de México

Estimado John:

Anexa se encuentra una copia final del Volumen V de los Manuales para el Programa del Inventario de Emisiones de México, *Desarrollo de Inventarios de Emisiones de Fuentes Puntuales*. Este es el cuarto documento final que hemos desarrollado en nuestra serie de manuales de inventarios de emisiones. Adicionalmente, estamos entregando al INE un "master" impreso por un lado y una versión electrónica (MS Word 6.0) de este documento para facilitar cualesquier esfuerzos posteriores de reproducción y traducción.

En caso de que existieran dudas o comentarios acerca del material que se anexa por favor comuníquese conmigo al (916) 857-7467.

Atentamente

Ronald J. Dickson
Ingeniero Senior

cc: Víctor Hugo Páramo, INE (cinco copias)
Comité Asesor Binacional
José Ortega, Corporación Radian
Jim Yarbrough, U.S. EPA Región VI
Archivo del Proyecto.

Acknowledgments

The *Mexico Emissions Inventory Program Manuals* were the result of efforts by several participants. The Binational Advisory Committee (BAC) guided the development of these manuals. The members of the BAC were:

Dr. John R. Holmes, State of California Air Resources Board
Mr. William B. Kuykendal, U.S. Environmental Protection Agency
Mr. Gary Neuroth, Arizona Department of Environmental Quality
Dr. Victor Hugo Páramo, Instituto Nacional de Ecología
Mr. Gerardo Rios, U.S. Environmental Protection Agency
Mr. Carl Snow, Texas Natural Resource Conservation Commission

The Western Governors' Association (WGA) was the lead agency for this project. Mr. John T. Leary was the WGA Project Manager. Funding for the development of the workbook was received from the United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA). Radian International prepared the manuals under the guidance of the BAC and WGA.