A large white semi-trailer truck is shown in motion on a multi-lane highway, moving from left to right. The truck is blurred, indicating speed. The sky is filled with heavy, grey clouds. The road surface is asphalt with a white line marking. The overall scene suggests a focus on transportation and its environmental impact.

# Guía de elaboración y usos de inventarios de emisiones

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales  
Instituto Nacional de Ecología  
Western Governors' Association

*Guía  
de elaboración  
y usos  
de inventarios  
de emisiones*

*Guía de elaboración y  
usos de inventarios  
de emisiones*

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales  
Instituto Nacional de Ecología  
Western Governors' Association

D.R. © Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT)  
Periférico sur 5000. Col. Insurgentes Cuicuilco,  
C.P. 04530. México, D.F. [www.ine.gob.mx](http://www.ine.gob.mx)

Priemra edición: mayo de 2005

FORMACIÓN: Jorge Martinez Castillejos  
DISEÑO DE LA PORTADA: Raúl Marcó del Pont  
FOTO DE PORTADA: Ron Niebrugge

ISBN 968-817-569-2

Impreso y hecho en México

# CONTENIDO

---

PREFACIO	11
ACRÓNIMOS Y SIMBOLOGÍA	15
1. INTRODUCCIÓN	25
2. MARCO LEGAL Y NORMATIVO	29
2.1 Fundamentos constitucionales	29
2.2 La Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) y sus Reglamentos en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera y de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC)	30
2.3 Marco Institucional	34
2.3.1 Estructura administrativa y de gestión	34
2.3.2 Distribución de fuentes de emisión en ámbitos de jurisdicción federal, estatal y minicipal, y concurrencia para la elaboración de inventarios	38
2.4 Normas de calidad del aire y de emisiones	45
2.5 Sistema integrado de regulación y gestión ambiental de la industria	47
2.5.1 Licencia Ambiental Única (LAU)	47

2.5.2	Cédula de Operación Anual (COA)	48
2.5.3	Programa Voluntario de Gestión Ambiental (PVG) y Programa Nacional de Auditoria Ambiental	49
2.5.4	Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC)	51
3.	PLANEACIÓN Y GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE Y USOS DE LOS INVENTARIOS DE EMISIONES	53
3.1	El proceso de planeación y gestión de la calidad del aire	53
3.2	Usuarios y usos de inventarios de emisiones en la planeación y gestión de la calidad del aire	55
4.	PROPÓSITO Y DESARROLLO DE UN INVENTARIO DE EMISIONES	59
4.1	Propósito de un inventario de emisiones	59
4.2	Planeación de un inventario de emisiones	63
4.2.1	Planeación de un inventario de emisiones: nueve pasos necesarios	63
4.2.2	Métodos y costos comparativos de la estimación de emisiones	67
5.	CONTAMINANTES A CONSIDERAR EN UN INVENTARIO DE EMISIONES	75
5.1	Compuestos orgánicos totales y volátiles	76
5.2	Monóxido de carbono	80
5.3	Óxidos de nitrógeno	80
5.4	Óxidos de azufre	81
5.5	Partículas	82
5.6	Ozono	86
5.7	Contaminantes que reducen la visibilidad	87
5.8	Contaminantes tóxicos del aire	88
5.9	Gases de efecto invernadero	90

6. CATEGORÍAS DE FUENTES DE EMISIÓN	93
6.1 Diferencias entre fuentes puntuales y de área	93
6.2 Fuentes puntuales o fijas	96
6.3 Fuentes de área	98
6.4 Reconciliación de la información derivada de fuentes puntuales y de área	99
6.5 Fuentes móviles (vehículos automotores)	103
6.6 Fuentes naturales	106
6.7 Lista de verificación de categorías de fuentes	107
7. OTRAS CARACTERÍSTICAS DE UN INVENTARIO DE EMISIONES	115
7.1 Año base	115
7.2 Características temporales	116
7.3 Características espaciales	117
7.4 Resolución de especies químicas (Especiación)	120
7.5 Aseguramiento de la calidad	122
7.6 Manejo de datos	123
7.7 Proyecciones	124
7.8 Estimación de la incertidumbre	124
7.9 Continuidad del proceso de inventario	125
8. ESTIMACIÓN DE EMISIONES MEDIANTE MUESTREO EN LA FUENTE	129
8.1 Principios generales del muestreo en fuentes fijas o puntuales de contaminación	129
8.2 Ejemplo de cálculos para el muestreo manual en la fuente	135
8.3 Ejemplo de cálculos para datos de monitoreo continuo de emisiones (MCE)	138
8.3.1. Cálculo de emisiones horarias y anuales, a partir de mediciones de concentración	140
8.3.2. Cálculo de la tasa de flujo del gas de escape o salida en la chimenea	141

9. ESTIMACIÓN DE EMISIONES MEDIANTE MODELOS DE EMISIÓN	143
9.1 Modelos mecánicos	144
9.1.1. Tanques de almacenamiento	145
9.1.2. Operaciones de carga de productos derivados del petróleo	153
9.1.3. Rellenos sanitarios	156
9.1.4. Aguas residuales y cuerpos de agua	160
9.1.5. Polvos fugitivos	163
9.2 Modelos de emisiones de múltiples variables	168
9.2.1. Desarrollo de un modelo de emisiones de múltiples variables	168
9.2.2. Ejemplo de un modelo de múltiples variables actividades de construcción	170
10. ESTIMACIÓN DE EMISIONES MEDIANTE FACTORES DE EMISIÓN	175
10.1 Factores de emisión basados en procesos	175
10.2 Factores de emisión basados en censos socioeconómicos o de población	178
10.2.1 Factores de emisión per cápita	178
10.2.2 Factores de emisión por empleado	180
11. ESTIMACIÓN DE EMISIONES MEDIANTE BALANCE DE MATERIALES	183
12. ESTIMACIÓN DE EMISIONES MEDIANTE ENCUESTAS	193
12.1 Objetivos e identificación de subcategorías y tipos de fuentes de emisiones a encuestar	196
12.2 Diseño de los cuestionarios	198
12.3 Bases estadísticas para determinar el tamaño y composición de la muestra	199
12.4 Identificación de instalaciones a encuestarse, envío y rastreo de encuestas y contactos posteriores	204
12.5 Escalamiento de los resultados de la encuesta para estimar emisiones de categorías de fuentes de área	207



13. ESTIMACIÓN DE EMISIONES MEDIANTE EXTRAPOLACIÓN	211
14. INVENTARIOS DE EMISIONES PARA MODELACIÓN	217
14.1 Requerimientos de información y de manejo de datos	219
14.2 Ejemplo de un inventario de emisiones para Modelación	229
14.3 Distribución temporal	236
14.3.1 Perfiles de distribución estacional	238
14.3.2 Perfiles de distribución semanal	240
14.3.3 Perfiles de distribución por hora	242
14.3.4 Emisiones específicas por día	242
14.3.5 Consideraciones sobre el tipo de Fuente	243
14.3.6 Ejemplo de cálculos de distribución temporal de emisiones	245
14.4 Distribución espacial	255
14.4.1 División espacial del dominio de un inventario de emisiones	256
14.4.2 Consideraciones sobre el tipo de fuente	260
14.4.3 Ejemplo de cálculos de distribución espacial de emisiones	268
14.5 Especiación química	269
14.5.1 Perfiles de especiación para GOTs y PM	271
14.5.2 Grupos de reactividad fotoquímica	273
14.5.3 Especiación de NOx	275
14.5.4 Distribución del tamaño de PM	275
14.5.5 Otros contaminantes	276
14.5.6 Consideraciones sobre el tipo de fuente	277
14.5.7 Ejemplo de cálculos de especiación de emisiones	278
15. PROYECCIÓN DE UN INVENTARIO DE EMISIONES	283
15.1 Factores de crecimiento	284
15.2 Factores de control	287
15.3 Consideraciones del tipo de fuente	289
15.4 Ejemplo de proyección	290

## APÉNDICES

A:	Reglamento de la LGEEPA en materia de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes y reformas al reglamento en la LGEEPA en materia de prevención y control de la contaminación de la atmósfera	305
B:	Hidrocarburos no reactivos	327
C:	Contaminantes tóxicos del aire	329
D:	Muestra de cálculos para modelos de emisiones	337
E:	Muestra de cuestionario para fuentes puntuales (es decir, encuesta industrial)	359
F:	Hojas de cálculo de un ejemplo de inventario de emisiones para modelación	393
G:	Perfiles de especiación de COT de un inventario de emisiones para modelación	491
H:	Perfiles de especiación de PM de un inventario de emisiones para modelación	505

## PREFACIO

---

La publicación de esta Guía para la elaboración y usos de inventarios de emisiones representa una contribución del Instituto Nacional de Ecología (INE) de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) para impulsar la gestión de la calidad del aire a nivel nacional. El objetivo es el poner a disposición de autoridades locales y estatales, académicos y otros interesados, una herramienta impresa, que permita homologar esfuerzos para la elaboración, mantenimiento y actualización de inventarios de emisiones en el país.

Este esfuerzo recoge el largo trabajo de colaboración desarrollado desde principios de los años noventa por el INE con el apoyo financiero y técnico de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) y la Asociación de Gobernadores del Oeste (WGA, por sus siglas en inglés), ambas de los Estados Unidos de América (EUA). De igual manera, esta iniciativa ha contado con la colaboración de la Comisión de Cooperación Ambiental de América del Norte. En el ámbito nacional, esta guía se ha enriquecido a partir de la revisión y sugerencias realizadas por la Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y Registro de Emisiones de la propia SEMARNAT, así como de la Dirección General de Gestión Ambiental del Aire de la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. Esta primera guía proviene de la integración, adaptación y actualización de cuatro de los ocho manua-

les de inventarios de emisiones, originalmente desarrollados por consultores internacionales en colaboración con la WGA, la EPA y el INE, para la conformación del Inventario Nacional de Emisiones de México. Cabe mencionar que estos manuales fueron editados por el INE en versión electrónica y puestos a disposición pública a través de las páginas de Internet del Centro de Información sobre Contaminación del Aire para la frontera entre EUA y México (CICA): [www.epa.gov/ttn/catc/cica](http://www.epa.gov/ttn/catc/cica), y del INE en la sección correspondiente al Inventario Nacional de Emisiones, [www.ine.gob.mx/dgicurg/calair/lineas/inventario\\_nacional.html](http://www.ine.gob.mx/dgicurg/calair/lineas/inventario_nacional.html).

Los cuatro manuales seleccionados para conformar esta guía son los siguientes: volumen I: "Planeación de programas de inventarios de emisiones"; volumen II: "Fundamentos de inventarios de emisiones"; volumen III: "Técnicas básicas para la estimación de emisiones"; y, volumen VIII: "Desarrollo de inventarios de emisiones para modelación". Además de este primer libro, la Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana, Regional y Global del INE integrará otras guías de la misma serie, en las que se abordarán aspectos metodológicos más específicos sobre estimación de emisiones para los distintos tipos de fuentes, así como sobre la evaluación de inventarios de emisiones y la estimación de emisiones de partículas menores a 2.5 micras (PM<sub>2.5</sub>).

Debido a su crucial importancia para las actividades de gestión de la calidad del aire, a nivel urbano, regional y global, los inventarios de emisiones jugarán un papel de primera relevancia en las políticas ambientales que habrán de desarrollarse en diferentes niveles de gobierno. De igual manera, para diversos sectores de la economía, como la industria, los sectores energético y de transporte, e incluso para las actividades agropecuarias y de manejo de bosques y selvas, la integración de inventarios de emisiones se ha convertido en una necesidad para la gestión administrativa y la toma de decisiones. Los inventarios de emisiones continuarán aplicándose en diversos ejercicios de investigación científica y

planeación ambiental, como lo es la modelación, el diseño de estrategias y programas de gestión de la calidad del aire, el análisis de tendencias, el cumplimiento de compromisos internacionales y la eventual comercialización de derechos de emisión y bonos de captura o reducción de emisiones, aplicaciones para las que se requerirán inventarios de emisiones de creciente calidad y mayor detalle, como sería por ejemplo, la especiación química y mejor cobertura temporal y espacial, control de calidad de los datos y accesibilidad de los datos. De igual manera, las innovaciones en metodologías de elaboración de inventarios y el uso de tecnologías de información para el manejo de datos, han hecho mas económico el manejo de los inventarios de emisiones y ponerlos al alcance de diversas autoridades de gobierno y de las distintas esferas gerenciales de la industria y la sociedad civil en general.

*Prefacio*

Históricamente, los inventarios de emisiones han estado basados en estimaciones anuales de emisiones a nivel de cuencas urbanas o zonas metropolitanas, lo cual ha permitido que diversas ciudades del país puedan instrumentar sus correspondientes programas de gestión de la calidad del aire. Actualmente las zonas metropolitanas de la Ciudad de México, Guadalajara, Monterrey, Toluca, Tijuana, Ciudad Juárez, Mexicali y Salamanca cuentan con inventarios que permiten orientar las decisiones y programas orientados a mejorar la calidad del aire de estas ciudades. Con el tiempo, las aplicaciones de los inventarios de emisiones han superado las dimensiones exclusivas de las principales metrópolis, y abarcan ahora diferentes escalas espaciales, que van desde lo puntual o local, como en los inventarios de emisiones de sustancias tóxicas de establecimientos industriales, hasta lo planetario, como en el inventario nacional y mundial de gases de efecto invernadero. Los nuevos retos de la política ambiental y los avances de la investigación científica atmosférica, nos obligan ahora a procurar obtener y manejar datos cada vez más precisos y confiables sobre las emisiones de contaminantes. Este rango de aplicaciones incluye la identi-

ficación de fuentes de contaminantes primarios, así como de precursores de contaminantes secundarios, la especiación de emisiones en ambientes urbanos y de escala regional así como la definición espacial de los datos de emisiones para ejercicios de modelación de la calidad del aire. De igual forma, la gestión de la calidad atmosférica ha adquirido nuevas demandas a escala regional y semicontinental, como lo son la lluvia ácida, la neblina y el ozono troposférico; asimismo, a nivel global, se pueden mencionar la disminución de la capa de ozono y el cambio climático. En este contexto, la integración de inventarios de emisiones regionales y nacionales ha adquirido una mayor relevancia dada la necesidad del país para lograr instrumentar estrategias efectivas frente a esta gama de problemas y cumplir con compromisos internacionales.

Así, resulta obvio que actualmente sea imprescindible la colaboración y el desarrollo de capacidades institucionales para el mantenimiento y actualización de inventarios de emisiones en los tres niveles de gobierno. Esta guía y la serie de publicaciones complementarias que el INE editará se insertan como parte del trabajo que México habrá de desarrollar para lograr mejores inventarios de emisiones que proporcionen fundamentos para renovar y mejorar nuestras estrategias de gestión ambiental en las principales ciudades del país, incluyendo el transporte regional de contaminantes y el cambio climático global.

Ciudad de México, abril de 2005  
 Dr. Adrián A. Fernández Bremauntz  
 Presidente del Instituto Nacional de Ecología

## ACRÓNIMOS Y SIMBOLOGÍA

$\mu\text{m}$	micrómetros, también referidas como micras
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	Sulfato de amonio
$\mu\text{g}$	microgramos
AC	Aseguramiento de la Calidad
AMS	<i>Area and Mobile Source</i> (Fuente de Área y Móvil)
ANAFAPYT	Asociación Nacional de Fabricantes de Pinturas y Tintas
API	<i>American Petroleum Institute</i> (Instituto Americano del Petróleo)
ARB o CARB	<i>California Air Resources Board</i> (Consejo de Recursos Atmosféricos de California)
ASA	Aeropuertos y Servicios Auxiliares
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i> (Sociedad Americana de Pruebas y Materiales)
BAC	<i>Binational Advisory Committee</i> (Comité Asesor Binacional)
BIF	Caldera y horno industrial, siglas en inglés de <i>Boiler and Industrial Furnace</i>
Btu	<i>British thermal unit</i> (Unidad Térmica Británica)
C	grados Celsius o centígrados
CAA	<i>Clean Air Act</i> (Ley del Aire Limpio de EUA)
CANACINTRA	Cámara Nacional de la Industria de la Transformación

CANALAVA	Cámara Nacional de la Industria de Lavanderías
CAS	<i>Chemical Abstract Service</i> , generalmente referido como número CAS
CATEF	<i>California Air Toxics Emission Factor Database</i> (Base de Datos de Factores de Emisión de Contaminantes Tóxicos del Aire de California)
CB-IV	Enlace de carbono IV
CC	Control de Calidad
CCA	Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte, equivalente al término en inglés <i>North American Commission for Environmental Cooperation, NACEC</i>
Cd	Cadmio
CEIDARS	<i>California Emission Inventory Development and Reporting System</i> (Sistema de Desarrollo y Reporte de Inventarios de Emisiones de California)
Cele	Carbono Elemental
CFC o CFCs	Clorofluorocarbonos
CFR	Code of Federal Regulations (Código de Regulaciones Federales de EUA)
CH <sub>4</sub>	metano
CICA	Centro Fronterizo de Información <u>s</u> Sobre Contaminación del Aire
CICOPAFEST	Comisión Intersecretarial para el Control de Plaguicidas, Fertilizantes y Substancias Tóxicas
CMAP	Clasificación Mexicana de Actividades y Productos
Corg	Carbono orgánico, equivalente al término en inglés <i>organic carbon, OC</i>
CO	Monóxido de carbono
CO <sub>2</sub>	Bióxido de carbono
COA	Cédula de Operación Anual
COT	Compuestos orgánicos totales
COV o COVs	Compuestos orgánicos volátiles
CST	Emisiones de arranque en Cfrío



Cu	Cobre
DDF o GDF	Departamento del Distrito Federal, ahora Gobierno del Distrito Federal
DGCENICA	Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental del INE
DGICURG	Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana, Regional y Global del INE
DGIOEC	Dirección General de Investigación sobre el Ordenamiento Ecológico y la Conservación de los Ecosistemas del INE
DGIPEA	Dirección General de Investigación en Política y Economía Ambiental del INE
DNL	Emisiones diurnas
dscfm	<i>Dry Standard Cubic Feet per Minute</i> (pie cúbico estándar seco por minuto)
dscm	<i>Dry Standard Cubic Meter</i> (metro cúbico estándar seco)
EC	Eficiencia de control
EDF	<i>Environmental Defense Fund</i> (Fondo para la Defensa del Medio Ambiente de EUA)
EDMS	<i>Emissions Data Management System</i> (Sistema de Manejo de Datos de Emisiones)
EIA	Evaluación de impacto ambiental, también referido como PEIA, procedimiento de evaluación de impacto ambiental
EIIP	<i>Emissions Inventory Improvement Programa</i> (Programa para el Mejoramiento de Inventarios de Emisiones de la EPA)
EMS-95	<i>Emissions Modeling System – 95</i> (Sistema de Modelado de Emisiones – 95 de la EPA)
EtO	Óxido de etileno
EU o EUA	Estados Unidos de América
F	Grados Fahrenheit
FIRE	<i>Factor Information Retrieval System</i> (Sistema de Información de Factores de Emisión de la EPA)
ft <sup>3</sup>	Pie cúbico

Acrónimos y  
simbología

g	Gramo
Gas LP o GLP	Gas Licuado de Petróleo, equivalente al término en inglés <i>Liquid Petroleum Gas, LPG</i>
GCVTC	<i>Grand Canyon Visibility and Transport Commission</i> (Comisión de Transporte y Visibilidad de la Región del Gran Cañón del Colorado)
GDF	Gobierno del Distrito Federal
GEM	Gobierno del Estado de México
GEMAP	<i>Geocoded Emissions Modeling and Projections System</i> (Sistema Geocodificado para la Modelación y Proyección de Emisiones de la EPA)
GEI	Gases de efecto invernadero, equivalente al término en inglés <i>Greenhouse Gases, GHG</i>
GOR	Gases orgánicos reactivos, equivalente al término COV
GOT	Gases orgánicos totales, equivalente al término COT
GPS	<i>Global Positioning System</i> (Sistema de Posicionamiento Global)
gr/dscf	Gramos por pie cúbico seco estándar
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ácido sulfúrico
HAPs	<i>Hazardous Air Pollutants</i> (contaminantes tóxicos del aire)
HC	Hidrocarburos
HCFC	Hidroclorofluorocarbonos
HCl	Ácido clorhídrico
HCNM	Hidrocarburos no metánicos, equivalente al inglés <i>non-methane hydrocarbons, NMHC</i>
HCT	Hidrocarburos totales
HDDV	<i>Heavy Duty Diesel Vehicle</i> (vehículo diesel de trabajo pesado)
HDGV	<i>Heavy Duty Gas Vehicle</i> (vehículo a gasolina de trabajo pesado)
HFC	Hidrofluorocarbonos
Hg	Mercurio

hr	Hora
HSK	Emisiones húmedas calientes
HST	Emisiones de arranque en caliente
I/M	Inspección y mantenimiento
ID	Identificación o número de identificación
IFU	<i>Fraunhofer-Institut für Atmosphärische Umweltforschung</i> (Instituto Fraunhofer de Investigación Ambiental Atmosférica de Alemania)
IMP	Instituto Mexicano de Petróleo
INE	Instituto Nacional de Ecología
INEGI	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (Panel Intergubernamental de Cambio Climático)
ITESM	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey
kb	Kilobyte
kg	Kilogramo
kJ	Kilojoule
km	Kilómetros
lt	Litro
LAEEM	<i>Landfill Air Emissions and Estimation Model</i> (modelo de estimación de emisiones de rellenos sanitarios de la EPA)
LAU	Licencia Ambiental Única
lb	Libra
LDDT	Light Duty Diesel Truck ( <i>camión diesel de trabajo ligero</i> )
LDDV	Light Duty Diesel Vehicle ( <i>vehículo diesel de trabajo ligero</i> )
LDGT	Light Duty Gas Truck ( <i>camión a gasolina de trabajo ligero</i> )
LDGV	Light Duty Gas Vehicle ( <i>vehículo a gasolina de trabajo ligero</i> )

Acrónimos y  
simbología

LGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
LMP	Límite máximo permisible
m	Metro
m <sup>2</sup>	Metro cuadrado
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
MC	Motocicleta
MCCM	Modelo de calidad del aire a escala regional del IFU
MCE	Monitor continuo de emisiones, equivalente al término en inglés <i>Continuous Emissions Monitoring, CEM</i>
Mg	Megagramo, equivalente a 10 <sup>6</sup> gramos o 1 tonelada métrica
mg	Miligramo
MOBILE	Modelo de factor de emisiones de vehículos automotores de la EPA
MP	Martículas
N/A	No aplica
N <sub>2</sub>	Nitrógeno
N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso
NAICS	<i>North American Industry Classification System</i> (Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte)
NFB	<i>National Fuel Balance</i> (balance nacional de combustibles)
NH <sub>3</sub>	Amoniaco
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Nitrato de amonio
NMX	Norma Mexicana
NO	Óxido nítrico
NO <sub>2</sub>	Bióxido de nitrógeno
NOM	Norma Oficial Mexicana
NO <sub>x</sub>	Óxidos de nitrógeno
NSB	<i>National Solvent Balance</i> (balance nacional de solventes)

O <sub>2</sub>	Oxígeno
O <sub>3</sub>	Ozono
OAQPS	<i>Office of Air Quality Planning and Standards</i> (Oficina de Planeación y Normatividad de la Calidad del Aire de la EPA)
ODS	<i>Ozone Depletion Substances</i> (sustancias que agotan la capa de ozono)
OH-	Radical oxhidrilo
OH	Radicales oxhidrilo
OMS	Organización Mundial de la Salud
Pb	Plomo
PCBEIS	Modelo de emisiones biogénicas de la U.S. EPA ( <i>Personal Computer version of the Biogenic Emissions Inventory System</i> )
PEMEX	Petróleos Mexicanos
PFC	perfluorocarbono
PM	Partículas, también referido como material particulado
PM <sub>10</sub> o PM10	Partículas de diámetro aerodinámico equiva- lente menor a 10 micras
PM <sub>2.5</sub> o PM2.5	Partículas de diámetro aerodinámico equiva- lente menor a 2.5 micras
POTW	<i>Publicly Owned Treatment Works</i> (instalacio- nes de tratamiento aguas residuales de pro- piedad pública)
ppbv	Partes por billón en volumen
ppm	Partes por millón
ppmv	Partes por millón en volumen
PROFEPA	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente
PS	Partículas suspendidas
psig	Libras por pulgada cuadrada - presión manométrica
PST	Partículas suspendidas totales, equivalente al término en inglés <i>Total Suspended Particles, TSP</i>

Acrónimos y  
simbología

Acrónimos y  
simbología

PVG	Programa Voluntario de Gestión Ambiental
QA	<i>Quality Assurance</i> (aseguramiento de la calidad)
QC	<i>Quality Control</i> (control de la calidad)
RACM	<i>Regional Atmospheric Chemistry Mechanism</i> (Mecanismo Regional de Química Atmosférica)
RADM2	<i>Regional Atmospheric Deposition Mechanism Model, Version 2</i> (Modelo Regional de Deposición Atmosférica, Versión 2)
RETC	Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes
REV	<i>Running Evaporative Emissions</i> (emisiones evaporativas en circulación)
REX	<i>Running Exhaust Emissions</i> (emisiones de escape en circulación)
RO2	Radicales peroxi
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SAPRC	<i>California Statewide Air Pollution Research Center</i> (Centro de Investigación de la Contaminación del Aire del Estado de California)
SCC	Source Classification Code (Código de Clasificación de Fuentes de Emisión)
SCT	Secretaría de Comunicaciones y Transportes
SE	Secretaría de Economía
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SIC	<i>Standard Industrial Classification</i> (Clasificación Industrial Estándar)
SIG	Sistema de Información Geográfica, equivalente al término en inglés <i>Geographic Information System, GIS</i>
SNIFF	Sistema Nacional de Información de Fuentes Fijas
SO <sub>2</sub>	Bióxido de azufre
SO <sub>3</sub>	Trióxido de azufre

SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ion sulfato
SO <sub>x</sub>	Óxidos de azufre
SPECIATE	Base de datos de perfil de especiación química de la EPA
SS	Secretaría de Salud
STPS	Secretaría del Trabajo y Previsión Social
TAC	<i>Technical Advisory Committee</i> (Comité Técnico Asesor)
TDM	<i>Travel Demand Models</i> (modelos de demanda de viajes)
TEE	Técnica de Estimación de Emisiones
THC	Total hydrocarbons (hidrocarburos totales)
TNRCC	<i>Texas Natural Resource Conservation Commission</i> (Comisión para la Conservación de los Recursos Naturales de Texas)
ton	Tonelada métrica (es decir, 1,000 kg)
tpa	Toneladas por año
TSDF	<i>Treatment, Storage and Disposal Facilities</i> (instalaciones de tratamiento, almacenamiento y disposición de residuos)
U.S. EPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i> (Agencia de Protección Ambiental de EU)
UAM	Universidad Autónoma Metropolitana
UAM	<i>Urban Airshed Model</i> (Modelo de Cuenca Atmosférica Urbana)
UEA	Unidad Ejecutiva de Administración del INE
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
UTM	Universal Transversal de Mercator
VKT	<i>Vehicle Kilometers Traveled</i> (kilómetros vehículo recorridos)
VMT	<i>Vehicle Miles Traveled</i> (millas vehículo recorridas)
WGA	<i>Western Governors' Association</i> (Asociación de Gobernadores del Oeste de los EUA)

Acrónimos y  
simbología





# INTRODUCCIÓN

---

# 1

Cada vez existen más evidencias de los efectos que la contaminación del aire provoca sobre la salud pública en México y en otras partes del mundo, especialmente en ambientes urbanos que con frecuencia registran concentraciones elevadas de contaminantes. La contaminación del aire resulta de una compleja suma de, literalmente, miles de fuentes de emisión que van desde las industrias y los vehículos automotores, hasta el uso de productos de limpieza domésticos y pinturas e incluso la vida animal y vegetal. Es debido a la intervención de todos estos factores que se requieren inventarios de emisiones detallados para identificar las diferentes fuentes de emisión y su contribución a la problemática de la contaminación del aire en una región determinada, lo cual constituye el primer paso en la gestión de la calidad del aire.

Para que un inventario de emisiones cumpla con las necesidades de gestión de la calidad del aire se requieren su desarrollo y refinamiento continuos, mismos que deben guardar cierta coherencia metodológica y basarse en programas de actividades que concuerden con los objetivos de gestión de la calidad del aire que se pretendan alcanzar. Conforme se dé este proceso, será necesario que los inventarios cuenten con estimaciones de emisiones cada vez más confiables para todas las regiones geográficas de importancia, que puedan utilizarse efectivamente en forma conjunta con los procesos

de gestión y monitoreo de la calidad del aire y que puedan evolucionar con el paso del tiempo y con el desarrollo de nuevas herramientas científicas y tecnológicas. En este contexto, el propósito de esta Guía para la Elaboración de Inventarios de Emisiones, es que sea utilizada por autoridades locales, estatales y federales, por la industria y el sector privado, así como por las instituciones académicas y de investigación como apoyo al proceso de desarrollo y actualización de los inventarios de emisiones.

En esta primera guía se abordan tanto los aspectos de planeación e instrumentación de inventarios de emisiones, como los fundamentos técnicos para la estimación de emisiones. Se describen los elementos necesarios para el desarrollo de inventarios de emisiones, así como las características de las fuentes puntuales o fijas, móviles, de área y naturales y de los contaminantes en consideración. En cuanto a las técnicas de estimación de emisiones, se describen la metodologías básicas utilizadas para hacer este tipo de estimaciones, incluyendo algunos ejemplos y cálculos. De igual manera, se identifican las herramientas de software y bases de datos disponibles para la elaboración de inventarios de emisiones y se incluye una lista de apéndices donde se desglosan la información y las referencias obtenidas de dichas herramientas.

Las seis técnicas para la estimación de emisiones básicas que se describen en esta guía representan los métodos más comunes para desarrollar inventarios de emisiones y que actualmente se utilizan en Norteamérica, Latinoamérica, Europa y Asia e incluyen criterios y lineamientos desarrollados por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los EU, la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) y otras instituciones de referencia internacional. Dichas técnicas para la estimación de emisiones están descritas en los capítulos siguientes y son:

- *Muestreo en la Fuente*: se trata de mediciones directas de la concentración de contaminantes con información cono-

cida sobre el flujo másico o volumétrico de los gases de salida en la chimenea. Esta técnica se utiliza con mayor frecuencia en fuentes de emisiones de combustión.

- *Modelos de Emisión:* son ecuaciones desarrolladas para el cálculo de emisiones, cuando éstas dependen de multitud de parámetros. Por su complejidad, estos modelos normalmente requieren del uso de programas computacionales. Por ejemplo, el programa TANKS de la EPA es un modelo de emisiones computarizado que se usa para estimar emisiones de COV de los tanques de almacenamiento de combustibles o solventes.
- *Factores de Emisión:* expresan la relación existente entre la cantidad de un contaminante emitido y una unidad de actividad (p.ej., toneladas de producto elaborado, horas de operación, área superficial); también pueden relacionarse con información más general obtenida en censos (p. ej., población, número de empleados, ingreso per cápita, etc.)
- *Balance de Materiales:* se basa en mediciones de todos los componentes de un proceso para determinar las emisiones al aire. Es utilizado con mayor frecuencia para fuentes de evaporación de solventes cuando no existe información disponible para utilizar otros métodos de estimación.
- *Encuestas:* son cuestionarios diseñados para obtener información sobre emisiones. A menudo son utilizados para recopilar información sobre los establecimientos industriales y de servicios, pero también para obtener información de fuentes de área como parte de un muestreo representativo de fuentes dentro de una categoría dada.
- *Extrapolación:* consiste en el cálculo de las emisiones de una fuente con base en las emisiones de otra fuente, por medio del uso de un parámetro de extrapolación conocido para ambas fuentes, por ejemplo, cantidad de producción, área del terreno, número de empleados, etc.

Introducción

Esta guía proporciona también los lineamientos básicos para el desarrollo de inventarios de emisiones para modelación,

los cuales se utilizan en modelos de calidad del aire, y trata aspectos tales como la distribución temporal y espacial, la especiación química y la proyección de los inventarios de emisiones. Finalmente, se incluye una amplia lista de referencias bibliográficas así como de las herramientas de información descritas.

*Introducción*

## MARCO LEGAL Y NORMATIVO

# 2

### 2.1. FUNDAMENTOS CONSTITUCIONALES

La política ambiental mexicana tiene como fundamento a la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Las estipulaciones más importantes relacionadas con la protección al ambiente son:

- El Artículo 4 reconoce el derecho que tiene el público a la protección de la salud y a un ambiente saludable;
- El Artículo 25 promueve el desarrollo sustentable de la economía y la protección del ambiente;
- El Artículo 27 asigna responsabilidad a los niveles federales, estatales y municipales de gobierno para el desarrollo y conservación de los recursos naturales y para lograr el desarrollo sustentable del país; y
- El Artículo 73 declara que los gobiernos federales, estatales y municipales pueden expedir leyes y reglamentos para la protección, preservación y restauración ambiental del equilibrio ecológico.

De estos preceptos constitucionales, derivan las leyes y reglamentos que regulan el desarrollo de inventarios de emisiones en México, así como la gestión de la calidad del aire en general.

## 2.2. LA LEY GENERAL DE EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y SUS REGLAMENTOS EN MATERIA DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DE LA ATMÓSFERA Y DE REGISTRO DE EMISIONES Y TRANSFERENCIA DE CONTAMINANTES

La Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente -LGEEPA- fue promulgada en diciembre de 1987, y ha sido revisada y modificada en diversas ocasiones. La LGEEPA se divide en seis títulos que son los siguientes:

- *Título I (Disposiciones Generales)*: Concede autoridad y establece jurisdicciones de los gobiernos federales y estatales, el proceso de evaluación de impacto ambiental (EIA), el ordenamiento ecológico del territorio y el marco de trabajo jurídico para las Normas Oficiales Mexicanas (NOMs);
- *Título II (Biodiversidad)*: Establece los procedimientos para desarrollar y manejar áreas naturales protegidas y facilita las políticas que gobiernan la flora y fauna silvestre;
- *Título III (Aprovechamiento Sustentable de los Elementos Naturales)*: Establece estipulaciones para el aprovechamiento sustentable del agua, suelo y recursos no renovables;
- *Título IV (Protección al Ambiente)*: Establece medidas de protección a medios específicos tales como aire, agua y ecosistemas acuáticos, suelos, actividades altamente riesgosas, residuos y materiales peligrosos, energía nuclear, ruido, vibración, energía térmica y luminosa, olores y contaminación visual;
- *Título V (Participación Social)*: Describe políticas que promueven la participación pública en la toma de decisiones y garantizan el derecho a la información ambiental; y
- *Título VI (Inspección, Vigilancia y Sanciones)*: Establece procedimientos para la inspección administrativa, medidas de control, acciones de aplicación de la ley y la aplicación de sanciones y apelaciones, crímenes federales y un sistema para denuncias de la sociedad.

Dentro del Título IV de la LGEEPA, los Artículos 109Bis al Artículo 117, proporcionan el marco de trabajo jurídico general para prevenir y controlar la contaminación atmosférica, los cuales se transcriben textualmente en el Cuadro 2-1.

CUADRO 2-1. EXTRACTO DE LA LGEEPA REFERENTE A LA PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

<p>TÍTULO CUARTO PROTECCIÓN AL AMBIENTE CAPÍTULO I DISPOSICIONES GENERALES</p> <p>Artículo 109 Bis. La Secretaría, los Estados, el Distrito Federal y los Municipios, deberán integrar un registro de emisiones y transferencia de contaminantes al aire, agua, suelo y subsuelo, materiales y residuos de su competencia, así como de aquellas sustancias que determine la autoridad correspondiente. La información del registro se integrará con los datos y documentos contenidos en las autorizaciones, cédulas, informes, reportes, licencias, permisos y concesiones que en materia ambiental se tramiten ante la Secretaría, o autoridad competente del Gobierno del Distrito Federal, de los Estados, y en su caso, de los Municipios.</p> <p>Las personas físicas y morales responsables de fuentes contaminantes están obligadas a proporcionar la información, datos y documentos necesarios para la integración del registro. La información del registro se integrará con datos desagregados por sustancia y por fuente, anexando nombre y dirección de los establecimientos sujetos a registro.</p> <p>La información registrada será pública y tendrá efectos declarativos. La Secretaría permitirá el acceso a dicha información en los términos de esta Ley y demás disposiciones jurídicas aplicables y la difundirá de manera proactiva.</p> <p>Artículo 109 Bis 1. La Secretaría deberá establecer los mecanismos y procedimientos necesarios, con el propósito de que los interesados realicen un solo trámite, en aquellos casos en que para la operación y funcionamiento de establecimientos industriales, comerciales o de servicios se requiera obtener diversos permisos, licen-</p>	<p>cias o autorizaciones que deban ser otorgados por la propia dependencia.</p> <p>Artículo 110. Para la protección a la atmósfera se considerarán los siguientes criterios:</p> <p>I.- La calidad del aire debe ser satisfactoria en todos los asentamientos humanos y las regiones del país; y</p> <p>II.- Las emisiones de contaminantes de la atmósfera, sean de fuentes artificiales o naturales, fijas o móviles, deben ser reducidas y controladas, para asegurar una calidad del aire satisfactoria para el bienestar de la población y el equilibrio ecológico.</p> <p>Capítulo II PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DE LA ATMÓSFERA</p> <p>Artículo 111. Para controlar, reducir o evitar la contaminación de la atmósfera, la Secretaría tendrá las siguientes facultades:</p> <p>I.- Expedir las normas oficiales mexicanas que establezcan la calidad ambiental de las distintas áreas, zonas o regiones del territorio nacional, con base en los valores de concentración máxima permisible para la salud pública de contaminantes en el ambiente, determinados por la Secretaría de Salud;</p> <p>II.- Integrar y mantener actualizado el inventario de las fuentes emisoras de contaminantes a la atmósfera de jurisdicción federal, y coordinarse con los gobiernos locales para la integración del inventario nacional y los regionales correspondientes;</p> <p>III.- Expedir las normas oficiales mexicanas que establezcan por contaminante y por fuente de contaminación, los niveles máximos permisibles de emisión de olores, gases así como de partículas sólidas y líquidas a la atmósfera provenientes de fuentes fijas y móviles;</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Marco legal  
y normativo

CUADRO 2-1. EXTRACTO DE LA LGEEPA REFERENTE A LA PREVENCIÓN Y CONTROL  
DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA (CONTINUACIÓN)

<p>IV.- Formular y aplicar programas para la reducción de emisión de contaminantes a la atmósfera, con base en la calidad del aire que se determine para cada área, zona o región del territorio nacional. Dichos programas deberán prever los objetivos que se pretende alcanzar, los plazos correspondientes y los mecanismos para su instrumentación;</p> <p>V.- Promover y apoyar técnicamente a los gobiernos locales en la formulación y aplicación de programas de gestión de calidad del aire, que tengan por objeto el cumplimiento de la normatividad aplicable;</p> <p>VI.- Requerir a los responsables de la operación de fuentes fijas de jurisdicción federal, el cumplimiento de los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 37 de la presente Ley, su reglamento y en las normas oficiales mexicanas respectivas;</p> <p>VII.- Expedir las normas oficiales mexicanas para el establecimiento y operación de los sistemas de monitoreo de la calidad del aire;</p> <p>VIII.- Expedir las normas oficiales mexicanas para la certificación por la autoridad competente, de los niveles de emisión de contaminantes a la atmósfera provenientes de fuentes determinadas;</p> <p>IX.- Expedir, en coordinación con la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, las normas oficiales mexicanas que establezcan los niveles máximos permisibles de emisión de contaminantes a la atmósfera, provenientes de vehículos automotores nuevos en planta y de vehículos automotores en circulación, considerando los valores de concentración máxima permisible para el ser humano de contaminantes en el ambiente, determinados por la Secretaría de Salud;</p> <p>X.- Definir niveles máximos permisibles de emisión de contaminantes a la atmósfera por fuentes, áreas, zonas o regiones, de tal manera que no se rebasen las capacidades de asimilación de las cuencas atmosféricas y se cumplan las normas oficiales mexicanas de calidad del aire;</p>	<p>XI.- Promover en coordinación con las autoridades competentes, de conformidad con las disposiciones que resulten aplicables, sistemas de derechos transferibles de emisión de contaminantes a la atmósfera;</p> <p>XII.- Aprobar los programas de gestión de calidad del aire elaborados por los gobiernos locales para el cumplimiento de las normas oficiales mexicanas respectivas;</p> <p>XIII.- Promover ante los responsables de la operación de fuentes contaminantes, la aplicación de nuevas tecnologías, con el propósito de reducir sus emisiones a la atmósfera, y</p> <p>XIV.- Expedir las normas oficiales mexicanas que establezcan las previsiones a que deberá sujetarse la operación de fuentes fijas que emitan contaminantes a la atmósfera, en casos de contingencias y emergencias ambientales.</p> <p>Artículo 111 Bis. Para la operación y funcionamiento de las fuentes fijas de jurisdicción federal que emitan o puedan emitir olores, gases o partículas sólidas o líquidas a la atmósfera, se requerirá autorización de la Secretaría.</p> <p>Para los efectos a que se refiere esta Ley, se consideran fuentes fijas de jurisdicción federal, las industrias química, del petróleo y petroquímica, de pinturas y tintas, automotriz, de celulosa y papel, metalúrgica, del vidrio, de generación de energía eléctrica, del asbesto, cementera y calera y de tratamiento de residuos peligrosos.</p> <p>El reglamento que al efecto se expida determinará los subsectores específicos pertenecientes a cada uno de los sectores industriales antes señalados, cuyos establecimientos se sujetarán a las disposiciones de la legislación federal, en lo que se refiere a la emisión de contaminantes a la atmósfera.</p> <p>Artículo 112. En materia de prevención y control de la contaminación atmosférica, los gobiernos de los Estados, del Distrito Federal y de los Municipios, de conformidad con la distribución de atribuciones establecida en los artículos 7o., 8o. y 9o. de esta Ley, así como con la legislación local en la materia:</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



CUADRO 2-1. EXTRACTO DE LA LGEEPA REFERENTE A LA PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA (CONTINUACIÓN)

<p>I.- Controlarán la contaminación del aire en los bienes y zonas de jurisdicción local, así como en fuentes fijas que funcionen como establecimientos industriales, comerciales y de servicios, siempre que no estén comprendidos en el artículo 111 BIS de esta Ley;</p> <p>II.- Aplicarán los criterios generales para la protección a la atmósfera en los planes de desarrollo urbano de su competencia, definiendo las zonas en que sea permitida la instalación de industrias contaminantes;</p> <p>III.- Requerirán a los responsables de la operación de fuentes fijas de jurisdicción local, el cumplimiento de los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes, de conformidad con lo dispuesto en el reglamento de la presente Ley y en las normas oficiales mexicanas respectivas;</p> <p>IV.- Integrarán y mantendrán actualizado el inventario de fuentes de contaminación;</p> <p>V.- Establecerán y operarán sistemas de verificación de emisiones de automotores en circulación;</p> <p>VI.- Establecerán y operarán, con el apoyo técnico, en su caso, de la Secretaría, sistemas de monitoreo de la calidad del aire. Los gobiernos locales remitirán a la Secretaría los reportes locales de monitoreo atmosférico, a fin de que aquélla los integre al Sistema Nacional de Información Ambiental;</p> <p>VII.- Establecerán requisitos y procedimientos para regular las emisiones del transporte público, excepto el federal, y las medidas de tránsito, y en su caso, la suspensión de circulación, en casos graves de contaminación;</p> <p>VIII.- Tomarán las medidas preventivas necesarias para evitar contingencias ambientales por contaminación atmosférica;</p> <p>IX.- Elaborarán los informes sobre el estado del medio ambiente en la entidad o municipio correspondiente, que convengan con la Secretaría a través de los acuerdos de coordinación que se celebren;</p> <p>X.- Impondrán sanciones y medidas por infracciones a las leyes que al efecto expidan las legislaturas locales, o a los bandos y reglamentos de policía y buen gobierno</p>	<p>que expidan los ayuntamientos, de acuerdo con esta Ley;</p> <p>XI.- Formularán y aplicarán, con base en las normas oficiales mexicanas que expida la Federación para establecer la calidad ambiental en el territorio nacional, programas de gestión de calidad del aire, y</p> <p>XII.- Ejercerán las demás facultades que les confieren las disposiciones legales y reglamentarias aplicables.</p> <p>Artículo 113. No deberán emitirse contaminantes a la atmósfera que ocasionen o puedan ocasionar desequilibrios ecológicos o daños al ambiente. En todas las emisiones a la atmósfera, deberán ser observadas las previsiones de esta Ley y de las disposiciones reglamentarias que de ella emanen, así como las normas oficiales mexicanas expedidas por la Secretaría.</p> <p>Artículo 114. Las autoridades competentes promoverán, en las zonas que se hubieren determinado como aptas para uso industrial, próximas a áreas habitacionales, la instalación de industrias que utilicen tecnologías y combustibles que generen menor contaminación.</p> <p>Artículo 115. La Secretaría promoverá que en la determinación de usos del suelo que definan los programas de desarrollo urbano respectivos, se consideren las condiciones topográficas, climatológicas y meteorológicas, para asegurar la adecuada dispersión de contaminantes.</p> <p>Artículo 116. Para el otorgamiento de estímulos fiscales, las autoridades competentes considerarán a quienes:</p> <p>I.- Adquieran, instalen u operen equipo para el control de emisiones contaminantes a la atmósfera;</p> <p>II.- Fabriquen, instalen o proporcionen mantenimiento a equipo de filtrado, combustión, control, y en general, de tratamiento de emisiones que contaminen la atmósfera;</p> <p>III.- Realicen investigaciones de tecnología cuya aplicación disminuya la generación de emisiones contaminantes; y</p> <p>IV.- Ubiquen o relocalicen sus instalaciones para evitar emisiones contaminantes en zonas urbanas.</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Marco legal  
y normativo

El Artículo 109Bis establece que la SEMARNAT, los estados, el Distrito Federal y los municipios, deberán integrar un registro de emisiones y transferencia de contaminantes al aire, agua, suelo y subsuelo, materiales y residuos de su competencia, así como de aquellas sustancias que determine la autoridad correspondiente. También se requiere que dicho registro integre los datos e información consolidada basado en autorizaciones, licencias, y/o permisos.

De acuerdo con el Artículo 111, la SEMARNAT debe desarrollar e instrumentar programas de reducción de emisiones y planes de contingencia y apoyar a los gobiernos locales en la implementación de sus propios programas de calidad del aire. La SEMARNAT debe desarrollar y actualizar periódicamente un inventario de emisiones atmosféricas de fuentes contaminantes bajo jurisdicción federal y coordinarse con los gobiernos estatales y municipales para poder integrar inventarios regionales y un inventario nacional. Asimismo, se otorga a la SEMARNAT la autoridad para aprobar los programas de gestión de la calidad del aire elaborados por autoridades locales.

En complemento a lo estipulado por la LGEEPA, existen disposiciones que especifican las obligaciones de las fuentes de emisión en el Reglamento en Materia de Prevención de la Contaminación de la Atmósfera y en el Reglamento en Materia de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes, el cual incluye el Apéndice A.

## 2.3. MARCO INSTITUCIONAL

### 2.3.1. Estructura administrativa y de gestión

En México, al menos cinco dependencias federales tienen jurisdicción sobre diversos aspectos vinculados a la gestión de de calidad del aire:

- La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales - SEMARNAT;
- La Secretaría de Comunicaciones y Transportes -SCT;

- La Secretaría de Energía -SENER-;
- La Secretaría de Salud -SSA-;
- La Secretaría del Trabajo y Previsión Social -STPS-.

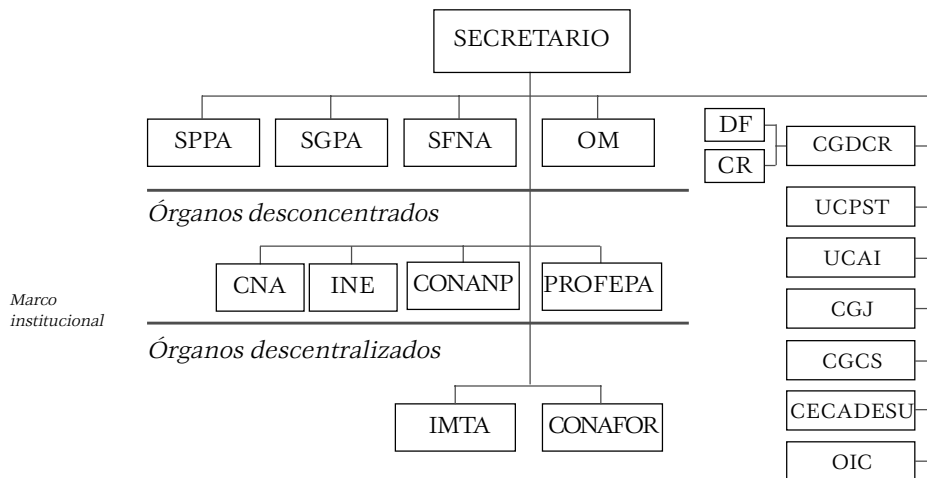
Como entidad responsable de la política ambiental del país, reacaen en la SEMARNAT las principales funciones para mejorar la calidad del aire y prevenir la contaminación de la atmósfera. La SEMARNAT regula las fuentes fijas (establecimientos industriales y de servicios) de jurisdicción federal, expide las NOMs y vigila su cumplimiento. La Figura 2-1 muestra la estructura organizacional de SEMARNAT, la cual explica la distribución de responsabilidades entre los organismos que la conforman, tal como se mencionan a continuación:

*Marco legal  
y normativo*

- La Subsecretaría de Fomento y Normatividad Ambiental, a cargo del desarrollo de normas y regulación inductiva con énfasis en los distintos sectores económicos;
- La Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, a cargo de los permisos, licencias, cédulas de operación anual y del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes;
- El Instituto Nacional de Ecología -INE-, a cargo de la investigación y la vinculación hacia la comunidad científica;
- La Procuraduría Federal de Protección al Ambiente -PROFEPA- responsable de vigilar el cumplimiento de las leyes, reglamentos y NOMs.

La SEMARNAT cuenta con Delegaciones en los 31 estados del país, las cuales representan a la Secretaría en el ámbito estatal y mantienen estrecha comunicación con las autoridades ambientales estatales y municipales en cada estado. Por ejemplo, para la gestión de la calidad del aire en el país, las delegaciones de SEMARNAT reciben Cédulas de Operación Anual (COA) de fuentes de jurisdicción federal en los diferentes estados y las envían a las oficinas centrales de la Subsecretaría de Gestión Ambiental de SEMARNAT para que sean incluidas en su base de datos.

FIGURA 2-1. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DE LA SEMARNAT



CECADESU = Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable

CGCS = Coordinación General de Comunicación Social

CGDCR = Coordinación General de Delegaciones y Coordinaciones Regionales

CGJ = Coordinación General Jurídica

CNA = Comisión Nacional del Agua

CONAFOR = Comisión Nacional Forestal

CONANP = Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas

CR = Coordinaciones Regionales

DF = Delegaciones Federales

IMTA = Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

INE = Instituto Nacional de Ecología

OIC = Órgano Interno de Control

OM = Oficial Mayor

PROFEPA = Procuraduría Federal de Protección al Ambiente

SFNA = Subsecretaría de Fomento y Normatividad Ambiental

SGPA = Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental

SPPA = Subsecretaría de Planeación y Política Ambiental

UCAI = Unidad Coordinadora de Asuntos Internacionales

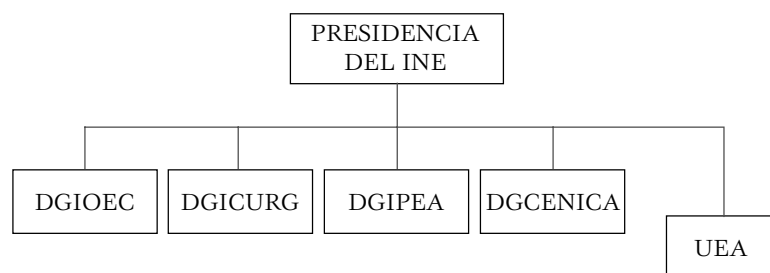
UCPST = Unidad Coordinadora de Participación Social y Transparencia

La Figura 2-2 muestra la estructura organizacional del INE, donde pueden reconocerse las siguientes áreas y funciones:

- La Dirección General de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de los Ecosistemas -DGIOEC-, es responsable de la investigación científica relacionada al ordenamiento ecológico, el manejo de cuencas y la conservación de la biodiversidad;
- La Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana, Regional y Global -DGICURG-, es responsable de la investigación científica relacionada a la calidad del aire (incluyendo los inventarios de emisiones), el cambio climático y el manejo de sustancias químicas tóxicas;
- La Dirección General de Investigación en Política y Economía Ambiental -DGIPEA-, lleva a cabo análisis de los efectos económicos en los consumidores y en la industria como resultado de las políticas ambientales;
- La Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental -DGCENICA-, es responsable de la capacitación y recopilación de datos y la capacitación relacionada a la contaminación atmosférica y al manejo de residuos peligrosos
- La Unidad Ejecutiva de Administración -UEA- es responsable de administrar recursos humanos, financieros y materiales en apoyo a los programas del INE.

*Marco legal  
y normativo*

FIGURA 2-2. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DEL INE



Por su parte, todos los estados, además del Distrito Federal, cuentan con secretarías o institutos encargados de la protección y la gestión ambiental con el propósito de prevenir y controlar la contaminación. Dichas instituciones aplican las leyes ambientales de los estados, las cuales regulan las fuentes y actividades reservadas a los gobiernos estatales según lo estipulado en la LGEEPA. Así mismo, algunos de los municipios, principalmente aquellos que forman parte de las más grandes ciudades del país, han establecido reglamentos adicionales para controlar la contaminación ambiental.

### *2.3.2. Distribución de fuentes de emisión en ámbitos de Jurisdicción Federal, Estatal y Municipal, y concurrencia para la elaboración de inventarios*

En el Cuadro 2-2 se ilustran los ámbitos de jurisdicción de las fuentes de emisión (esto es, fuentes fijas, móviles, de área y naturales), así como los instrumentos de reporte o recopilación de datos directos de la fuente y la regulación relevante. Es de notarse el esquema de distribución entre los tres ámbitos de gobierno, por lo cual es imprescindible que en la elaboración de inventarios metropolitanos de emisiones exista un trabajo concurrente y en equipo.

Tal como se indica en el Artículo 111-BIS de la LGEEPA, hay 11 sectores industriales específicos bajo jurisdicción federal, es decir que la SEMARNAT regula las emisiones atmosféricas de las siguientes categorías de fuentes fijas, en todo el país:

1. Petróleo y petroquímica
2. Química
3. Pinturas y tintas
4. Metalúrgica
5. Automotriz
6. Celulosa y papel
7. Cemento y cal
8. Asbesto
9. Vidrio
10. Generación de energía eléctrica
11. Tratamiento de residuos peligrosos

En forma mas detallada, de acuerdo al Reglamento de la LGEEPA en materia de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes y a las modificaciones al Reglamento de la LGGEPA en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera, el adicionado Artículo 17Bis enlista los subsectores específicos pertenecientes a cada uno de los sectores industriales señalados en el artículo 111 Bis de la Ley, como fuentes fijas de jurisdicción Federal (ver apéndice A). Además de los giros industriales señalados, existen otras fuentes fijas, móviles y de área que también se consideran bajo jurisdicción federal, conforme a lo que señala el artículo 11 del reglamento mencionado, según se advierte en el Cuadro 2.3.

*Marco legal  
y normativo*

Por su parte, con relación a las actividades de jurisdicción estatal y municipal, el Artículo 112 de la LGEEPA concede autoridad a los gobiernos estatales para regular a las fuentes industriales, comerciales y de servicios, dentro de sus territorios, excluyendo aquellas que se encuentren dentro de los 11 sectores industriales de jurisdicción federal. La legislación estatal establece en este sentido las obligaciones de este tipo de fuentes de emisión. Un ejemplo de lo anterior es la Ley Estatal del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Veracruz. El Artículo 74, Sección IV de esta ley le permite a la Secretaría de Desarrollo Urbano del Estado desarrollar y actualizar periódicamente un inventario de emisiones de fuentes fijas y evaluar el impacto de instalaciones bajo su jurisdicción. El Artículo 80 requiere que las instalaciones en cuestión proporcionen información a las autoridades para el desarrollo del inventario de emisiones del estado. De igual manera se especifica que los estados y municipios integrarán y mantendrán actualizado el inventario de fuentes de contaminación y que establecerán y operarán sistemas de verificación de emisiones de automotores en circulación.

A nivel municipal, algunos ayuntamientos (principalmente aquellos que tienen grandes áreas industriales dentro de su perímetro) han establecido regulaciones ambientales que incluyen requisitos relacionados con el desarrollo de inventarios

CUADRO 2-2. RESUMEN DE TIPOS DE FUENTES DE EMISIÓN, REPORTE DE DATOS, ÁMBITOS DE JURISDICCIÓN Y MARCO JURÍDICO RELEVANTES					
AL DESARROLLO DE INVENTARIOS DE EMISIONES					
FUENTES TIPO	CATEGORÍAS	INFORME O REPORTE DE LA FUENTE	JURISDICCIÓN/ ENTIDAD RESPONSABLE DE RECOPILAR DATOS DE EMISIONES	LEY O REGLAMENTO RELEVANTE	
Fuentes fijas	1. Petróleo y petroquímica	COA	Federal: SEMARNAT	LGEEPA, Art. 111-Bis	
	2. Química			RPCCA	
	3. Pinturas y tintas			RRET	
	4. Metal				
	5. Automotriz				
	6. Pulpa y papel				
	7. Cemento y cal				
	8. Asbesto				
	9. Vidrio				
	10. Generación de electricidad				
	11. Tratamiento de residuos peligrosos				
Fuentes fijas y/o fuentes de área	Establecimientos industriales en zonas federales, empresas paraestatales o que afecten a otros estados/países	COA	Federal: SEMARNAT, SENER, PEMEX, CFE	LGEEPA, Art. 5 RPCCA	
	Establecimientos industriales no incluidos en las 11 categorías o sectores anteriores	COA estatal	Estatal/ Secretaría de Medio Ambiente o Ecología del Gobierno del Estado	LGEEPA, Arts. 7 y 112 y Legislación ambiental estatal	
	Establecimientos comerciales y de servicios	I/M y otros	Estatal, municipal/secretaría de medio ambiente o ecología del Gobierno del Estado y/o Municipal	LGEEPA, Arts. 7, 8 y 112 legislación y reglamentos estatales y municipales	



CUADRO 2-2. (CONTINUACIÓN)

FUENTES Tipo	CATEGORÍAS	INFORME O REPORTE DE LA FUENTE	JURISDICCIÓN/ENTIDAD RESPONSABLE DE RECOPIAR DATOS DE EMISIONES	LEY O REGLAMENTO RELEVANTE
Fuentes móviles y/o fuentes de área	Terminales de aviones, ferrocarriles, autobuses foráneos y embarcaciones	I/M y otros	Federal: SEMARNAT, SCT	LGEEPA, Art. 111 RPCCA
	Vehículos automotores en circulación:			LGEEPA, Arts. 111 y 112
	Placa federal	VV	Federal: SEMARNAT, SCT	RPCCA
	Placa local	VV	Estatad y municipal Entidades responsables de medio ambiente, transporte y vialidad	Legislación y reglamentos estatales y locales
	Vehículos automotores nuevos	Cumplimiento de NOM	Federal: SEMARNAT, SE	
Fuentes de área	Maquinaria semiestacionaria, actividades agropecuarias y forestales, uso de solventes y otras		No específico	
Fuentes naturales	Procesos biogénicos en Áreas Naturales Protegidas (ANP)		Federal, estatal o municipal/ CONANP y otras entidades responsables de manejo de ANP	LGEEPA, títulos segundo y cuarto
	Procesos biogénicos no ANP		No específico	
	Procesos geogénicos		No específico	

COA = Cédula de Operación Anual  
LGEEPA = Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente  
RPCCA = Reglamento de la LGEEPA en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera  
RRETC = Reglamento de la LGEEPA en materia de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes  
I/M = Procedimientos de Inspección y Mantenimiento  
VV = Procedimientos de Verificación Vehicular  
NOM = Norma Oficial Mexicana

Marco legal y normativo

de emisiones. Un ejemplo de un reglamento a nivel municipal es el Reglamento de Protección Ambiental de Monterrey, el cual en su Capítulo II, Artículo 9, Sección XXVI declara que la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología municipal debe llevar a cabo un inventario de fuentes contaminantes a la atmósfera, suelo y agua y de la contaminación causada por residuos, olores, ruido, vibración y energía térmica y lumínica. En este caso, se trata de los establecimientos comerciales y de servicios como pueden ser centros comerciales, baños públicos y centros deportivos, panaderías, restaurantes y hoteles, así como de aquellas industrias no sujetas a regulación federal o estatal.

Existen consideraciones relevantes sobre la concurrencia y descentralización de atribuciones señaladas anteriormente, ya que la misma legislación ambiental considera la posibilidad de que la SEMARNAT descentralice funciones a los gobiernos estatales y municipales. Por ejemplo, en la Comisión Ambiental Metropolitana (CAM) del Valle de México se han propuesto acuerdos entre la SEMARNAT y los gobiernos del Distrito Federal (GDF) y del Estado de México (GEM), a fin de que se transfiera autoridad al GDF y GEM para ejecutar, expedir permisos y requisitos de reporte bajo el "Sistema Integrado de Regulación Ambiental de la Industria" y para la coordinación de manejo de datos, validación, capacitación y el desarrollo de un Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes del Valle de México. Otros estados también han avanzado en el desarrollo de capacidades para instaurar sus propios sistemas de Licencia Ambiental y Cédula de Operación Anual.

En general, los programas de gestión de la calidad del aire desarrollados por la SEMARNAT y los gobiernos estatales y municipales de las principales ciudades del país, parten de inventarios de emisiones que consideran fuentes de emisión de los tres ámbitos de jurisdicción. Dichos inventarios de emisiones incluyen datos de emisiones para fuentes fijas (estos es, establecimientos industriales de diversos giros), fuentes móviles (p.ej., vehículos automotores privados), fuentes de área, (p.ej., establecimientos comerciales, uso de solven-

CUADRO 2-2. ARTÍCULO 11 DEL REGLAMENTO DE LA LGEEPA EN MATERIA DE  
PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DE LA ATMÓSFERA

ARTICULO 11. Para los efectos del reglamento se consideran:

I. ZONAS DE JURISDICCIÓN FEDERAL, LAS SEÑALADAS EN LAS DISPOSICIONES APLICABLES Y, EN ESPECIAL LAS SIGUIENTES:

- a) Los sitios ocupados por todas las instalaciones de las terminales de transporte público federal, terrestre, aéreo y acuático;
- b) Los parques industriales localizados en bienes del dominio público de la Federación; en los términos de la Ley General de Bienes Nacionales, y
- c) La zona federal marítimo-terrestre.

*Marco legal  
y normativo*

II. FUENTES DE JURISDICCIÓN FEDERAL:

- a) Las instalaciones, obras o actividades industriales, comerciales y de servicios que realicen las dependencias y entidades de la administración pública federal, en los términos de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal;
- b) La industria del asbesto, así como la prevista en la fracción III del artículo 29 de la Ley;
- c) La industria que se localice en la zona conurbada del Distrito Federal;
- d) Las obras o actividades localizadas en un Estado, cuyas emisiones a la atmósfera contaminen o afecten el equilibrio ecológico de otro u otros Estados, cuando así lo determine la Secretaría o lo solicite a la Federación el Estado afectado por las emisiones contaminantes a la atmósfera;
- e) Las obras o actividades localizadas en el territorio nacional que puedan afectar el equilibrio ecológico de otros países;
- f) Los vehículos automotores hasta en tanto no salgan de la planta de producción;
- g) El transporte público federal, y
- h) Aquellas que por su naturaleza y complejidad requieran la intervención federal.

tes y manejo de residuos), y fuentes naturales (p.ej., erosión por viento y emisiones biogénicas). Es de señalarse que pueden existir fuentes de emisión que caigan dentro de las categorías de fuentes "fijas" y de "área", por lo que en la planeación de inventarios de emisiones en México deben definirse con precisión las subcategorías de inventario, a fin de que no se omitan ciertas fuentes industriales ni se contabilicen algunas fuentes por duplicado al incluirlas en ambas categorías. Los procedimientos para evitar estos problemas se describen en los subsiguientes capítulos de esta guía.

Una de las actividades industriales que puede prestarse a confusiones como la anteriormente descrita son las maquiladoras, las cuales tienen un status jurídico especial. Una maquiladora es una compañía que puede ser propiedad y administrada por capital 100% extranjero y se establece en México con el propósito de desempeñar operaciones industriales y exportar productos terminados. La ley permite que las maquiladoras importen maquinaria, equipo y materia prima necesaria "*in-bond*" a México para operaciones de manufactura o industriales (p.ej., sin incurrir en impuestos mexicanos de importación que de lo contrario se le gravan a todas las compañías de propiedad mexicana). Con respecto a requisitos normativos y jurisdicción de las emisiones atmosféricas generadas por maquiladoras, éstas se consideran del ámbito federal en las siguientes dos circunstancias:

- Una maquiladora ubicada dentro de una zona federal o que pueda afectar a países vecinos (p.ej., dentro de los 100 km de la frontera de México-EU), sin importar su clasificación industrial; y
- Un proceso industrial desempeñado por una maquiladora que se considera dentro de una de las 11 categorías de jurisdicción federal (como se define en el Artículo 111 Bis de la LGEEPA). Sin embargo, por lo general este no es el caso ya que la mayoría de las maquiladoras llevan a cabo ensamble y manufactura que no recae dentro de las categorías de jurisdicción federal.

## 2.4. NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE Y DE EMISIONES

La SEMARNAT tiene la responsabilidad de establecer normas de emisiones a nivel federal de acuerdo a la LGEEPA, Título IV, Artículo 111. Aunque los estados pueden instrumentar normas más exigentes, las normas federales representan un criterio mínimo. Las especificaciones que se incluyen en las NOMs se establecen como límites máximos permisibles -LMP- Existen LMPs para:

*Marco legal  
y normativo*

- Emisiones de procesos de combustión en establecimientos industriales y de servicios;
- Emisiones de fuentes fijas de industrias específicas (p.ej., compuestos orgánicos volátiles [COVs] de la manufactura de automóviles y emisiones de partículas derivadas de procesos industriales en general y de plantas de fabricación de cemento, etc.); y
- Fuentes móviles (p.ej., opacidad del escape de vehículos diesel, emisiones de vehículos a gas natural y que usan otros combustibles alternos, etc.).

Los LMPs de emisiones de chimeneas como resultado de combustión se establecen en la NOM-085-ECOL-1994 para PST, bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), y dependen principalmente de la capacidad del equipo de combustión, el tipo de combustible usado, y la región del país. Esta norma también define la frecuencia de la medición mínima de emisiones y el método que se debe emplear para estas mediciones.

Además, la Secretaría de Salud (SS) ha establecido las normas de calidad del aire (ver Cuadro 2-4). Estas normas están basadas en criterios de protección a la salud humana y representan los niveles de concentración de contaminantes en la atmósfera que se considera no afectan la salud humana. Estas normas son un parámetro importante para determinar si la calidad del aire de una zona determinada es satisfactoria y para establecer programas de mejoramiento de la misma, así como medidas específicas en caso de presentarse condiciones atmosféricas críticas que pudieran afectar la salud de la población.

La redes de monitoreo atmosférico permiten conocer la concentración de contaminantes en una zona determinada y compararla contra la norma respectiva. El mantenimiento y actualización de estas redes es responsabilidad de las autoridades estatales y locales, aunque existe un constante intercambio de la información generada en ellas con la Federación. Dentro de SEMARNAT, el INE centraliza y procesa la información de calidad del aire que proviene de las redes de monitoreo atmosférico que existen en varias regiones del país. Esta información puede consultarse a través del Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA) en la página del INE en internet: [www.ine.gob.mx](http://www.ine.gob.mx). Este sistema permite conocer los niveles de contaminación atmosférica en las ciudades y zonas metropolitanas que cuentan con equipos de monitoreo.

CUADRO 2-4. NORMA DE CALIDAD DEL AIRE PARA CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN MÉXICO

CONTAMINANTE	Norma Oficial Mexicana (NOM)	NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EXPOSICIÓN		
		AGUDA		CRÓNICA
		CONCENTRACIÓN (TIEMPO PROMEDIO)	FRECUENCIA MÁXIMA ACEPTABLE	CONCENTRACIÓN (TIEMPO PROMEDIO)
Ozono	NOM-020-SSA1-1993	0.11 ppm (1 hora) 0.08 ppm	Una vez cada 3 años 5° máximo en un año	NA
Monóxido de Carbono (CO)	NOM-021-SSA1-1993	11 ppm (8 horas prom. renovable)	Una vez al año	NA
Bióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	NOM-022-SSA1-1993	0.13 ppm (24 horas)	Una vez al año	0.03 ppm (PAA)
Bóxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	NOM-023-SSA1-1993	0.21 ppm (1 hora)	Una vez al año	NA
Partículas PST	NOM-024-SSA1-1993	260 µg/m <sup>3</sup> (24 horas)	Una vez al año	75 µg/m <sup>3</sup> (PAA)
Partículas PM <sub>10</sub>	NOM-025-SSA1-1993	150 µg/m <sup>3</sup> (24 horas)	Una vez al año	50 µg/m <sup>3</sup> (PAA)
Plomo	NOM-026-SSA1-1993	NA	NA	1.5 µg/m <sup>3</sup> (PAA de 3 meses)

m<sup>3</sup> = metros cúbicos  
ppm = parte por billón  
µg = microgramos

NA = No Aplica  
PAA = Promedio Aritmético Anual  
Fuente: Diario Oficial de la Federación, 1994.

## 2.5. SISTEMA INTEGRADO DE REGULACIÓN Y GESTIÓN AMBIENTAL DE LA INDUSTRIA

En abril de 1997, la SEMARNAT creó el Sistema Integrado de Regulación Ambiental de la Industria, programa nacional para regular el licenciamiento y el desempeño ambiental de los establecimientos insdustriales de jurisdicción federal. Otro objetivo de este sistema es facilitar la integración de inventarios de emisiones atmosféricas, descargas de aguas residuales, residuos peligrosos y sustancias tóxicas sujetas a reporte. Este sistema de datos consolidados establece los trámites necesarios de las industrias bajo jurisdicción federal para obtener en un procedimiento, permisos consolidados de SEMARNAT.

Marco legal  
y normativo

El Sistema Integrado de Regulación Ambiental incluye tres componentes: la Licencia Ambiental Única -LAU-, el Programa Voluntario de Gestión Ambiental -PVG-, y la Cédula de Operación Anual -COA-. Todas las instalaciones bajo jurisdicción federal (es decir, aquellas que se encuentran ubicadas dentro de la zona que se consideran bajo cualquiera de las 11 categorías de jurisdicción federal) deben cumplir con los requisitos de la LAU y COA. Las instalaciones de jurisdicción estatal o municipal no necesitan cumplir con los requisitos de la LAU o COA federal, pero deben cumplir con los requisitos estatales y municipales para licencias y reportes, los cuales son similares en la mayoría de los estados.

### 2.5.1. Licencia Ambiental Única (LAU)

La LAU reúne los requisitos de una instalación en un sólo documento. Estos requisitos incluyen:

- Evaluación de impacto ambiental;
- Evaluación de riesgo;
- Emisiones atmosféricas (esto es, identificación de puntos o procesos de emisión; características de la chimenea; contaminantes y tasas de emisiones por fuente y actividad; equipo de control, y operación por horas, diarias, semanales, anuales);

- Uso de agua y descargas de agua residual; y
- Generación, manejo y transferencia de residuos peligrosos.

La LAU se requiere para instalaciones nuevas, aunque las instalaciones pueden presentar información voluntariamente. La LAU se otorga una sola vez y debe renovarse si la instalación se cambia de ubicación o cambia de giro industrial. También se debe renovar cuando se hacen modificaciones al proceso original que cambiarán las condiciones originales de descarga o emisiones de la instalación.

### *2.5.2. Cédula de Operación Anual (COA)*

La COA es un reporte anual de emisiones y descarga de contaminantes y transferencia de emisiones a la atmósfera, agua y suelos que ocurrieron durante el año calendario anterior. La COA solicita información sobre fuentes de emisiones y equipo para control de contaminación atmosférica, la identificación de contaminantes y sustancias específicas y sus descargas a diferentes medios (incluyendo descargas accidentales y/o contingencias). La COA también solicita información sobre uso de agua y descargas de aguas residuales, y la generación, tratamiento y transferencia de residuos peligrosos a ubicaciones fuera del sitio.

Cada establecimiento industrial debe preparar la COA para actualizar información sobre actividades y las bases en las cuales recibió la LAU. La COA contiene las secciones siguientes:

- I. Información Técnica General;
- II. Contaminación Atmosférica (p.ej., emisiones de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, PST, y HCT);
- III. Uso y Descarga de Agua;
- IV. Generación, Tratamiento y Transferencia de Residuos Peligrosos;
- V. Emisiones Anuales y Transferencia de Contaminantes Listados.



### *2.5.3. Programa Voluntario de Gestión Ambiental (PVG) y Programa Nacional de Auditoría Ambiental*

Como resultado de un esfuerzo por uniformizar los términos y objetivos con los cuales la industria lleva a cabo acciones proactivas hacia el ambiente que van mas allá de la ley, y que son sujetos de reconocimiento por la autoridad ambiental, se diseñaron y publicaron en 1997 los lineamientos para el desarrollo del Programa Voluntario de Gestión Ambiental de la Industria (PVG). La incorporación al PVG se iniciaría mediante la firma de un Convenio de Mejora Continua entre la empresa y la autoridad basado en el Programa de Gestión Ambiental elaborado por la empresa con apoyo en los lineamientos mencionados, contemplando tres aspectos básicos: la realización de las acciones propuestas de acuerdo al calendario establecido, el desarrollo de algún sistema de administración ambiental que apoye su ejecución y la búsqueda de la protección ambiental más allá de la normatividad. Sin embargo, estos Programas Voluntarios no han sido instrumentados pues se considera que la Auditoría Ambiental ha jugado el principal papel como instrumento de autorregulación ambiental para la industria en México. En la Figura 2.3 se ilustra el esquema considerado por el denominado Sistema Integrado de Regulación y Gestión Ambiental de la Industria (SIRG) que considera a los elementos anteriormente expuestos.

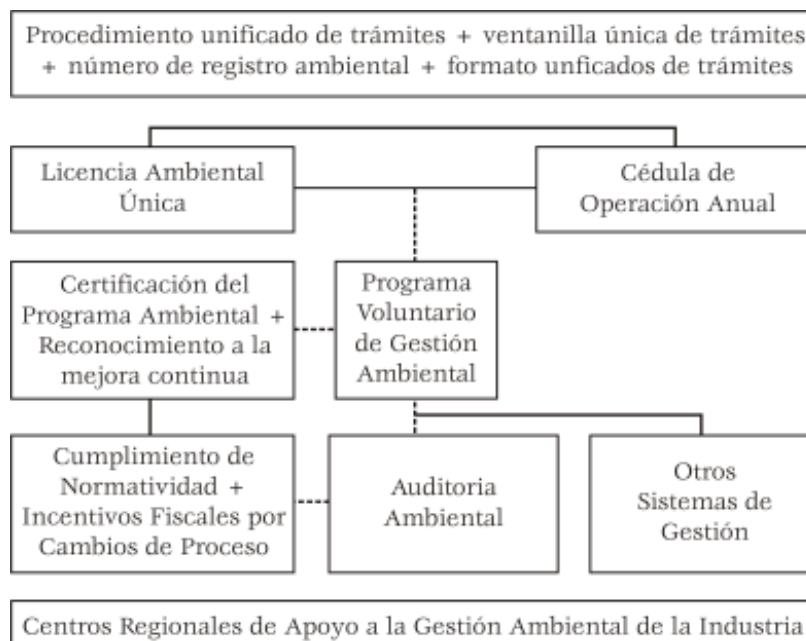
*Marco legal  
y normativo*

Por su parte, la Auditoría Ambiental ha sido promovida por la PROFEPA, a través de la Subprocuraduría de Auditoría Ambiental desde 1992. Su principal objetivo es la identificación, evaluación y control de los procesos industriales que pudiesen estar operando bajo condiciones de riesgo o provocando contaminación al ambiente, y consiste en la revisión sistemática y exhaustiva de una empresa de bienes o servicios en sus procedimientos y prácticas con la finalidad de comprobar el grado de cumplimiento de los aspectos tanto normados como los no normados en materia ambiental y poder

en consecuencia, detectar posibles situaciones de riesgo a fin de emitir las recomendaciones preventivas y correctivas a que haya lugar.

Como resultado de los trabajos de Auditoría Ambiental surge un informe en el que se plasma quién realizó la auditoría, objetivos, alcances, desarrollo, conclusiones y recomendaciones para regularizar el proceso auditado, así como las recomendaciones sobre acciones preventivas y correctivas a realizar, la instalación auditada concerta con la autoridad el Plan de Acción, a fin de establecer plazos, responsabilidades y costos para la solución de los problemas detectados, dándose seguimiento a los compromisos asumidos mediante supervisión posterior. Cuando se logra el cumplimiento total del Plan de Acción se entrega un certificado de Industria Limpia o Cumplimiento Ambiental, cuya vigencia es de 2 años.

FIG. 2-3. SISTEMA INTEGRADO DE REGULACIÓN  
Y GESTIÓN AMBIENTAL DE LA INDUSTRIA



#### *2.5.4. Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC)*

El RETC proporciona datos detallados con respecto a los tipos, ubicaciones y cantidades de sustancias descargadas en el sitio y transferencia fuera del sitio por instalaciones industriales. La información recopilada a través de la COA proporciona las bases para la actualización periódica del RETC.

*Marco legal  
y normativo*



# PLANEACIÓN Y GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE Y USOS DE LOS INVENTARIOS DE EMISIONES

## 3

### 3.1. EL PROCESO DE PLANEACIÓN Y GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE

El proceso de planeación y gestión de la calidad del aire sigue, en general, los tres pasos que a continuación se presentan:

- Documentación de niveles actuales de calidad del aire y comparación con las normas y criterios de calidad del aire;
- Planeación de cómo las normas se cumplirán en el futuro; y
- Gestión de las estrategias para promover mejores niveles de calidad del aire y cumplir con las normas y criterios de calidad del aire.

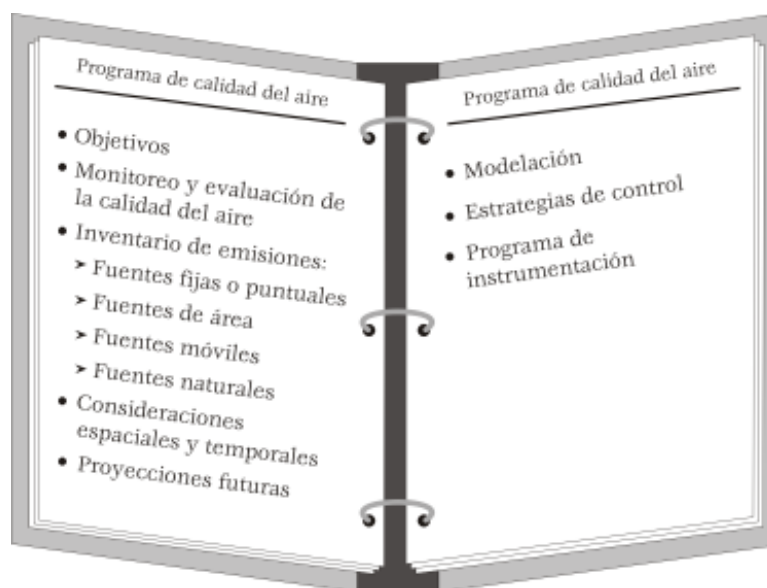
El primer paso es identificar las metas de la región para concentraciones atmosféricas en el aire ambiente. Por lo general, estas metas toman la forma de normas que especifican niveles aceptables de calidad del aire. Estas normas se basan en investigaciones científicas respecto a efectos en la salud de la contaminación atmosférica (ver Cuadro 2-3). Así mismo, se han establecido normas que especifican de emisiones para muchos contaminantes atmosféricos en México los límites máximos permisibles.

Los programas de calidad del aire pueden tomar diversas formas tal como se ilustra en la Figura 3-1, y a menudo abordan los siguientes temas:

- Metas y objetivos de calidad del aire que se propone alcanzar;
- Descripción y cuantificación de las condiciones actuales de la calidad del aire;
- Niveles de emisiones actuales y futuros;
- Predicciones de condiciones futuras de la calidad del aire basadas en proyecciones del inventario de emisiones y modelación;
- Estrategias para reducir niveles de emisiones y lograr alcanzar metas de calidad del aire;
- Descripción del programa de instrumentación de las estrategias.

Los primeros elementos de un programa de gestión de la calidad del aire son las metas y objetivos, incluyendo el cumpli-

FIGURA 3-1. TEMAS QUE INCLUYE UN PROGRAMA DE CALIDAD DEL AIRE



mimiento de las normas de calidad del aire. Para determinar el cumplimiento con estas normas, se emplean redes de monitoreo de calidad del aire a través de las cuales se miden los niveles actuales de contaminación del aire en la región. Aunque una región puede estar cumpliendo con las normas, el crecimiento económico y de la población pueden llevar a futuras excedencias a las normas. Por esta razón, los programas de calidad del aire deben considerar estrategias para lograr y mantener el cumplimiento de las normas de calidad del aire.

Después de adoptar normas de calidad del aire e implementar el monitoreo atmosférico, el siguiente paso en el proceso de planeación es identificar y analizar las posibles estrategias para lograr y mantener el cumplimiento de las normas. Este análisis se lleva a cabo empleando herramientas de modelación de calidad del aire que a su vez tienen como base a los inventarios de emisiones e información sobre meteorología y perfiles del terreno.

*Planeación  
y gestión de la  
calidad del aire  
y usos de los  
inventarios  
de emisiones*

### 3.2. USUARIOS Y USOS DE LOS INVENTARIOS DE EMISIONES EN LA PLANEACIÓN Y LA GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE

Los usuarios del inventario de emisiones en México incluyen a diversas áreas de SEMARNAT y otras instituciones federales, estatales y municipales, universidades e instituciones de investigación, el sector industrial, organizaciones no gubernamentales (ONGs) y consultores.

El inventario de emisiones es un componente clave de todo programa de gestión de la calidad del aire. Antes de desarrollar estrategias para mejorar la calidad del aire, debe recopilarse información sobre las emisiones para determinar los tipos de fuentes de emisiones, cantidades de contaminantes emitidos, características temporales y espaciales de las fuentes, procesos y prácticas de control de emisiones que usan las fuentes en la región. El inventario de emisiones se usa para identificar fuentes que están sujetas a posibles medidas de control, para medir la efectividad de los programas de con-

trol y predecir futuros niveles de calidad del aire a través de modelación. Los datos de emisiones también se utilizan para evaluar la relación costo-efectividad de posibles estrategias de control de la contaminación.

Las necesidades dictan la manera en que se utilizan los inventarios. Por ejemplo, para una solicitud de licencia ambiental de una planta manufacturera se puede utilizar un inventario de emisiones de esa fuente en particular, mientras que para el diseño de un plan regional de gestión de la calidad del aire es necesario contar con un inventario regional de emisiones.

Los principales usos de los inventarios de emisiones incluyen:

- Identificar posibles medidas para la reducción de emisiones a considerarse en los programas de gestión de la calidad del aire;
- Estimar la calidad del aire futura a través de modelación y datos sobre distribución espacial y temporal de las emisiones;
- Determinar tendencias en los niveles de emisiones;
- Determinar los efectos de las medidas de control en las tasas de emisiones de una región;
- Apoyar el establecimiento de programas de intercambio de emisiones;
- Dar a conocer el reporte de emisiones de las fuentes.

Los inventarios de emisiones se emplean durante todo el proceso de la planeación y la gestión de la calidad del aire. Los datos que contiene el inventario se emplean como puntos iniciales de referencia también para entender los orígenes de las emisiones en el área. El inventario de emisiones proporciona una visión general de posibles causas del no-cumplimiento con las normas de calidad del aire, especialmente durante condiciones meteorológicas adversas. Además, el inventario juega un papel muy importante al proporcionar la información clave para los modelos de calidad del aire, incluyendo lo siguiente:



- Tipos de fuentes;
- Tipos de contaminantes;
- Tasas de emisión;
- Ubicación de las fuentes;
- Alturas de las chimeneas y otros puntos de emisiones;
- Proyecciones futuras de emisiones.

En los últimos 10 años se han recopilado varios inventarios de emisiones desagregados por hora y por malla geográfica para apoyar estudios de modelación de la calidad del aire en México. Por ejemplo, la base de datos del inventario de emisiones tóxicas para Ambos Nogales fue recopilada para apoyar evaluaciones de riesgos a la salud a lo largo de la frontera México-Estados Unidos de América.

*Planeación  
y gestión de la  
calidad del aire  
y usos de los  
inventarios  
de emisiones*

Otro de los usos más importantes de los inventarios de emisiones es poder establecer variaciones horarias y temporales de emisiones. La mayoría de los estudios de modelación de la calidad del aire habrán de considerar variaciones temporales de emisiones a fin de reflejar las condiciones más críticas de calidad del aire. El objetivo general de este tipo de estudios es establecer un conjunto de inventarios de emisiones representativos de los niveles típicos de calidad del aire.

Las principales fuentes que se pueden incluir en una base de datos para establecer variaciones horarias en las emisiones son plantas de generación de energía, refinerías, aeropuertos y otras fuentes industriales de importancia. La información también se puede recopilar para condiciones de tráfico vehicular poco comunes y para episodios como incendios forestales y erupciones de volcanes. Las variaciones en la temperatura ambiente y características de combustibles para vehículos son el tipo de información que se puede usar para ajustar el inventario de emisiones a fin de que refleje las condiciones de un día en especial.



# PROPÓSITO Y PLANEACIÓN DE UN INVENTARIO DE EMISIONES

---

## 4

### 4.1. PROPÓSITO DE UN INVENTARIO DE EMISIONES

El primer paso técnico en el desarrollo de un inventario de emisiones es la definición de su propósito, el cual no debe menospreciarse en la urgencia por iniciar las actividades de desarrollo del inventario. El tipo de información a considerarse, así como la mayor parte de las características de un inventario de emisiones, se definen en función de su propósito. En muchos casos, un inventario será desarrollado para alcanzar dos o tres propósitos principales.

Una vez establecido el propósito de un inventario de emisiones, podrán definirse tanto sus características como los pasos posteriores para la recopilación de datos y la modelación necesaria para su actualización. Por esta razón, es crítico llegar a un acuerdo sobre el propósito y los usos del inventario. También es importante que el propósito sea identificado antes de iniciar cualquier actividad importante dado que, en caso contrario, es probable que parte del trabajo realizado carezca de valor para el inventario.

En este contexto, es fundamental que el propósito de un inventario de emisiones sea identificado explícitamente. Una definición explícita de los propósitos del inventa-

rio asegurará la congruencia necesaria a lo largo de su desarrollo. Típicamente, los propósitos de un inventario son descritos en un documento de planeación que se elaboran al inicio de los esfuerzos. Con frecuencia, este documento es denominado «*plan de trabajo*» o «*protocolo del inventario de emisiones*». Además del propósito, el plan de trabajo deberá incluir una descripción de las características más relevantes del inventario, así como los pasos técnicos propuestos para su desarrollo. Este documento de planeación constituye una guía para los responsables del inventario y les permite asegurar el desarrollo exitoso del mismo.

Existen muchos propósitos diferentes para el inventario que varían dependiendo de las necesidades y circunstancias específicas. Por ejemplo, el propósito de un inventario de emisiones de un establecimiento industrial difiere significativamente con respecto al de otro inventario de modelación regional a gran escala. El inventario para un establecimiento industrial puede utilizarse para determinar el grado de cumplimiento con la normatividad, mientras que el de modelación regional puede ser desarrollado para evaluar la calidad del aire en una zona con múltiples fuentes de emisiones.

Algunos de los propósitos más comunes para el desarrollo de un inventario de emisiones son los siguientes:

- Estimar los efectos de las emisiones atmosféricas en la calidad del aire a través de estudios de modelación.
- Cumplir los requerimientos de reporte de emisiones como la cédula de operación anual y determinar el grado en que una fuente cumple con las condiciones de la licencia ambiental y las normas de emisiones.
- Estimar los cambios en las emisiones de las fuentes bajo distintos esquemas de regulación ambiental.
- Determinar especificaciones técnicas de equipos de control de emisiones.

- Detectar variaciones de los niveles de emisión en el tiempo.
- Identificar la contribución en las emisiones totales por las diferentes categorías de fuente de emisión o por fuentes específicas.
- Identificar oportunidades y requerimientos para la introducción de derechos de emisión comercializables.
- Desarrollar inventarios de emisiones integrados por sector económico o zonas geográficas.

*Propósito  
y desarrollo de  
un inventario  
de emisiones*

Como se ilustra en la Figura 4-1, la identificación del propósito del inventario requiere la participación y opinión de las personas o instituciones relevantes. Primero, la participación de los usuarios finales del inventario es crucial, dado que el uso planeado, así como la facilidad de uso, serán factores significativos en el desarrollo de un inventario de emisiones. Además, debido a que estas herramientas desempeñan un papel fundamental en la gestión de la calidad del aire, debe solicitarse la participación de las entidades regulatorias y gubernamentales pertinentes, y considerarse las políticas relacionadas.

En diversas situaciones, las necesidades y objetivos de estas entidades serán la fuerza conductora detrás del desarrollo de un inventario de emisiones.

Finalmente, la participación de quienes desarrollarán el inventario de emisiones, incluyendo al gobierno, la industria y posibles consultores también es importante. Estos individuos deben comprender claramente el propósito del inventario, de manera tal que el producto resultante cubra todas y cada una de las necesidades.

Durante la identificación del propósito del inventario debe hacerse un esfuerzo por considerar las necesidades futuras de la gestión de la calidad del aire, si bien algunas veces pueden ser difíciles de proyectar. En otros casos, sin embargo, estas necesidades serán evidentes, y una pequeña ampliación de los recursos puede incrementar de manera significativa la utilidad final del inventario.

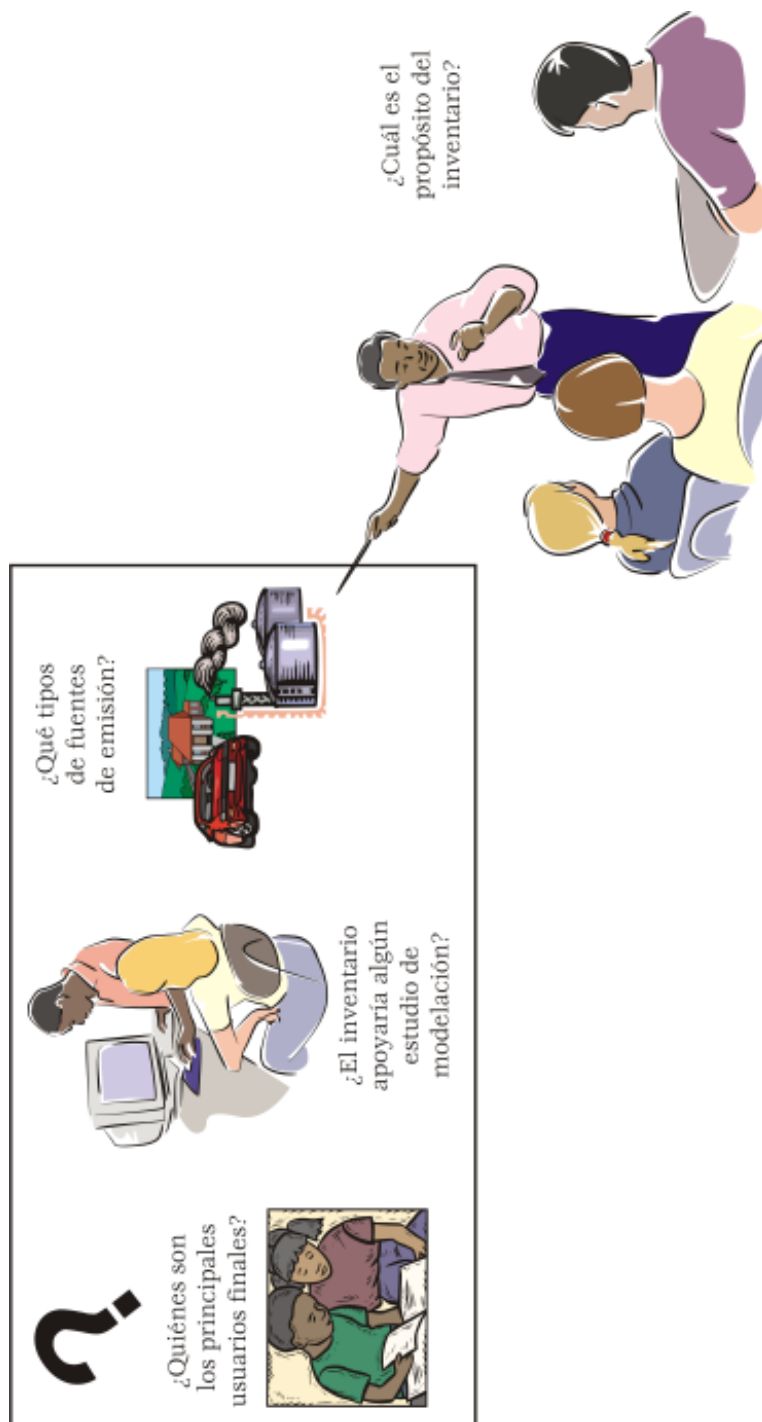


FIGURA 4-1. IDENTIFICACIÓN DEL PROPÓSITO DEL INVENTARIO

## 4.2. PLANEACIÓN DE UN INVENTARIO DE EMISIONES

### 4.2.1. Planeación de un inventario de emisiones: nueve pasos necesarios

La Figura 4-2 presenta los nueve pasos técnicos que se deben considerar en la planeación de un inventario de emisiones.

#### ➤ *Identificar el propósito de un inventario de emisiones*

Como primer paso técnico en la planeación de un inventario de emisiones, es fundamental la identificación de su propósito o uso final. El propósito general ayudará a determinar muchos de los pasos posteriores. Si el propósito no ha sido claramente identificado, es posible que al ser terminado, el inventario no cubra las necesidades requeridas. Por ejemplo, las características de los datos necesarios para el desarrollo de un inventario para modelación son significativamente diferentes de otros tipos de inventarios.

*Propósito  
y desarrollo de  
un inventario  
de emisiones*

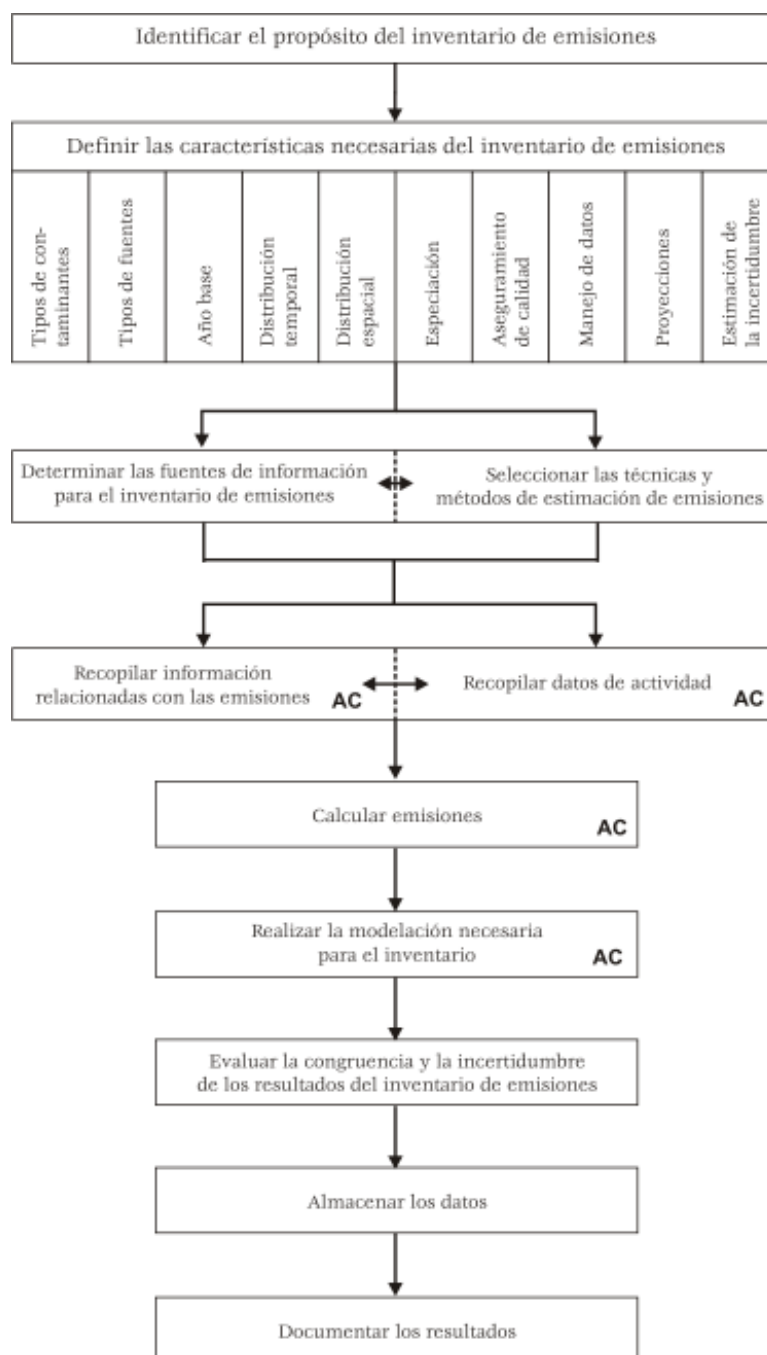
#### ➤ *Definir las características necesarias para el inventario de emisiones*

Cada inventario de emisiones posee características específicas de acuerdo con el propósito que busca alcanzarse (p.ej. tipos de contaminantes y de fuentes, año base, etc.). Algunos inventarios pueden considerar sólo algunas de estas características, mientras que otros pueden requerir especificaciones muy detalladas para cada una de las características que se enuncian en la Figura 4-2.

#### ➤ *Determinar las fuentes de información para el inventario de emisiones y seleccionar las técnicas y métodos de estimación de emisiones*

Una vez que las características requeridas han sido identificadas, es necesario determinar las fuentes de información relacionada con las emisiones, así como seleccionar las téc-

FIG. 4-2. NUEVE PASOS EN LA PLANEACIÓN DE UN INVENTARIO DE EMISIONES





nicas y métodos más adecuados para el desarrollo del inventario. En general, estos dos pasos están interrelacionados y, en algunos casos, la disponibilidad de información determinará los métodos de estimación factibles. En otras situaciones, la técnica deseada determinará el tipo de datos que deben ser recopilados.

➤ *Recopilar la información relacionada con las emisiones y datos de actividad*

Propósito  
y desarrollo de  
un inventario  
de emisiones

Después de que las fuentes de información y las metodologías de estimación han sido identificadas, el siguiente paso consiste en recopilar los datos relacionados con las emisiones, que incluyen factores de emisión y parámetros relacionados. Es posible que algunos de los datos relacionados con las emisiones ya estén disponibles, mientras que otros requieren ser desarrollados para ser aplicados en el inventario específico. Típicamente, los datos de actividad incluyen información sobre las horas de operación, consumo de combustibles y otros parámetros de las actividades de proceso para las fuentes identificadas. Debido a que tanto los datos relacionados con las emisiones como los de actividad son necesarios para estimar las emisiones, con frecuencia estos dos pasos se ejecutan de manera simultánea.

➤ *Realizar la estimación de emisiones y la modelación necesaria*

Una vez que todos los datos necesarios han sido recopilados, se deben hacer los cálculos de estimación de emisiones. Estos cálculos se realizan conforme a la técnica o metodología de estimación de emisiones seleccionada. Los cálculos generalmente se hacen de manera electrónica, especialmente cuando se trata de inventarios más complejos. Después de que las emisiones han sido calculadas, y en caso necesario, debe ejecutarse la modelación del inventario, a fin de determinar la distribución espacial y temporal, la especiación quí-

mica y la proyección de las emisiones en el tiempo. Una discusión más profunda sobre la modelación de inventarios se encuentra en los capítulos correspondientes a las Técnicas de Estimación de Emisiones.

➤ *Aseguramiento de calidad*

El aseguramiento de calidad (AC) es un elemento que debe realizarse durante todo el proceso de desarrollo del inventario de emisiones. En particular, debe iniciar con la recopilación de información y continuar durante los cálculos de las emisiones y la modelación. Este concepto se indica con las siglas AC en la Figura 4-2.

➤ *Evaluar la congruencia e incertidumbre de los resultados del inventario de emisiones*

Después de que el inventario ha sido terminado, es necesario analizarlo y evaluar la congruencia e incertidumbre de los resultados. En su momento pueden ser importantes las comparaciones con las expectativas y la experiencia previa en inventarios similares desarrollados anteriormente o para otras regiones geográficas. Por otro lado, un análisis de la incertidumbre del inventario revelará sus áreas de fortaleza, así como aquellas que pudieran ser el objetivo de futuras mejoras.

➤ *Almacenamiento electrónico de datos*

Uno de los pasos finales del desarrollo de un inventario de emisiones es el archivo de los datos y la información relacionada. Dicho archivo debe conservarse, ya que constituye la base para el desarrollo de inventarios en el futuro.

➤ *Documentar resultados*

El último paso del desarrollo de un inventario de emisiones es la documentación de resultados. Además de los resultados reales del inventario, la documentación también debe incluir las metodologías, datos y supuestos que fueron utilizados en

el proceso de desarrollo. En general, debe proporcionarse información suficiente para permitir que otras partes interesadas reproduzcan y analicen los resultados. Este paso de documentación constituye una importante referencia para los futuros esfuerzos de inventario.

#### *4.2.2. Metodos y costos comparativos de la estimación de emisiones*

El desarrollo de un programa de inventario de emisiones requiere de una combinación de enfoques. En este sentido, no existe un método único que pueda usarse para estimar las emisiones de todas las categorías de fuente. La Figura 4-3 ilustra varios métodos para estimar emisiones cuando se analizan los costos del inventario en relación con la calidad de los resultados. En regiones con serios problemas por la contaminación del aire se deben instrumentar métodos más elaborados y costosos, (p.ej., el muestreo en la fuente para determinar las emisiones). Y en aquellas regiones que tienen problemas ambientales mínimos, el uso de métodos de estimación menos costosos, como el de los factores de emisión, puede ser aceptable.

En la presente guía se describen los métodos de estimación de emisiones que se en listan en la Figura 4-3. De estos métodos, los mas utilizados actualmente son los relativos a factores de emisión. En este contexto, se asume que la ecuación fundamental para estimar emisiones es:

$$E = A \times FE \times [1 - (EC/100 \times EN \times AN)] \times T \times M\%$$

donde:  $E$  = Tasa de emisión

$A$  = Tasa de actividad (p.ej., producción, población, etc.)

$FE$  = Factor de Emisión (kg de contaminante/unidad de tasa de actividad)

$EC$  = Eficiencia de control (%)

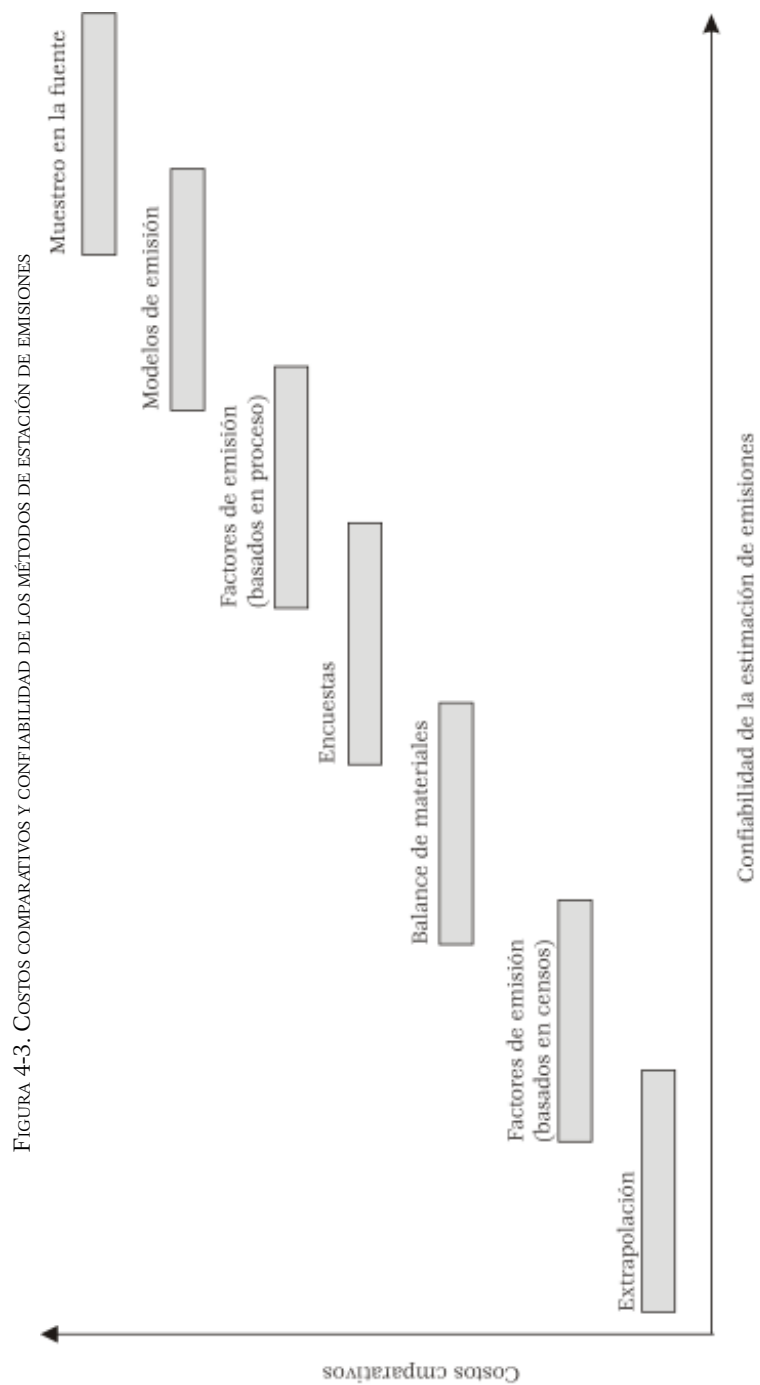
$EN$  = Efectividad de la normatividad

$AN$  = Alcance de la normatividad

$T$  = Ajuste temporal

$M\%$  = Masa porcentual de contaminante

*Propósito  
y desarrollo de  
un inventario  
de emisiones*



La exactitud de la estimación depende de la exactitud relativa de cada uno de los términos de la ecuación. Los errores introducidos en cualquiera de ellos afecta la estimación de la emisión.

➤ *Tasas de actividad, A*

Las tasas de actividad se relacionan directamente con los procesos que generan emisiones. En los procesos industriales, las tasas de actividad por lo general están dadas en términos de la masa producida/consumida por unidad de tiempo (p.ej., kg, ton ó lt mensuales de material utilizado o manufacturado). De manera semejante, para el equipo en que se quema combustible, los datos se dan como tasas de consumo de combustible (p.ej., tons, lt ó m<sup>3</sup>, ó MJ por hora o por mes). En muchos casos se deben aplicar factores de conversión para transformar los valores de consumo o de producción reportados en unidades que correspondan a las unidades del factor de emisión. Además, si se utilizan factores de emisión de Estados Unidos, también pueden ser necesarias conversiones de unidades inglesas a métricas. Por lo general, las tasas de actividad de fuentes puntuales se basan en procesos, y es muy probable que estos datos sean recopilados por el personal de la planta para reportarlos en cuestionarios industriales o censos (p.ej., los realizados por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [INEGI]). Con frecuencia, las tasas de actividad para fuentes de área son parámetros sustitutos correlacionados con el proceso emisor (p.ej., número de empleados). Las tasas de actividad para fuentes de área generalmente son recopiladas a partir de los datos disponibles de censos o haciendo encuestas en instalaciones pequeñas.

*Propósito  
y desarrollo de  
un inventario  
de emisiones*

➤ *Factores de emisión, FE*

Un factor de emisión es una relación entre la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera y una unidad de actividad. En general, los factores de emisión se clasifican en dos tipos: los basados en procesos y los basados en censos. Por lo

común los primeros se usan para hacer estimaciones de las emisiones de fuentes puntuales, y a menudo se combinan con los datos de actividad recopilados en encuestas o con balances de materiales. Por otra parte, los factores de emisión basados en censos, se usan para hacer estimaciones de las emisiones de fuentes de área. La fuente más completa de factores de emisión específicos de los E.U. para los contaminantes criterio es la publicación *AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors (U.S. EPA, 1995a)*. Asimismo, el Sistema de Recuperación de Información sobre Factores de Emisión de la EPA (*Factor Information Retrieval System – FIRE-*) contiene una descripción de factores de emisión de contaminantes del aire, tanto criterio como tóxicos.

➤ *Eficiencia de control, EC*

La eficiencia global de control es el producto de la eficiencia de captura por la eficiencia del dispositivo de control. La eficiencia de captura indica el porcentaje de la corriente de emisión que es llevado al sistema de control y la eficiencia del dispositivo de control indica el porcentaje de contaminante atmosférico que es removido de la corriente de emisión antes de liberarla a la atmósfera. Los datos de la eficiencia del dispositivo de control pueden ser determinados a partir de muestreos en la fuente midiendo las concentraciones del contaminante antes y después de la aplicación del dispositivo de control; a partir de las especificaciones de diseño del fabricante o a partir de datos reportados en la literatura técnica relacionada. La eficiencia global de control también puede requerir de ajustes para reflejar el tiempo de paro del equipo de control durante las operaciones de mantenimiento.

➤ *Efectividad de la normatividad, EN*

La experiencia con los inventarios de emisiones ha revelado que los programas regulatorios tienen una efectividad menor al 100 por ciento para la mayor parte de las categorías de

fuerza. La efectividad de la normatividad refleja la capacidad de un programa regulatorio para lograr las reducciones requeridas en las emisiones. El propósito de este factor es tomar en cuenta el hecho de que la mayor parte de los dispositivos de control no logran reducir las emisiones hasta las tasas planeadas. Los cambios en el proceso, las fallas en el funcionamiento del equipo de control, los errores del operador, el mantenimiento del equipo y otras operaciones no rutinarias son ejemplos típicos de ocasiones en que puede esperarse que el desempeño del dispositivo de control sea inferior al óptimo. Una fracción por default del 0.80 (igual a una efectividad del 80 por ciento) fue establecida por la EPA para estimar la efectividad de la normatividad requerida en algunas regiones; sin embargo, el uso de un único valor para todas las categorías de fuente ha sido cuestionado y actualmente se busca desarrollar factores de efectividad de la normatividad para cada tipo específico de fuente.

*Propósito  
y desarrollo de  
un inventario  
de emisiones*

➤ *Alcance de la normatividad, AN*

El alcance de la normatividad es el grado en el que una regulación abarca las emisiones de todas las fuentes dentro de una categoría. Por ejemplo, se puede establecer una norma que indique que sólo las fábricas de pinturas más grandes deben cumplir con los nuevos requerimientos de control. Si las emisiones de fuentes de área de todas las fábricas de pinturas se estiman en conjunto como una sola categoría de fuente, entonces se debe desarrollar un factor de alcance de la normatividad, ya que no todas las fábricas serán sujetas a la norma y, por lo tanto, no todas las emisiones de pintura deberán tener más control.

➤ *Ajuste temporal, T*

Tradicionalmente, la mayor parte de los inventarios estiman emisiones anuales. Por lo tanto, todos los procedimientos, factores de emisión y de corrección, así como las tasas de

actividad consideradas en el inventario han sido desarrollados para representar condiciones anuales promedio.

Para determinadas situaciones deben hacerse ajustes temporales a las estimaciones anuales de emisiones. Por ejemplo, con frecuencia, los altos niveles de ozono están asociados con los meses más cálidos del año, en tanto que las emisiones de algunas fuentes varían de manera estacional. Para los propósitos de planeación y gestión de la calidad del aire, en los inventarios de ozono las emisiones de los precursores de este contaminante deberían ser determinadas durante los meses más críticos. La temporada pico del ozono en la mayor parte de las áreas de EU va de mayo a septiembre. Sin embargo, en la Ciudad de México, el invierno también representa una estación crítica. Así mismo, el uso de modelos de calidad del aire a nivel regional puede requerir tasas de emisión horarias. Los perfiles temporales por default (es decir, horas/día, días/semana, semanas/año) se utilizan con frecuencia para desarrollar estimaciones horarias a partir de estimaciones anuales.

➤ *Porcentaje en masa del contaminante, M%*

En algunos casos, el contaminante o grupo de contaminantes definido por un factor de emisión no es el mismo que el definido en un inventario de emisiones. Por ejemplo, varios compuestos orgánicos son considerados fotoquímicamente no reactivos por la EPA, conforme a la Ley de Aire Limpio de EU *Clean Air Act (CAA)*, y no se incluyen en los inventarios de emisiones de COVs en los EU (40 CFR 60, 1992). Muchos de los compuestos no reactivos son COVs halogenados que tienen su principal aplicación como limpiadores de metales y de telas, refrigerantes y propelentes de productos en aerosol. Una importante categoría industrial que utiliza estos compuestos halogenados es la de desengrasado.

En otro ejemplo, la gran mayoría de las emisiones de rellenos sanitarios están constituidas por metano, que tampoco se considera un COV. Dado que las emisiones de estos diversos procesos están constituidas por compuestos orgánicos no



reactivos, éstos podrían ser excluidas de los inventarios de emisiones para algunos propósitos como la modelación del ozono.

De manera similar, los perfiles de partículas (PM) que muestran datos sobre la distribución del tamaño de partícula, pueden ser utilizados para determinar el porcentaje en masa de las emisiones de partículas suspendidas totales (PST) que deberían incluirse en un inventario de partículas con diámetro aerodinámico inferior a 10 micrómetros (PM<sub>10</sub>).

El porcentaje en masa del contaminante también puede utilizarse para estimar las emisiones de una especie química determinada. Por ejemplo, los perfiles de especiación pueden usarse para obtener datos sobre el porcentaje de berilio en las emisiones totales de partículas relacionadas con operaciones mineras, o el porcentaje de benceno en las emisiones totales de COVs de un tanque de almacenamiento.

*Propósito  
y desarrollo de  
un inventario  
de emisiones*



## CONTAMINANTES A CONSIDERAR EN UN INVENTARIO DE EMISIONES

# 5

En general, un contaminante del aire puede definirse como cualquier sustancia emitida a la atmósfera que altere la composición natural del aire y pueda ocasionar efectos adversos en seres humanos, animales, vegetación o materiales. En este sentido, el propósito u objetivos de un inventario de emisiones determinan los contaminantes que deben ser incluidos. Por ejemplo, un inventario de contaminantes criterio deberá incluir hidrocarburos totales (HCT), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), óxidos de azufre (SOx), partículas con diámetro aerodinámico menor que 10 micras (PM<sub>10</sub>) y plomo (Pb). Por otro lado, un inventario de ozono deberá enfocarse en los precursores de este compuesto, es decir, compuestos orgánicos totales (COV), CO y NOx. Finalmente, un inventario de visibilidad incluirá emisiones de SOx, NOx, partículas finas [diámetro aerodinámico menor que 2.5 micras (PM<sub>2.5</sub>)], carbón elemental (Cele), carbón orgánico (Corg) y amoníaco (NH<sub>3</sub>).

Una vez que los contaminantes que deben ser incluidos en el inventario han sido identificados, es importante definir claramente a cada uno de ellos, con el objetivo de que todos los datos recopilados sean consistentes y arrojen resultados precisos sobre su emisión a la atmósfera. Si bien existe una «terminología convencional para los contaminantes», se recomienda que todos sean definidos por escrito al inicio del esfuerzo de inventario, con el objetivo de reducir la confusión con respecto

a las sustancias a ser inventariadas. Cabe señalar que muchos contaminantes son definidos por sus nombres químicos y que, con frecuencia, pueden tener sinónimos y nombres comerciales. Por ejemplo, cuando éstos son dados por los fabricantes de mezclas, buscando ocultar la información del derecho de marca; los mismos componentes pueden tener varios nombres comerciales. Tal es el caso del Freón 11, que es el nombre comercial del triclorofluorometano (CFC-11). Para garantizar la identificación adecuada de sustancias, su número de identificación debe consultarse en el *Chemical Abstract Service* (CAS), junto con la lista de sinónimos. Finalmente, supongamos que se ha determinado que un inventario sólo incluirá emisiones de «partículas». Entonces, los responsables del inventario deben generar estimaciones de emisión para partículas totales (PM), PM<sub>10</sub> ó PM<sub>2.5</sub>. Para convertir estos diferentes tipos de emisiones de partículas a la base común deseada, se requiere una cantidad considerable de tiempo extra. Al definir de manera explícita los contaminantes desde el inicio del inventario, es posible evitar este desperdicio de esfuerzo.

Las secciones siguientes proporcionan definiciones detalladas de los contaminantes o categorías de contaminantes más comúnmente inventariados.

### 5.1. COMPUESTOS ORGÁNICOS TOTALES Y VOLÁTILES

Los compuestos orgánicos son emitidos a la atmósfera por diversas fuentes. Sin embargo, en general se considera que los compuestos orgánicos son emitidos, principalmente, por fuentes de combustión o de evaporación. En conjunto, los gases considerados en las emisiones de hidrocarburos son conocidos como compuestos orgánicos totales (COT). Este concepto incluye a todos los compuestos carbonados excepto los carbonatos, carburos metálicos, monóxido de carbono (CO), bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y ácido carbónico.

Con frecuencia, en el contexto de la gestión de la calidad del aire, los COT son referidos también como gases orgánicos totales (GOT) o como hidrocarburos totales (HCT o HC).

La consideración de diferentes subcategorías de hidrocarburos es importante en la definición de contaminantes a inventariar a fin de que se eviten confusiones. Esto es especialmente significativo en el cálculo de emisiones de combustión y de procesos industriales, donde suelen manejarse diferentes grupos de hidrocarburos. De acuerdo a la descripción de grupos de hidrocarburos que se ilustra en la Figura 5-1, puede asumirse que:

$$\text{COT} = \text{HCT} + \text{aldehídos}$$

$$\text{HCT} = \text{COT} - \text{aldehídos}$$

$$\text{HCNM} = \text{HCT} - \text{CH}_4$$

*Contaminantes  
considerados en  
un inventario de  
emisiones*

Desde una perspectiva de calidad del aire, es importante señalar que algunos de los COT emitidos a la atmósfera tienen una reactividad fotoquímica muy baja, o bien, carecen de ella. En consecuencia, no participan en la formación de ozono. La EPA ha identificado a los siguientes compuestos con una reactividad fotoquímica despreciable o inexistente:

- Metano
- Etano
- Acetona
- Percloroetileno (tetracloroetileno)
- Cloruro de metilo (diclorometano)
- Metil cloroformo (1,1,1- tricloroetano)
- Diversos clorofluorocarbonos (CFCs)
- Diversos hidroclorofluorocarbonos (HCFCs)
- Diversos hidrofluorocarbonos (HFCs)
- Diversos perfluorocarbonos (PFCs).

Es posible encontrar información adicional sobre estos compuestos, así como un listado de otros compuestos no fotoquímicamente reactivos menos comunes en el *U.S. Code of Federal Regulations* (CFR, 1997). Este listado es actualizado periódicamente, en la medida en que la EPA designa nuevas sustancias. La lista actual se presenta en el Apéndice B.

Los compuestos considerados fotoquímicamente reactivos son denominados gases orgánicos reactivos (GOR) o compues-

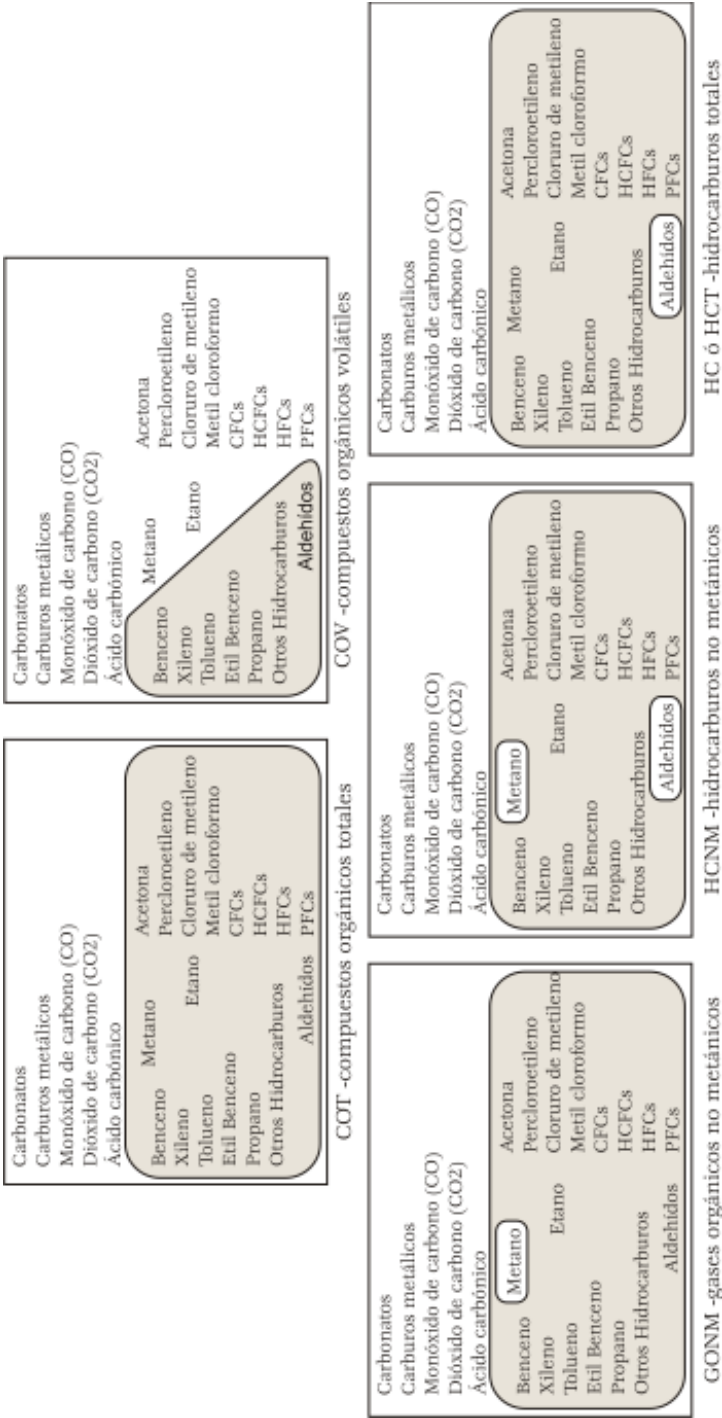
tos orgánicos volátiles (COV). Entonces, por definición, los GOR o COV son un subconjunto de los GOT y son gases fotoquímicamente reactivos formados por hidrocarburos, que pueden participar en la formación de *smog*. Algunos de los compuestos en esta categoría de contaminantes incluyen aldehídos tales como el formaldehído y acetaldehído, además de compuestos aromáticos como el benceno. La exposición de corto plazo a estas sustancias puede ocasionar la irritación del tracto respiratorio. En el largo plazo, la exposición a ciertas especies de COT puede incrementar los casos de cáncer. Varias de las especies de COV son, de hecho, consideradas como contaminantes tóxicos del aire, tal como se describe más adelante.

Los factores de emisión publicados en el documento denominado AP-42 de la EPA están relacionados casi exclusivamente a estos compuestos. Otras definiciones de hidrocarburos que en ocasiones aparecen en la literatura de calidad del aire y de factores de emisión incluyen: gases orgánicos no metano (GONM), hidrocarburos no metanos (HCNM), hidrocarburos totales (HCT) e hidrocarburos (HC).

La Figura 5-1 ilustra la relación entre estas diversas definiciones de hidrocarburos. Las áreas sombreadas indican los compuestos incluidos en cada definición. Las definiciones de GONM, HCNM, HCT e HC generalmente son utilizadas sólo para los procesos de combustión.

Es recomendable que se desarrollen estimaciones de emisiones tanto para COT como para COV, de manera tal que el usuario tenga flexibilidad para elegir el grupo de contaminantes adecuado para el propósito del inventario de emisiones. Si se aplican factores de emisión para otros hidrocarburos menos comunes, puede ser necesario ajustarlos como COT y COV para cuantificar la presencia o ausencia de metano, etano y aldehídos, como se muestra en la Figura 5-1. En un principio podría parecer innecesario inventariar a los COT, pero el desarrollo de estimaciones de emisiones de estos contaminantes puede facilitar un gran número de funciones de reporte para compuestos como los gases de efecto invernadero y los contaminantes tóxi-

FIGURA 5-1. DESCRIPCIÓN GRÁFICA DE GRUPOS DE HIDROCARBUROS



Contaminantes  
considerados en  
un inventario de  
emisiones

cos del aire. Adicionalmente, las emisiones de GOT son más adecuadas para aplicarse en los modelos tridimensionales de malla utilizados para modelar la formación de ozono y de aerosoles. Esto se debe a que los modelos consideran mecanismos químicos que dependen de las estimaciones de emisiones basados en los perfiles de especiación de los COT. Una descripción detallada de estimaciones desagregadas por grupos de hidrocarburos puede consultarse en el inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002.

## 5.2. MONÓXIDO DE CARBONO

El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro e inodoro que resulta de la combustión incompleta de combustibles fósiles. La mayor proporción del CO emitido en áreas urbanas es generada por los vehículos automotores. La exposición de individuos no fumadores a niveles de CO menores que 15 a 20 ppm aparentemente no produce efectos adversos en la salud. En niveles superiores a éstos, la carboxihemoglobina en la sangre se eleva, ocasionando alteraciones en los sistemas nervioso y cardiovascular. Los individuos fumadores tienen una concentración de carboxihemoglobina más elevada y, por lo tanto, pueden experimentar efectos adversos en niveles ambientales menores de CO.

## 5.3. ÓXIDOS DE NITRÓGENO

El término óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) es un concepto amplio que incluye al monóxido de nitrógeno (NO), al dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) y a otros óxidos de nitrógeno menos comunes. En general estos compuestos se forman durante los procesos de combustión, son precursores del ozono, y normalmente son eliminados de la atmósfera por procesos de depositación seca y húmeda. No se considera que el NO cause efectos adversos sobre la salud en concentraciones ambientales; sin embargo, la exposición al  $\text{NO}_2$  puede ocasionar irritación del tracto respiratorio y, si la exposición se prolonga, puede provocar disminución en la función pulmonar.



El producto primario de la combustión es el NO. Sin embargo, el NO<sub>2</sub> y otros óxidos de nitrógeno son emitidos usualmente al mismo tiempo, por lo que pueden ser no distinguibles en datos de monitoreo de emisiones. En general, estos compuestos se encuentran en un estado de cambio rápido (flux), donde el NO<sub>2</sub> es el último producto de la oxidación formado directamente o en la corriente de emisión de los productos de la combustión. La convención es reportar las distinciones de contaminantes cuando sea posible, pero siempre reportar los NO<sub>x</sub> totales sobre la base del peso molecular del NO<sub>2</sub>.

*Contaminantes  
considerados en  
un inventario de  
emisiones*

El NO<sub>x</sub> se genera en la combustión en cámara abierta a través de dos formas principales: NO<sub>x</sub> térmico y NO<sub>x</sub> de combustible. El NO<sub>x</sub> térmico se produce cuando el nitrógeno y el oxígeno presentes en el aire de la combustión reaccionan a altas temperaturas en la flama. El NO<sub>x</sub> de combustible se forma por la reacción entre nitrógeno contenido en el combustible y el aire de la combustión. El NO<sub>x</sub> térmico es la fuente primaria de NO<sub>x</sub> en la combustión del gas natural y de combustibles líquidos ligero; y el factor más significativo en su formación es la temperatura de la flama. El exceso de aire y la temperatura de combustión también son factores que influyen en la formación del NO<sub>x</sub> térmico. La formación del NO<sub>x</sub> de combustible depende del contenido de nitrógeno en el combustible, y puede constituir hasta el 50% de las emisiones de NO<sub>x</sub> en combustibles con alto contenido de nitrógeno, principalmente el carbón y los combustibles pesados.

#### 5.4. ÓXIDOS DE AZUFRE

Óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) es el término general que se refiere al bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y a otros óxidos de este elemento. El SO<sub>2</sub> es un gas incoloro de fuerte olor, que se forma por la combustión de combustibles fósiles que contienen azufre. Estos compuestos son irritantes respiratorios y pueden ocasionar una reacción similar al asma o bien, agravar una condición asmática previa. Los síntomas de una exposición a elevadas concentraciones ambientales incluyen: tos, flujo nasal y falta de aliento;

y pueden ser más severos en fumadores. Las plantas de generación de energía eléctrica que usan carbón o combustóleo con elevado contenido de azufre pueden ser fuentes importantes de  $\text{SO}_2$ . Algunas veces, el  $\text{SO}_2$  emitido se oxida para formar trióxido de azufre ( $\text{SO}_3$ ), y posteriormente ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) o aerosoles sulfatados ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). La convención general es reportar los  $\text{SO}_x$  totales sobre la base del peso molecular del  $\text{SO}_2$ . La magnitud de las emisiones de  $\text{SO}_x$  de las fuentes de combustión depende del contenido de azufre en el combustible utilizado.

Los óxidos de azufre intensifican el problema de la depositación ácida. Este es un término extenso utilizado para denominar las diferentes formas en las que los compuestos ácidos se depositan en la superficie de la tierra. Esto puede incluir la depositación húmeda a través de la lluvia, niebla y nieve ácidas; y la depositación seca de partículas ácidas (aerosoles). La lluvia ácida se refiere a la precipitación pluvial con un pH menor que 5.6. La precipitación neutral debería tener un pH de 7, sin embargo, se ha estimado que el agua de lluvia tiene un pH natural de 5.6 cuando está en equilibrio con la concentración atmosférica promedio de  $\text{CO}_2$  (330 ppm) (Seinfeld, 1986). Los principales componentes de la lluvia ácida típicamente incluyen los ácidos nítrico y sulfúrico, que pueden formarse por la combinación de óxidos de nitrógeno y de azufre con el vapor de agua en la atmósfera. Adicionalmente, el tamaño de las partículas de sulfato también tiende a ser pequeño (diámetros de 0.2 - 0.9  $\mu\text{m}$ ); en consecuencia, pueden ser un componente significativo de las partículas finas y afectar adversamente la visibilidad.

### 5.5. PARTÍCULAS

El término partículas o material particulado (PM) se refiere a cualquier partícula sólida o líquida de hollín, polvo, aerosoles, humos y nieblas. Algunas clasificaciones del PM incluyen partículas totales; partículas primarias y secundarias; partí-

culas suspendidas totales (PST), partículas suspendidas (PS), partículas con diámetro aerodinámico menor que 10 micras ( $PM_{10}$ ), partículas con diámetro aerodinámico menor que 2.5 micras ( $PM_{2.5}$ ); así como partículas filtrables y condensables.

Las partículas primarias incluyen a los materiales sólidos, líquidos o gaseosos emitidos directamente por las fuentes de emisión y que pueden mantenerse en la atmósfera como partículas en condiciones ambientales de temperatura y presión. Las partículas secundarias son aerosoles formados a partir de material gaseoso a través de reacciones químicas atmosféricas. La Figura 5-2 ilustra los conceptos de estos dos tipos de partículas. Todas las referencias de factores de emisión para PM (p.ej., AP 42) contienen factores de emisión para las partículas primarias; por lo tanto, el término «PM total» es utilizado para describir las emisiones que sólo representan el material particulado primario total.

Las PST están integradas por toda la materia emitida como formas sólidas, líquidas y vapor, pero que están «suspendidas» en el aire como sólidos o líquidos particulados. Las PST pueden incluir partículas con un diámetro aerodinámico de hasta 100  $\mu m$ . Cabe señalar que aquellas con un tamaño mayor tienden a depositarse rápidamente y no deben ser consideradas como emisiones al aire. Por otro lado, dado que la depositación de las partículas con un diámetro entre 30 y 100  $\mu m$  es considerado inestable, las PS son definidas como todas las partículas con un diámetro menor que 30  $\mu m$ , y con frecuencia son utilizadas como un término sustituto de las PST. El término  $PM_{10}$  describe emisiones de partículas primarias con un diámetro aerodinámico menor que 10  $\mu m$ . De manera similar, el término  $PM_{2.5}$  se refiere a las partículas primarias con un diámetro aerodinámico menor que 2.5  $\mu m$ . La Figura 5-3 ilustra las PST,  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ . El tamaño de las partículas  $PM_{10}$  ó  $PM_{2.5}$  les permite entrar fácilmente en los espacios alveolares de los pulmones humanos, donde pueden depositarse y causar efectos adversos sobre la salud. Las partículas que logran penetrar el tracto respiratorio pueden causar: tos, dificultad para

*Contaminantes  
considerados en  
un inventario de  
emisiones*

FIGURA 5-2. PARTICULAS PRIMARIAS Y SECUNDARIAS

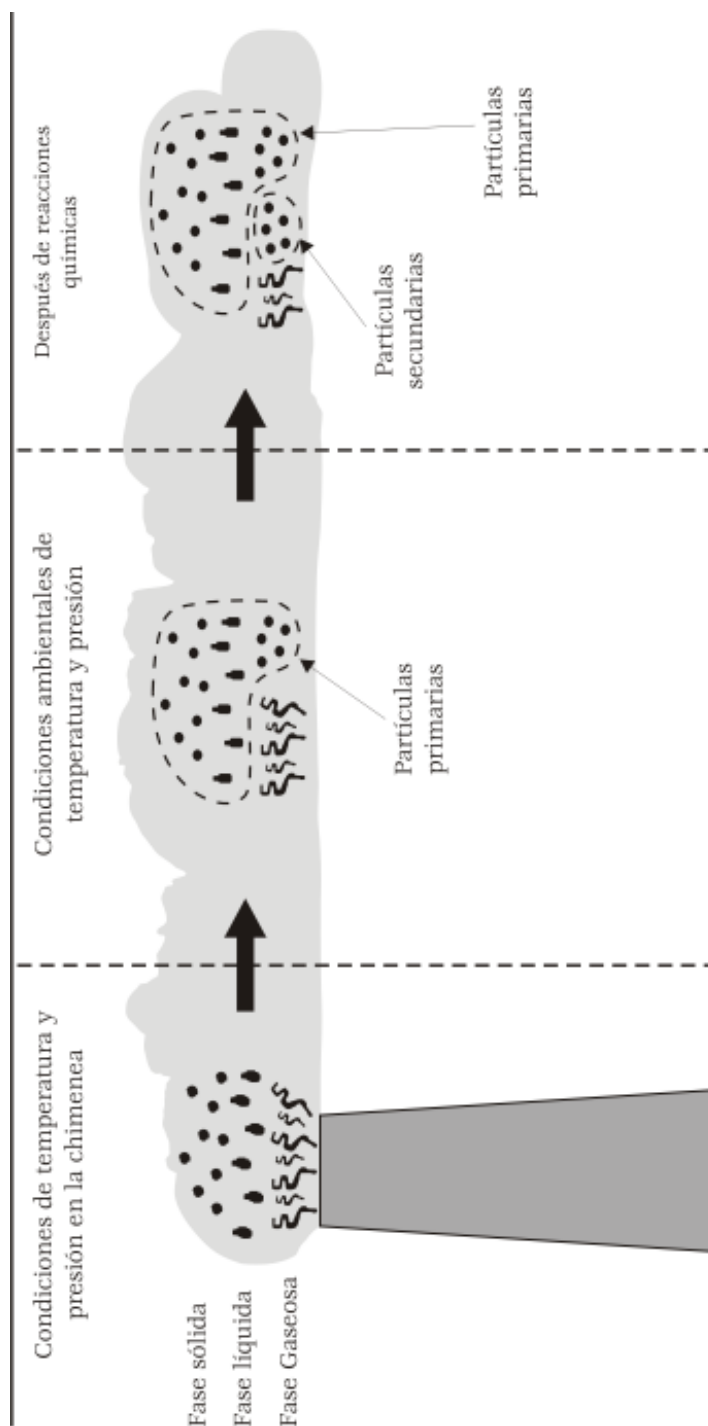
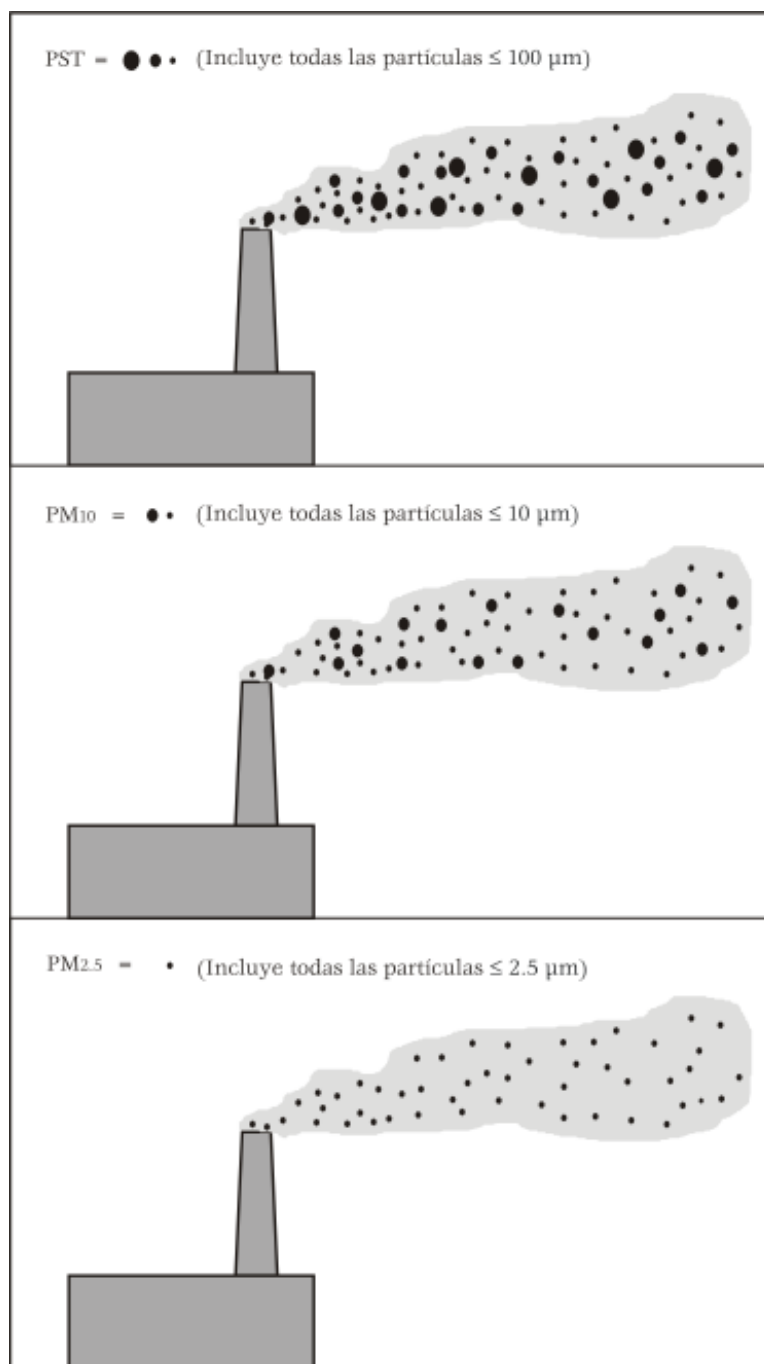


FIGURA 5-3. PST, PM<sub>10</sub> Y PM<sub>2.5</sub>



*Contaminantes  
considerados en  
un inventario de  
emisiones*

respirar, alteraciones en la función respiratoria, e incluso cambios fisiológicos en el pulmón. Se considera que el aumento en los niveles ambientales de partículas es responsable del incremento en la mortalidad y morbilidad de individuos con condiciones cardiovasculares y/o respiratorias previas. Sin embargo, ha sido difícil establecer los niveles en los que los efectos adversos se presentan, debido a la presencia de otras sustancias tóxicas que también podrían ser responsables de los efectos detectados. Adicionalmente, las emisiones de  $PM_{2.5}$  también causan problemas de visibilidad, por la presencia de aerosoles.

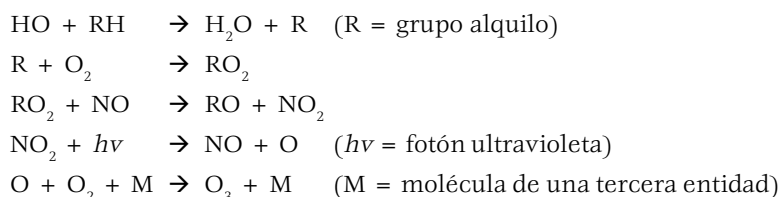
En el AP 42, los factores para las emisiones de partículas totales pueden dividirse en factores para las partículas filtrables y las condensables. Las porciones filtrables incluyen al material con un tamaño mayor al establecido por el poro del filtro de un tren de muestreo de partículas. A menos que se indique lo contrario, es razonable asumir que los factores de emisión en el AP 42 para los procesos que operan sobre las temperaturas ambientales son para partículas filtrables, de acuerdo con la definición del Método 5 de la EPA o sus equivalentes (en condiciones con una temperatura de filtro de 121 °C [250 °F]). Las partículas condensables están formadas por materia en fase vapor a la temperatura de filtro que se colecta en las trampas del tren de muestreo, y que son analizadas por el Método 202 de la EPA o sus equivalentes. Los factores de emisión de partículas totales son la suma de los factores de emisión para las partículas filtrables y para las condensables.

### 5.6. OZONO

El ozono ( $O_3$ ) es un gas tóxico reactivo de olor fuerte y color azul pálido, formado por tres átomos de oxígeno. El ozono es el oxidante fotoquímico más abundante en la atmósfera. Sin embargo, el ozono y otros oxidantes fotoquímicos no son emitidos directamente a la atmósfera, sino que son formados por las reacciones químicas entre hidrocarburos, CO y  $NO_x$ .

en presencia de luz solar. Por lo tanto, en los inventarios de emisiones, la estimación no se hace específicamente para el ozono, sino para sus precursores.

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



*Contaminantes  
considerados en  
un inventario de  
emisiones*

El ozono y otros oxidantes fotoquímicos son irritantes que pueden tener efectos adversos en los pulmones. La exposición a niveles ambientales elevados puede ocasionar alteraciones en la función pulmonar. La respiración rápida y poco profunda, la bronquitis y el enfisema se encuentran entre los efectos adversos a la salud que pueden presentarse como resultado de la exposición al ozono. Por otro lado, esta sustancia tiene una elevada capacidad para deteriorar el hule y otros materiales.

## 5.7. CONTAMINANTES QUE REDUCEN LA VISIBILIDAD

La degradación de la visibilidad es ocasionada por partículas finas que absorben o dispersan la luz en una dirección diferente a la que ésta incide. Como ya se mencionó, algunas de estas partículas son emitidas directamente a la atmósfera (partículas primarias); otras son formadas en la atmósfera a partir de precursores gaseosos (partículas secundarias).

En las mediciones de visibilidad se utiliza el coeficiente de extinción de la luz que es la fracción de luz atenuada por dispersión o absorción cuando un rayo luminoso atraviesa una unidad de atmósfera. El coeficiente de extinción indica la tasa en la que la energía se pierde o cambia su dirección debido a las interacciones con gases y partículas suspendidas en la atmósfera. Las partículas con mayores coeficientes de extinción ocasionarán una mayor degradación de la visibilidad.

La magnitud de los efectos de degradación de la visibilidad dependen de diversos factores, tales como el tamaño y composición de las partículas y la longitud de onda de la luz incidente. Por lo tanto, no todas las partículas tienen el mismo impacto sobre la visibilidad. Las mayores fuentes de deterioro de la visibilidad son el carbón orgánico (Corg), el carbón elemental (Cele) u hollín, los sulfatos y los nitratos. El Corg y el Cele son fuentes significativas de la degradación de la visibilidad, debido a que ambos dispersan y absorben la luz. El Corg y el Cele son emitidos como partículas primarias. En cambio, los otros contaminantes que reducen la visibilidad son formados como partículas secundarias y su efecto reside principalmente en la dispersión de la luz. Los sulfatos y nitratos son principalmente el resultado de diversas reacciones químicas sobre las emisiones de  $\text{SO}_x$  y  $\text{NO}_x$ . Los precursores de ozono también pueden ser importantes debido a que el aerosol secundario es uno de los productos finales del ciclo fotoquímico del smog. Por último, el amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) es considerado con frecuencia como un contaminante que reduce la visibilidad debido a su interacción con los  $\text{SO}_x$  y  $\text{NO}_x$  para formar sulfato de amonio,  $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ , y nitrato de amonio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ).

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

## 5.8. CONTAMINANTES TÓXICOS DEL AIRE

El término general *contaminantes tóxicos del aire* es utilizado para definir un grupo de sustancias tóxicas que pueden



encontrarse en el aire y que algunas veces se les denomina *contaminantes peligrosos del aire* (HAPs, por las siglas en inglés de *Hazardous Air Pollutants*). Son considerados contaminantes tóxicos del aire porque pueden tener efectos de corto plazo (agudos) o de largo plazo (crónicos) en la salud. Esta categoría de contaminantes agrupa muchas sustancias con efectos diversos y existe evidencia de que las concentraciones en las que dichos efectos pueden presentarse son variadas. La toxicidad de estos compuestos va desde las sustancias carcinógenas como el 1,3-butadieno y el cloruro de vinilo, hasta los solventes químicos como el tolueno y el etilbenceno, que en las concentraciones encontradas en el aire ambiente pueden limitarse a tener efectos irritantes.

*Contaminantes  
considerados en  
un inventario de  
emisiones*

Los contaminantes tóxicos del aire pueden presentarse en forma gaseosa o particulada. Algunos ejemplos incluyen al benceno, tolueno, xileno y etilbenceno aunque también existe un número limitado de compuestos gaseosos peligrosos o tóxicos que pueden no ser GOT, tales como el amoníaco y el cloro. Muchos de los contaminantes tóxicos del aire son metales pesados como el plomo, cromo y cadmio. El Apéndice C contiene un listado de 189 contaminantes considerados por la EPA como tóxicos peligrosos del aire en los EU. Esta lista no se considera una lista exhaustiva de todos los posibles contaminantes tóxicos del aire; por lo que puede ser necesario considerar a otras sustancias como HAPs, dependiendo del objetivo del inventario.

De manera ideal, las emisiones de sustancias tóxicas son estimadas utilizando datos de muestreos en fuente o factores de emisión. Dos referencias de este tipo de factores de emisión son el *Factor Information Retrieval System*<sup>1</sup> –FIRE– (U.S. EPA, 1995) y la *California Air Toxics Emission Factor Database*<sup>2</sup> –CATEF– del *California Air Resources Board* (CARB, 1996).

<sup>1</sup> Sistema de Recuperación de Información de Factores.

<sup>2</sup> Base de Datos de Factores de Emisión de Tóxicos del Aire de California.

Por otro lado, se requieren criterios de ingeniería adicionales para determinar si un factor de emisión particular es aplicable para un determinado tipo de fuente o de proceso de emisión. Cuando los factores de emisión de sustancias tóxicas no están disponibles para estimar las emisiones de sustancias individuales es necesario combinar los estimados de emisión de GOT o PM totales con los perfiles de especiación. Sin embargo, debido a que los perfiles de especiación no fueron desarrollados con el objetivo de estimar las emisiones de contaminantes tóxicos del aire, este enfoque no es muy recomendable.

### 5.9. GASES DE EFECTO INVERNADERO

El efecto invernadero se presenta cuando la radiación solar que es reflejada por la superficie de la tierra queda atrapada en la atmósfera por gases con actividad radiante, (esto es, gases con efecto invernadero-GEI). La energía luminosa del sol -con radiación de longitud de onda corta- que pasa a través de la atmósfera es absorbida por la superficie de la tierra y reflejada a la atmósfera como energía calorífica -con radiación de longitud de onda larga-. La energía calorífica entonces es atrapada por la atmósfera creando una situación similar a la que se presenta en un invernadero o cuando se sube la ventanilla de un automóvil. Existen evidencias científicas que permiten afirmar que la emisión de estos gases [bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), CFCs y otros] a la atmósfera puede incrementar el efecto invernadero y contribuir con el calentamiento global. A continuación se hace una breve descripción de cada uno de estos gases.

El  $\text{CO}_2$  es un gas incoloro e inodoro que existe naturalmente en la atmósfera terrestre. Se produce en grandes cantidades como resultado de la quema de combustibles fósiles. La segunda fuente más importante de las emisiones globales de  $\text{CO}_2$  es el cambio en el uso del suelo, lo cual suele combinarse con una pérdida de superficie en bosques y selvas. Los bosques y otras masas vegetales absorben  $\text{CO}_2$  durante su crecimiento; por lo tanto, una pérdida en el área de bosques

(en otras palabras, la deforestación) ocasiona una reducción en la «captura» del  $\text{CO}_2$  en años futuros; lo cual redundaría en un incremento neto del  $\text{CO}_2$  atmosférico. El cultivo, quema y/o desmonte de las tierras para la agricultura también puede ocasionar un aumento en la liberación o almacenamiento natural de  $\text{CO}_2$  en los suelos (IPCC, 1993).

El metano ( $\text{CH}_4$ ) es el hidrocarburo gaseoso más abundante y estable en la atmósfera. La estimación más reciente del tiempo promedio de vida atmosférica de este compuesto es de 11 años (IPCC, 1993). Las reacciones químicas que involucran al metano en la tropósfera pueden ocasionar la producción de ozono; por otro lado, la reacción con radicales hidroxilo ( $\text{OH}$ ) en la estratósfera resulta en la producción de vapor de agua. Esto es importante, debido a que tanto el ozono como el vapor de agua son gases con efecto invernadero, al igual que el  $\text{CO}_2$ , que es el producto final de la oxidación del metano. Algunas fuentes antropogénicas de metano importantes son las operaciones en minas de carbón, la producción de gas natural, los arrozales, la ganadería y la quema de biomasa. El metano también se forma por la descomposición bacteriana de materia orgánica en condiciones anaeróbicas (p.ej., residuos animales, tratamiento de aguas residuales y rellenos sanitarios).

*Contaminantes  
considerados en  
un inventario de  
emisiones*

El óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) es un importante gas con efecto invernadero y una vida atmosférica de 110 a 168 años (WMO, 1992). Después de ser emitido, es prácticamente inerte y no participa en las reacciones químicas en la tropósfera. El  $\text{N}_2\text{O}$  es la principal fuente de  $\text{NO}_x$  en la estratósfera, donde también participa en las reacciones que favorecen el agotamiento del ozono estratosférico. Alrededor del 20% de las emisiones globales totales de  $\text{N}_2\text{O}$ , y el 50% de las emisiones totales de  $\text{N}_2$ , pueden deberse a emisiones terrestres naturales (IPCC, 1993). La fuente antropogénica más importante de  $\text{N}_2\text{O}$  es el incremento en el uso de nitrógeno en los fertilizantes. En los suelos, este compuesto se produce de manera natural a través de la denitrificación (es decir, la reducción del nitrato o

nitrato a nitrógeno gaseoso como  $N_2$  ó como óxido de nitrógeno) y la nitrificación (en otras palabras, la oxidación del amoníaco a nitrato). Los fertilizantes nitrogenados comerciales constituyen una fuente adicional de nitrógeno, incrementando así las emisiones de  $N_2O$  del suelo. Otras fuentes potenciales significativas de esta sustancia incluyen la quema de combustibles fósiles, la combustión de biomasa y la producción de ácido adípico para la industria del nylon. Recientemente, la importancia de los vehículos automotores como fuente de emisiones de  $N_2O$  se ha incrementado debido al uso de catalizadores de tres vías para reducir las emisiones de  $NO_x$  pero que generan un aumento en las emisiones de  $N_2O$  (De Soete, 1989).

Los clorofluorocarbonos (CFCs) son sustancias sintetizadas por la industria química a partir de compuestos de cloro, flúor y carbón. Algunos ejemplos incluyen al diclorodifluorometano (CFC-12) y al triclorotrifluoroetano (CFC-13). Los CFCs son extremadamente estables debido a su halogenación completa; no son inflamables y en general, no son tóxicos en dosis bajas. Sin embargo, han sido identificados como gases de efecto invernadero y como sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO). Debido a su potencial para el agotamiento de la capa de ozono, virtualmente toda la producción mundial de CFCs ha sido suspendida de acuerdo con el Protocolo de Montreal. Los CFCs tienen propiedades que los hacen excelentes refrigerantes; su baja tensión superficial y baja viscosidad los hace solventes limpiadores ideales; además de presentar altas tasas de evaporación y no generar otro tipo de residuos. Por otro lado, también son utilizados como propelentes inertes en los esterilizadores de óxido de etileno (EtO).

## CATEGORÍAS DE FUENTE

# 6

La contaminación del aire proviene de una mezcla de miles de fuentes de emisión que van desde chimeneas industriales y vehículos automotores hasta el uso de productos de limpieza y pinturas domésticos. Incluso la vida animal y vegetal puede desempeñar un papel importante en la contaminación del aire. En general, para los propósitos de un inventario de emisiones, las fuentes de emisión se agrupan en cuatro categorías principales:

- Fuentes puntuales o fijas
- Fuentes de área
- Fuentes de vehículos automotores
- Fuentes naturales

En este capítulo se presenta una descripción general de estas categorías de fuentes de emisión y se explica el concepto de reconciliación de la información derivada de fuentes puntuales y de área. Igualmente, se presenta una lista de verificación de las categorías de fuente que deben ser incluidas o cuando menos, consideradas, en cualquier inventario de emisiones.

### 6.1. DIFERENCIAS ENTRE FUENTES PUNTUALES Y DE ÁREA

La distinción entre fuentes puntuales y de área es arbitraria, pero necesaria para permitir la eficiente recopilación de la información requerida para el desarrollo de inventarios de emisiones. Es deseable contar con información detallada sobre

cada punto de emisión; sin embargo, no existe manera práctica en que tal información pueda ser recopilada. El tratar a todos los establecimientos como fuentes puntuales puede incrementar la precisión del inventario, pero esto implica el uso de muchos más recursos para la compilación y mantenimiento del inventario de fuentes puntuales. Un enfoque alternativo es recopilar la información en una base más simple al agregar las fuentes relacionadas (p.ej., todos los talleres automotrices, todas las panaderías), dentro de una sola fuente de área.

En México, las fuentes puntuales o fijas son definidas en el Artículo 6 del *Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera*, como toda instalación establecida en un solo lugar, que tenga como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales, comerciales, de servicios o que generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera. Como se indica en el Artículo 111 Bis de la Ley y en el Artículo 11 del Reglamento mencionado, las fuentes puntuales bajo jurisdicción federal incluyen:

- Los siguientes sectores industriales: químico, petrolero y petroquímico; pinturas y tintas; automotriz; celulosa y papel; acero y hierro; vidrio; generación de energía eléctrica; asbestos; cemento y cal; así como tratamiento de aguas residuales.
- Todos los establecimientos, proyectos o actividades (industrial, comercial o de servicios) administrados por entidades públicas federales.
- Fuentes que afecten el equilibrio ecológico de un estado o país adyacente.

Como se comentó en el Capítulo 2, estos establecimientos deben solicitar una licencia de operación –actualmente denominada Licencia Ambiental Única (LAU), a través de la SEMARNAT. De igual forma, anualmente deben presentar la estimación de emisiones anuales de contaminantes a través de la Cédula de Operación Anual (COA) y realizar las mediciones en chimenea requeridas por la normatividad correspondiente.

Algunas pequeñas empresas que tienen un certificado de microindustria pueden estar exentas de los requerimientos de la LAU y de la COA, si sus actividades quedan dentro del *Acuerdo por el que se Exceptúan del Trámite para la Obtención de la Licencia de Funcionamiento, a las Fuentes Fijas Consideradas como Empresas Microindustriales*, publicado el 17 de Mayo de 1990 en el Diario Oficial de la Federación.

Las fuentes puntuales también pueden ser clasificadas en otras formas (con todas las otras fuentes incluidas como fuentes de área), tales como los siguientes:

Categorías  
de fuente

- Fuentes de un tipo dado (p.ej., unidad de fraccionamiento catalítico fluidizado, caldera con entrada térmica mayor a 10,000 Btu/hr)
- Fuentes que emiten más de una determinada cantidad de emisiones (p.ej., calderas que emiten más de 100 toneladas anuales de NO<sub>x</sub>)
- Cualquier fuente (independientemente del tipo, tamaño o emisiones) que se localice en un establecimiento de tipo determinado (p.ej., refinería de petróleo, fundición de acero con producción de acero superior a 1,000 ton/anuales)

Adicionalmente, estas definiciones pueden variar dependiendo del grado de severidad de los problemas de calidad del aire de la región y de la normatividad aplicable. Por ejemplo, en EUA, para las áreas que exceden las normas de calidad del aire ambiente, el punto de corte para determinar las emisiones de fuentes puntuales sujetas a monitoreo y vigilancias se define a niveles más estrictos que en el resto del país. Como resultado, las áreas con la peor calidad del aire tienen los puntos de corte de emisiones de fuentes puntuales más bajos. Adicionalmente, se ha promovido que los estados hagan inventarios de las fuentes por debajo de estos puntos de corte en una base individual. La decisión de establecer un punto de corte más bajo depende de un gran número de factores locales, entre los que destacan los recursos disponibles para obtener y manejar los datos. En Estados Unidos, estas fuen-

tes se designan entonces como *fuentes fijas* y están sujetas a una regulación más estricta que las fuentes con menores emisiones.

En México, en la medida en que el programa de inventarios de emisiones evolucione, la definición de fuente puntual puede ser modificada para añadir nuevas fuentes de emisiones significativas o para eliminar las fuentes no significativas. Por su parte, las fuentes puntuales de jurisdicción estatal podrán ser manejadas como fuentes puntuales o como fuentes de área, en cuyo caso deberán hacerse las consideraciones de reconciliación de la información que se describen mas adelante. En general puede afirmarse que los estados y municipios podrán definir sus propias prioridades y criterios para considerar a una fuente puntual como una fuente fija para efectos del inventario de emisiones, teniendo en cuenta el esfuerzo y recursos necesarios para integrar los datos correspondientes a nivel de cada establecimiento. En todo caso, siempre deberá buscarse maximizar la precisión general del inventario de emisiones en extenso (es decir, de fuentes de área, vehículos automotores y fuentes naturales) en la medida de lo posible y con los recursos disponibles.

## 6.2. FUENTES PUNTUALES O FIJAS

Generalmente, la información sobre las fuentes puntuales es recopilada mediante entrevistas. Las fuentes puntuales pueden ser inventariadas en los siguientes tres niveles de detalle (que se ilustran en la Figura 6-1):

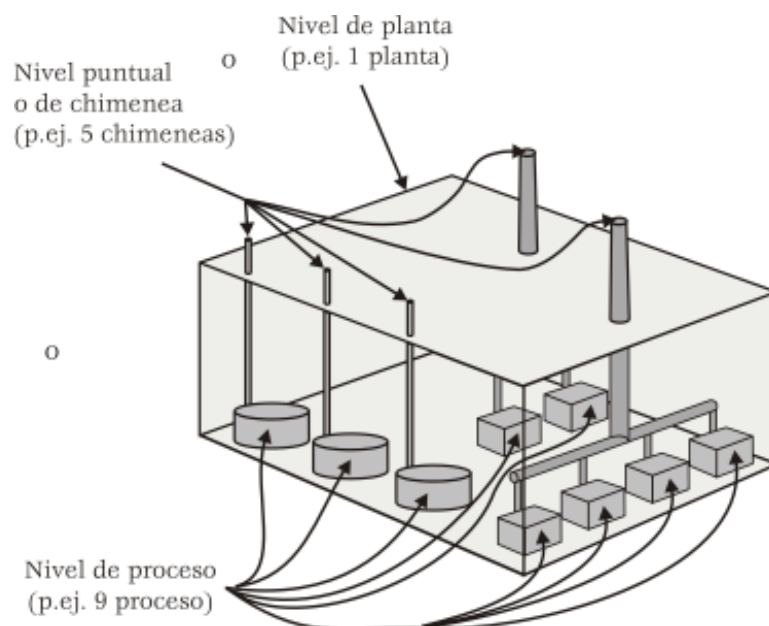
- Nivel de planta, lo cual incluye las emisiones de las diversas actividades emisoras de contaminantes en un mismo establecimiento;
- Nivel de punto de emisión o de chimenea, que es en donde ocurren físicamente las emisiones de contaminantes;
- Nivel de proceso, que representa las emisiones de operaciones o procesos unitarios típicos de una categoría de fuente.



Siempre que sea posible, las emisiones deben ser inventariadas a nivel de proceso para apoyar la planeación y la gestión de la calidad del aire en actividades tales como el desarrollo y actualización de la regulación, la vigilancia y certificación del cumplimiento normativo, y el otorgamiento de licencias. Por ejemplo, se requiere estimar las emisiones por proceso o equipo para identificar los posibles efectos al aplicar una regulación y, posteriormente, estimar los costos y beneficios de dicha regulación. Otra razón igualmente importante para recopilar datos en este nivel de detalle, es que la autoridad obtiene la información requerida para verificar los datos de emisiones reportadas a nivel de establecimiento, por los responsables de estas fuentes, tal como se hace actualmente a través de la Cédula de Operación Anual. Sin embargo, la limitación de recursos puede ser el factor que determine que las emisiones sean inventariadas a nivel de planta o de chimenea.

*Categorías de fuente*

FIGURA 6-1. NIVELES DE INVENTARIO DE EMISIONES EN FUENTES PUNTUALES O FIJAS



### 6.3. FUENTES DE ÁREA

Las fuentes de área representan aquellas que son demasiado numerosas y dispersas como para poder ser incluidas de manera eficiente en un inventario de fuentes puntuales. Colectivamente, sin embargo, las fuentes de área representan un porcentaje significativo de las emisiones de contaminantes, por lo que deben siempre incluirse en un inventario de emisiones para asegurar que éste se encuentre completo. Por ejemplo, las estaciones de servicio y los establecimientos de lavado en seco, como las tintorerías, con frecuencia son tratados como fuentes de área. Tales establecimientos no son típicamente incluidos en los inventarios de fuentes puntuales debido al enorme esfuerzo que sería necesario para recopilar los datos y estimar las emisiones de cada establecimiento a nivel individual. Una de las categorías de fuente de área, donde las emisiones derivan de procesos de combustión interna similares a los de los vehículos, son las denominadas fuentes semiestacionarias o vehículos que no circulan por carretera, y que están constituidos por equipo industrial semifijo, plantas móviles de energía, equipo de construcción, maquinaria agrícola y otros equipos estacionarios o semifijos. Las fuentes semiestacionarias son incluidas en las fuentes de área, debido a que los métodos utilizados para estimar las emisiones de fuentes de área y de estas fuentes son muy similares. En contraste, la metodología de inventario de emisiones que se aplica a los vehículos automotores difiere de manera significativa.

En los inventarios de fuentes de área, los datos de las emisiones se agrupan en grupos de fuentes similares o *categorías*. Un inventario de fuentes de área generalmente consiste de las siguientes grandes categorías:

- Combustión en fuentes fijas;
- Fuentes semiestacionarias;
- Uso de solventes;
- Almacenamiento y transporte de derivados de petróleo;

- Fuentes industriales y comerciales ligeras;
- Fuentes agrícolas;
- Manejo de residuos;
- Fuentes de área misceláneas.

Cada una de estas categorías está integrada por otras subcategorías más específicas (p.ej., el uso de solventes orgánicos que incluye el uso comercial o doméstico de solventes, lavado en seco y limpieza de superficies), que son determinadas por sus procesos de emisión similares o bien, por la similitud en los métodos para estimar sus emisiones. Un inventario amplio de fuentes de área puede abarcar un número de 150 o más subcategorías de fuentes de emisión. Por ejemplo, el lavado en seco incluye dos subcategorías que representan los dos tipos diferentes de solventes que son utilizados en este proceso (es decir, percloroetileno vs. solventes derivados del petróleo). De manera similar, el recubrimiento de superficies puede dar lugar a muchas subcategorías de fuentes de emisión que representen los diferentes usos que existen (p.ej., recubrimiento de latas de metal, de monedas, de maquinaria, de mobiliario de madera, etc.).

*Categorías  
de fuente*

El Cuadro 6-1 resume los diferentes procesos de emisión asociados con cada una de las fuentes de área y describe algunos ejemplos de subcategorías para cada una de las categorías de fuentes de área mencionadas.

#### 6.4. RECONCILIACIÓN DE LA INFORMACIÓN DERIVADA DE FUENTES PUNTUALES Y DE ÁREA

Cuando un inventario de fuentes puntuales y un inventario de fuentes de área incluyen emisiones del mismo proceso, existe el riesgo de un doble conteo de las emisiones. En estas situaciones, la suma de emisiones o indicadores de actividad de las fuentes de área debe ser ajustado y reducido, cuando así se justifique. Ciertas categorías de fuentes de área, tales como el uso comercial y doméstico de solventes, y el recubrimiento de superficies de construcción no requieren ningún ajuste de fuen-

CUADRO 6-1. PROCESOS DE EMISIÓN DE CONTAMINANTES PARA DIVERSAS CATEGORÍAS DE FUENTE DE ÁREA Y EJEMPLOS DE SUBCATEGORÍAS

SUBCATEGORÍAS DE FUENTES DE EMISIÓN	PROCESO DE COMBUSTIÓN	EVAPORACIÓN	PERTURBACIÓN MECÁNICA	PROCESO BIOLÓGICO
Uso de combustible en fuentes fijas	✓ Combustión Residencial de Combustible			
Fuentes y maquinaria semiestacionarias	✓ Motores de los equipos de Construcción	✓ Equipo Recreativo		
Uso de solventes		✓ Desengrasado		
Almacenamiento y transporte de derivados del petróleo		✓ Distribución de Gasolina y Gas LP		
Fuentes industriales y comerciales ligeras	✓ Panaderías Fabricación de Ladrillos		✓ Construcción de Edificios	
Fuentes agrícolas	✓ Quema Agrícola	✓ Aplicación de Pesticidas	✓ Arado agrícola	✓ Residuos Animales
Manejo de residuos	✓ Incineración	✓ Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales [PTAR]		
Fuentes de área misceláneas	✓ Incendios Forestales		✓ Polvo de Caminos	✓ Actividades de la Ganadería

tes puntuales. Otras categorías, tales como la combustión y el uso de solventes pueden compartir procesos con las fuentes puntuales. Para evitar el doble conteo, se debe restar la suma de los indicadores de actividad de las fuentes puntuales del indicador de actividad total que considera tanto a las fuentes puntuales y a las fuentes de área. Como lo indica la siguiente ecuación, el resultado de esta resta es el indicador de actividad de la fuente de área considerada:

$$IAFA = IATC - SIAFP$$

*Categorías  
de fuente*

IAFA = Indicador de Actividad de Fuente de Área

IATC = Indicador de Actividad Total de la Categoría

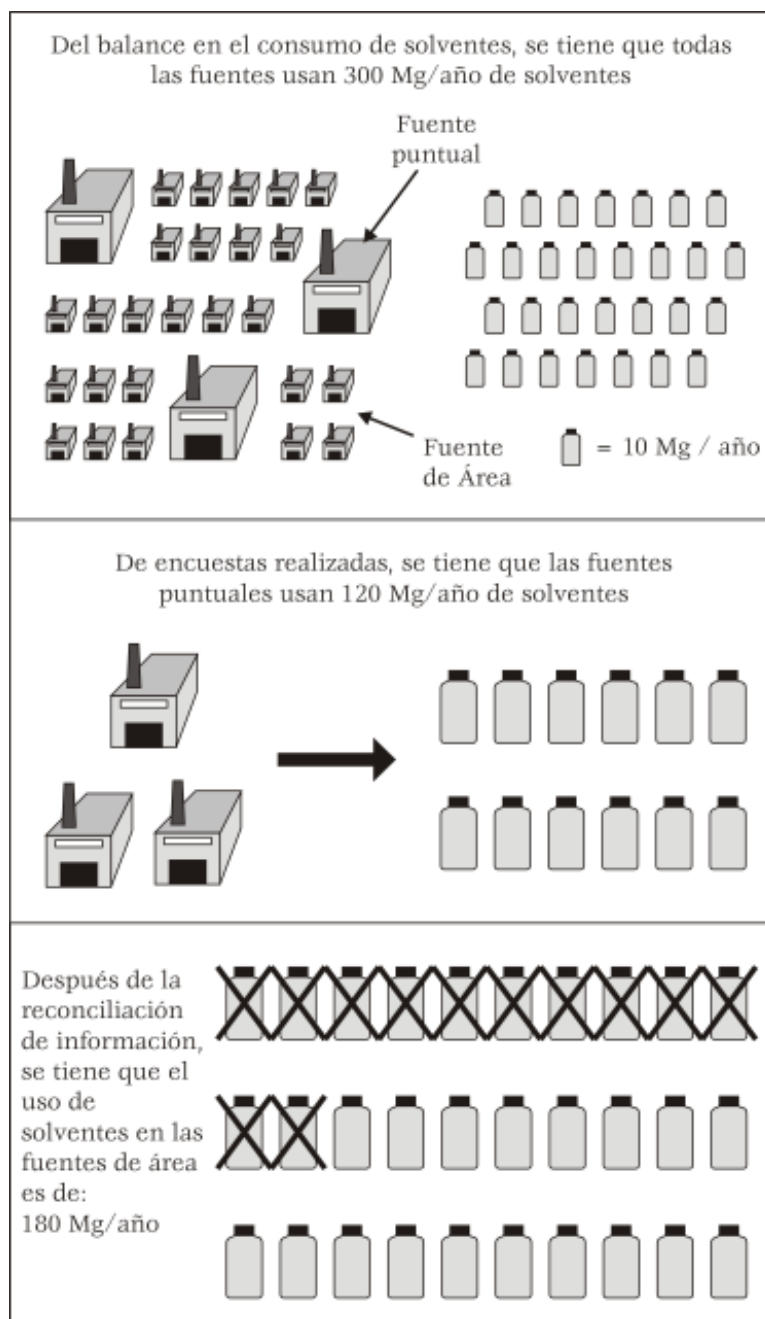
SIAFP = Suma de indicadores de Actividad de Fuentes Puntuales

Si el indicador de actividad de la fuente de área resultante es menor que cero, deben revisarse los datos de las fuentes puntuales y corregirse los errores que se encuentren. Si después de la revisión el indicador de actividad de la fuente de área sigue siendo menor que cero, se asume que la actividad de la fuente de área es igual a cero y que sólo hay emisiones de las fuentes puntuales.

Por ejemplo, si las emisiones de fuentes de área son calculadas utilizando el número de empleados como indicador de actividad, entonces el número de empleados de las fuentes puntuales debe ser restado del número total de empleos en la región del inventario. De manera similar, si se utilizan las estadísticas de venta de un combustible para estimar las emisiones asociadas a la combustión industrial en el área, entonces el combustible utilizado en los establecimientos de las fuentes puntuales debe ser restado de la suma estadística general del combustible. Otro ejemplo que ilustra el uso de solventes en las artes gráficas se presenta en la Figura 6-2.

En algunas ocasiones se hace necesario un ajuste de fuentes puntuales restando las emisiones de fuentes puntuales de las emisiones totales de una categoría de fuente, si bien este método debe emplearse como un último recurso. Si se utiliza este método, deben considerarse las

FIGURA 6-2. EJEMPLO DE RECONCILIACIÓN DE FUENTES PUNTUALES Y DE ÁREA EN  
LA INDUSTRIA DE ARTES GRÁFICAS CON BASE EN EL CONSUMO DE SOLVENTES



emisiones totales -no controladas- de las fuentes puntuales y de área. Cualquier ajuste por consideraciones de control de emisiones en las fuentes de área debe realizarse después del ajuste de fuentes puntuales.

#### 6.5. FUENTES MÓVILES (VEHÍCULOS AUTOMOTORES)

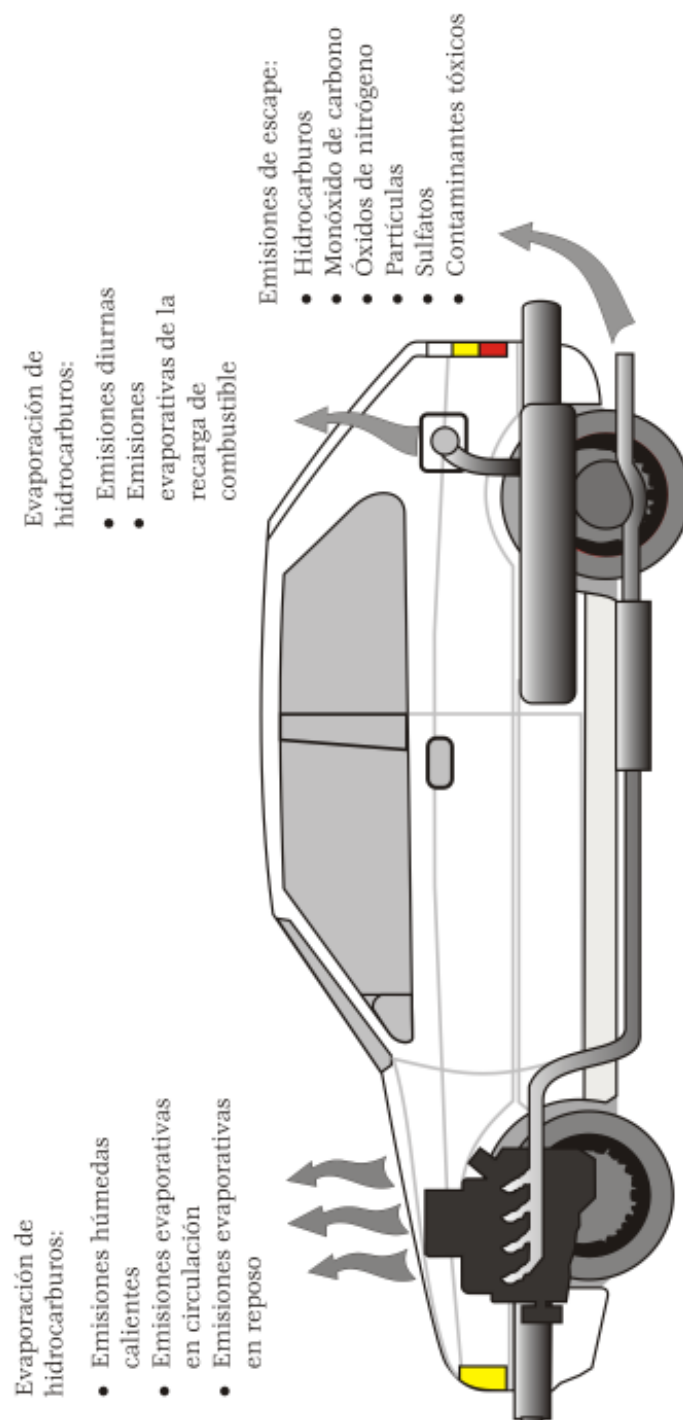
Las fuentes móviles de emisión están constituidas por los vehículos automotores que incluyen automóviles, camiones y autobuses diseñados para circular en la vía pública. En la mayoría de las áreas urbanas, los vehículos automotores son los principales generadores de las emisiones de COT, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, PM, contaminantes tóxicos del aire y contaminantes que reducen la visibilidad. Debido a la magnitud de sus emisiones y a las consideraciones especiales requeridas para estimar su volumen, los vehículos automotores se manejan separadamente de otras fuentes de área.

Categorías  
de fuente

Las emisiones de vehículos automotores están integradas por diversos contaminantes que son generados por diferentes procesos (ver Figura 6-3). Los más comúnmente considerados son las emisiones del escape, que resultan del uso del combustible y que son emitidos a través del escape del vehículo, y una variedad de procesos evaporativos, los cuales resultan en emisiones de COT y que incluyen:

- *Emisiones húmedas calientes*–Emisiones que se presentan debido a la volatilización del combustible en el sistema de dosificación de éste, una vez que se apaga el motor. El combustible del sistema de dosificación se volatiliza por el calor residual del motor.
- *Emisiones evaporativas en circulación*–Emisiones de fugas de combustible en fase líquida o de vapor que se presentan cuando el motor está en operación.
- *Emisiones diurnas*–Emisiones del tanque de combustible del vehículo debido a altas temperaturas en el líquido y al aumento de la presión de vapor del combustible, las cuales resultan del incremento en las temperaturas ambientales, la aportación de calor del sistema de escape

FIGURA 6-3. PROCESO DE EMISIÓN DE CONTAMINANTES EN VEHÍCULOS AUTOMOTORES





del vehículo o del calor reflejado por el asfalto o superficie de circulación.

- *Emisiones evaporativas en reposo*—Son emisiones evaporativas distintas de las emisiones húmedas calientes, diurnas y de recarga de combustible, que ocurren debido a la permeabilidad o fugas de los conductos de combustible.
- *Emisiones evaporativas de la recarga de combustible*—Emisiones desplazadas del tanque de combustible durante la recarga del mismo. Si bien el vehículo es la fuente de las emisiones, éstas se presentan mientras el vehículo está en reposo en las estaciones de servicio. Por lo tanto, las emisiones de recarga son tratadas típicamente como fuente de área. Los factores de emisión de recarga pueden ser estimados utilizando el modelo MOBILE u obtenerse de otras fuentes, tales como el AP-42.

Categorías  
de fuente

El interés por la estimación de emisiones de los vehículos automotores en México se ha incrementado en los últimos años, conduciendo al desarrollo de inventarios de este tipo de emisiones para la Cd. de México, Monterrey, Cd. Juárez, Guadalajara, Toluca, Mexicali y Tijuana (Espinosa, et al., 1996). Para incorporar las diferencias en las flotas vehiculares y en los hábitos de los conductores en México, el modelo MOBILE ha sido modificado para las áreas metropolitanas de la Cd. de México, Monterrey y Cd. Juárez. Con el modelo MOBILE es posible determinar los factores de emisión de los vehículos automotores, que posteriormente deben ser combinados con los datos de actividad adecuados. En los últimos años se han realizado múltiples modelaciones a través del MOBILE debido a que la flota vehicular, combustibles utilizados y hábitos de manejo no son homogéneas en todo el país. Por ejemplo, en las regiones fronterizas, la flota vehicular incluye mayor proporción de vehículos estadounidenses, y pueden utilizarse mayores cantidades de combustibles americanos. En otro ejemplo, la elevada altitud de la Cd. de México afecta el proceso de combustión y, por lo tanto, las emisiones promedio de los vehículos automotores.

## 6.6. FUENTES NATURALES

Además de las actividades humanas, los fenómenos naturales y la vida animal y vegetal pueden jugar un papel importante en el problema de la contaminación del aire. Es primordial comprender la contribución general de este tipo de fuentes, especialmente en las áreas en las que las emisiones de fuentes naturales pueden ser significativas para el inventario. A continuación se describen dos fuentes naturales significativas que son comúnmente consideradas en los inventarios de emisiones atmosféricas.

*Emisiones Biogénicas.* Un gran número de investigadores han establecido que la vegetación (p.ej., pastos, cultivos, arbustos, bosques, etc.), emiten cantidades significativas de hidrocarburos a la atmósfera. Diversos estudios (e. g., Pierce et al., 1990; Robinson y Robbins, 1968) han demostrado incluso que en ciertas áreas, las emisiones biogénicas de hidrocarburos no metano –HCNM– pueden ser comparables o superiores a las emisiones de las fuentes antropogénicas.

*Emisiones de Suelos.* El óxido nitroso ( $N_2O$ ) es producido naturalmente en los suelos como parte de los procesos de desnitrificación (es decir, la reducción de nitritos y nitratos a nitrógeno gaseoso como  $N_2$  ó  $NO_x$ ). Por su parte, los fertilizantes nitrogenados comerciales constituyen una fuente adicional de nitrógeno, lo cual incrementa las emisiones del suelo de  $N_2O$ . Al igual que con el  $N_2O$ , la tasa de emisiones de  $NO_x$  de los suelos también depende de variables como el tipo de suelo, la humedad, la temperatura, el tipo de cultivo y otras prácticas agrícolas. Se estima que las emisiones de  $NO_x$  provenientes de los suelos constituyen un 16% de la cantidad global de  $NO_x$  en la troposfera, en tanto que se calcula que estas emisiones representan el 8% de las emisiones totales de  $NO_x$  en América del Norte (U.S. EPA, 1993).

La erosión eólica es otro fenómeno natural que genera emisiones. Sin embargo, debido a que dichas emisiones típi-

camente están asociadas con suelos perturbados, frecuentemente son tratadas como fuentes de área. Otras categorías más pequeñas de fuentes naturales incluyen a las termitas (emisiones de CH<sub>4</sub>), los relámpagos (emisiones de NO<sub>x</sub>), los volcanes y la actividad geotérmica (emisiones de SO<sub>x</sub>).

## 6. 7. LISTA DE VERIFICACIÓN DE CATEGORÍAS DE FUENTES

Las fuentes a ser incluidas en un inventario pueden priorizarse de acuerdo con su importancia en la emisión de contaminantes. Los recursos deben asignarse preferentemente a las fuentes más significativas para cumplir los propósitos del inventario. En el Cuadro 6-2 se incluye una lista de verificación de las categorías de fuente que generalmente tienen una contribución significativa en los inventarios de emisiones. Para cada categoría de fuente se describen los tipos de emisiones de contaminantes. Cabe señalar que esta lista de chequeo sólo debe ser utilizada como una herramienta al principio del proceso de planeación del inventario para identificar las categorías de fuente que serán incluidas. Para generar un inventario completo, las condiciones específicas de la región pueden conducir a añadir o eliminar elementos de esta lista. Por ejemplo, las terminales de autobuses o camiones, la manufactura de ladrillos a pequeña escala, los establecimientos de alimentos asados al carbón y los vendedores callejeros no son considerados como categorías de fuente en EUA; sin embargo, en México es necesario añadirlos en la lista de categoría de fuentes de emisión.

*Categorías  
de fuente*

CUADRO 6-2. LISTA DE VERIFICACIÓN DE CATEGORÍAS DE FUENTES DE EMISIÓN DE CONTAMINANTES

Categoría de Fuente	Contaminantes del Inventario															
	COT	COV	CO	NOx	SOx	PM	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	NH <sub>3</sub>	Cele	Corg	HAPs	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	CFCs
<i>Fuentes puntuales</i>																
Plantas de generación eléctrica	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Industria química	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓		✓		✓
Refinación petrolera (a)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓				
Producción metálica primaria (a)	✓	✓			✓	✓	✓	✓				✓				
Producción metálica secundaria (a)	✓	✓				✓	✓	✓				✓				
Producción cementera (a)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓				
Producción minera miscelánea (a)						✓	✓	✓		✓	✓	✓				
Industria automotriz (a)	✓	✓									✓	✓				
Industria maderera (a)	✓	✓			✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓				
Producción de petróleo y gas (a)	✓	✓			✓							✓				
Imprenta y litografía	✓	✓										✓				
Recubrimiento de superficies	✓	✓										✓				
Terminales a granel	✓	✓										✓				
Explotación de minas/canteras (a)						✓	✓	✓				✓				
Manufactura de productos madera(a)	✓	✓				✓	✓	✓				✓				
Industria azucarera (a)	✓	✓				✓	✓	✓				✓				
Producción de metales elaborados (a)	✓	✓				✓	✓	✓				✓				
Industria textil (a)	✓	✓				✓	✓	✓				✓				□

CUADRO 6-2. LISTA DE VERIFICACIÓN DE CATEGORÍAS DE FUENTES DE EMISIÓN DE CONTAMINANTES (CONTINUACIÓN)

Categoría de Fuente	Contaminantes del Inventario															
	COT	COV	CO	NOx	SOx	PM	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	NH <sub>3</sub>	Cele	Corg	HAP's	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	CFCs
Fuentes puntuales (continuación)																
Rellenos sanitarios	✓	✓	✓	✓								✓	✓		✓	
Incineradores municipales	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
Quema de residuos a cielo abierto	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
Plantas de asfalto (a)	✓	✓				✓	✓	✓				✓				
Industria alimenticia y agricultura (a)	✓	✓				✓	✓	✓			✓	✓				
Uso de combustibles en fuentes puntuales	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Fuentes de área																
Combustión comercial	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Combustión residencial (combustibles convencionales)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Combustión residencial (biomasa o derivados de residuos)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Locomotoras	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
Embarcaciones comerciales	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
Recubrimiento industrial de superficies -galvanoplastia-	✓	✓										✓				
Acabado de carrocerías	✓	✓										✓				

Categorías de fuente

CUADRO 6-2. LISTA DE VERIFICACIÓN DE CATEGORÍAS DE FUENTES DE EMISIÓN DE CONTAMINANTES (CONTINUACIÓN)

Categoría de Fuente	Contaminantes del Inventario															
	COT	COV	CO	NOx	SOx	PM	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	NH <sub>3</sub>	Cele	Corg	HAP's	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	CFC's
Fuentes de área (continuación)																
Recubrimiento arquitectónico de superficies	✓	✓										✓				
Pintura y señalización de calles	✓	✓										✓				
Limpieza industrial de superficies (desengrasado)	✓	✓										✓				
Lavado en seco	✓	✓										✓				
Artes gráficas	✓	✓										✓				
Aplicación de asfalto	✓	✓										✓				
Uso comercial y doméstico de solventes	✓	✓										✓				
Distribución de gasolina	✓	✓										✓				
Recarga de combustible en aviones	✓	✓										✓				
Distribución de gas LP	✓	✓										✓				
Panaderías	✓	✓										✓				
Vendedores ambulantes	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
Aplicación de pesticidas	✓	✓										✓				
Engorda de ganado						✓	✓	✓	✓			✓				
Quema agrícola	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Aplicación de fertilizantes									✓			✓		✓		

CUADRO 6-2. LISTA DE VERIFICACIÓN DE CATEGORÍAS DE FUENTES DE EMISIÓN DE CONTAMINANTES (CONTINUACIÓN)

Categoría de Fuente	Contaminantes del Inventario															
	COT	COV	CO	NOx	SOx	PM	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	NH <sub>3</sub>	Cele	Corg	HAP's	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	CFCs
Fuentes de área (continuación)																
Residuos agrícolas	✓	✓							✓			✓			✓	
Arado agrícola						✓	✓	✓		✓	✓	✓				
Incineración en sitio	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	
Manejo de residuos – quema a cielo abierto	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Tratamiento de aguas residuales	✓	✓							✓			✓			✓	
Canales abiertos de drenaje y aguas residuales	✓	✓							✓			✓			✓	
Incendios forestales e incendios prescritos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Quemas controladas	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Polvo de superficies pavimentadas						✓	✓	✓		✓	✓	✓				
Polvo de caminos no pavimentados						✓	✓			✓	✓	✓				
Fuentes móviles																
Vehículos de trabajo ligero a gasolina (LDGV)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Camiones de trabajo ligero a gasolina (LDGT)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	

Categorías de fuente

CUADRO 6-2. LISTA DE VERIFICACIÓN DE CATEGORÍAS DE FUENTES DE EMISIÓN DE CONTAMINANTES (CONTINUACIÓN)

Categoría de Fuente	Contaminantes del Inventario															
	COT	COV	CO	NOx	SOx	PM	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	NH <sub>3</sub>	Cele	Corg	HAPs	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	CFCs
Fuentes móviles (continuación)																
Vehículos de trabajo pesado a gasolina (HDGV)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Vehículos diesel de trabajo ligero (LDDV)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Camiones diesel de trabajo ligero (LDGT)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Vehículos diesel de trabajo pesado (HDDV)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Motocicletas (MC)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Fuentes naturales																
Hidrocarburos biogénicos	✓	✓														
NOx del suelo				✓										✓		
Termitas															✓	
Rayos				✓												
Volcanes/otras fuentes geotérmicas					✓	✓	✓	✓				✓				



- <sup>a</sup> Sólo incluye emisiones relacionadas a procesos; las emisiones de la combustión en fuentes puntuales se incluye aparte como un proceso con su propia categoría.
- <sup>b</sup> Compuestos orgánicos totales (COT),  
compuestos orgánicos volátiles (COV).  
monóxido de carbono (CO),  
óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>),  
óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>),  
partículas (PM),  
partículas con diámetro aerodinámico menor que 10 micras (PM<sub>10</sub>),  
partículas con diámetro aerodinámico menor que 2.5 micras (PM<sub>2.5</sub>),  
amoníaco (NH<sub>3</sub>),  
carbón elemental (Cele),  
carbón orgánico (Corg),  
contaminantes tóxicos del aire (HAPs, por las siglas en inglés de *Hazardous Air Pollutants*),  
bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>),  
metano (CH<sub>4</sub>),  
óxido nitroso (N<sub>2</sub>O),  
clorofluorocarbonos (CFCs).

Categorías  
de fuente



## OTRAS CARACTERÍSTICAS DEL INVENTARIO DE EMISIONES

# 7

Dos de las diez características propias de un inventario de emisiones (contaminantes y categorías de fuentes de emisión) fueron descritas en los capítulos previos. Otras nueve características son las siguientes:

- año base
- características temporales
- características espaciales
- resolución de especies químicas
- aseguramiento de la calidad (AC)
- manejo de datos
- proyecciones
- estimación de la incertidumbre
- continuidad del proceso de inventario

### 7.1. AÑO BASE

El año base de un inventario es el año para el cual han de estimarse las emisiones, y determina, por tanto, la posición del inventario en el tiempo. Esto constituye una base de comparación con otros inventarios previos y posteriores. De igual manera es importante establecer un año base para que todas las estimaciones de emisiones tengan una base común y representen las actividades que ocurrieron durante el mismo periodo de tiempo.

Cualquier año puede ser utilizado como año base, pero esto es usualmente determinado por el propósito del inventario. Por ejemplo, si se desean ver los efectos de estrategias de control de la contaminación instrumentadas recientemente, entonces un inventario de algún año base previo a la instrumentación de dichas estrategias puede servir como punto de comparación de los niveles de emisión actuales. Los inventarios de emisiones de diferentes regiones también pueden ser comparados fácilmente entre sí, y con escenarios estimados que correspondan a diferentes estándares normativos, pero dichas comparaciones siempre parten de un año base.

## 7.2. CARACTERÍSTICAS TEMPORALES

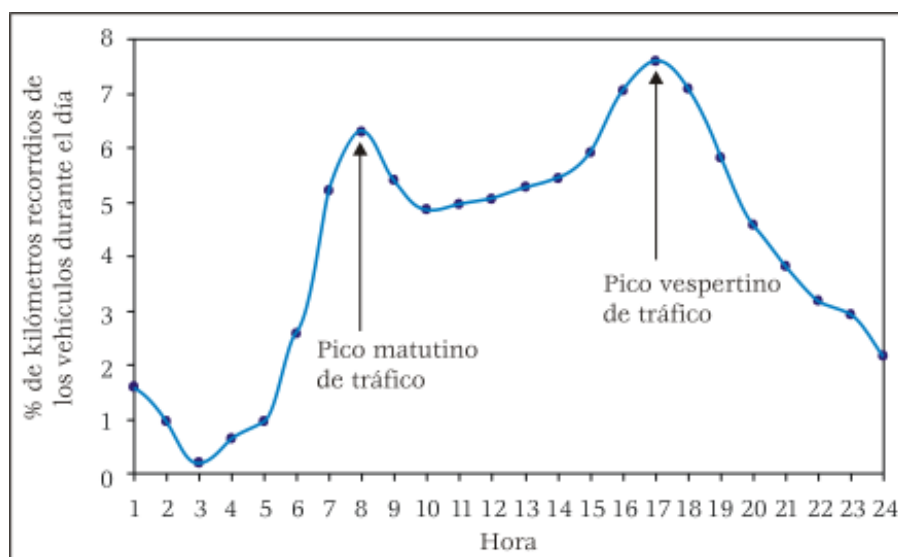
Existen dos características temporales que deben ser consideradas para cualquier inventario: el periodo de tiempo y la variabilidad temporal. El periodo de tiempo se refiere al lapso representado por el inventario. Las emisiones del inventario serán manejadas en unidades de masa del contaminante por periodo de tiempo (p.ej., kg CO/año). Para los inventarios a gran escala, el lapso será típicamente de un año. Sin embargo, algunas aplicaciones especializadas pueden requerir periodos más cortos (p.ej., un día, un mes, la estación más calurosa, etc.).

La variabilidad temporal describe la fluctuación de las emisiones en el tiempo. Si las emisiones son constantes, la variabilidad no es de gran interés; sin embargo, la mayoría de las emisiones cambian con el tiempo. Dependiendo de los requerimientos del inventario asociados con el propósito, puede ser necesaria una descripción de la variación de las emisiones en una base estacional, mensual o diaria; incluso en el caso de los inventarios especializados, puede requerirse las emisiones en una base horaria (o un periodo más corto). Por ejemplo, las emisiones de los vehículos automotores son variables en diferentes periodos, debido a los diferentes niveles de actividad. Las emisiones de estos vehículos pueden ser mayores durante los días hábiles que en los fines de se-

mana, debido a los elevados niveles de actividad vehicular asociados con el traslado hacia y desde el trabajo. Asimismo, como se muestra en la Figura 7-1, es factible que las emisiones matutinas y en las primeras horas de la tarde sean más elevadas que aquellas al mediodía o medianoche, debido a que esas horas se caracterizan por un tráfico elevado. La Figura 7-1 muestra un ejemplo de distribución temporal de la actividad vehicular. Dependiendo del propósito del inventario, deberán considerarse una o más de estas variables de temporalidad.

*Otras características del inventario de emisiones*

FIG. 7-1. EJEMPLO DE DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA ACTIVIDAD DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES



### 7.3. CARACTERÍSTICAS ESPACIALES

En un inventario existen dos características espaciales principales: el dominio del inventario y la resolución espacial. La primera representa el área para la cual las fuentes de contaminantes atmosféricos serán inventariadas.

Con frecuencia, el dominio del inventario está limitado por fronteras políticas o geográficas preestablecidas. Dependiendo de los usos del inventario, es posible que algunas fuentes externas al dominio del inventario ejerzan influencia so-

bre la calidad del aire debido al transporte meteorológico, por lo que también deben considerarse. En la Figura 7-2 se presenta ejemplo de un dominio de un inventario que considera un área cuadrada de 25 km por lado.

La resolución espacial describe el nivel de especificidad de la ubicación geográfica de las fuentes de contaminación. En algunas ocasiones, los inventarios básicos proporcionarán los contaminantes totales sólo para el dominio completo del inventario. Los inventarios más complejos, en particular aquellos asociados con los esfuerzos de modelación de la calidad del aire, con frecuencia requerirán una descripción más detallada de la distribución de las emisiones. En la mayoría de los casos, la resolución espacial de las fuentes de área y naturales y de los vehículos automotores se hace utilizando celdas. El dominio del inventario representado en la Figura 7-2 contiene 25 celdas de 5 km por lado. Típicamente, la precisión deseada para ubicar a las fuentes de emisión y para modelar la calidad del aire determinan el tamaño de la celda; sin embargo, el tamaño también es definido por la magnitud del dominio –los dominios más grandes poseen celdas que pueden medir varios kilómetros por lado, mientras que los dominios más pequeños pueden tener celdas de sólo unos cuantos cientos de metros por lado. En la Figura 7-2, es posible observar la siguiente distribución espacial de emisiones:

- Fuentes de área poblacionales y residenciales: Celdas A1 y A2
- Fuentes de área agrícolas: Celdas B3, B4, C3, C4, D3 y D4
- Fuentes de área marinas: Celdas A3, A4, A5 y B5
- Vehículos automotores: Celdas A1, A2, B1, B2, C2, D2, D3, D4, E2, E4 y E5
- Fuentes biogénicas naturales: Celdas C5, D5, E1, E2, E3 y E4.

Para la mayoría de los tipos de inventarios, las fuentes puntuales deberán ser localizadas geográficamente, ya sea utilizando coordenadas de longitud y latitud, o coordenadas universales transversales de mercator (UTM). En los casos de inventarios

Diagrama de un paisaje urbano y rural dividido en una cuadrícula de 5x5. Las columnas están etiquetadas 1 a 5 de izquierda a derecha. Las filas están etiquetadas A a E de arriba a abajo. Las columnas representan: 1. Área residencial (casas); 2. Fuentes puntuales (alcantarillas); 3. Vehículos automotores (coches); 4. Fuentes biogénicas (árboles); 5. Área agrícola (campos) y Fuentes marinas (barcos). Las filas representan: A. Área residencial; B. Fuentes puntuales; C. Fuentes puntuales; D. Fuentes biogénicas; E. Fuentes biogénicas. Se indican distancias de 5 km entre las columnas y entre las filas.

119

complejos, la precisión geográfica requerida para la ubicación de las fuentes puntuales puede ser de hasta  $\pm 10$  metros.

#### 7.4. RESOLUCIÓN DE ESPECIES QUÍMICAS (ESPECIACIÓN)

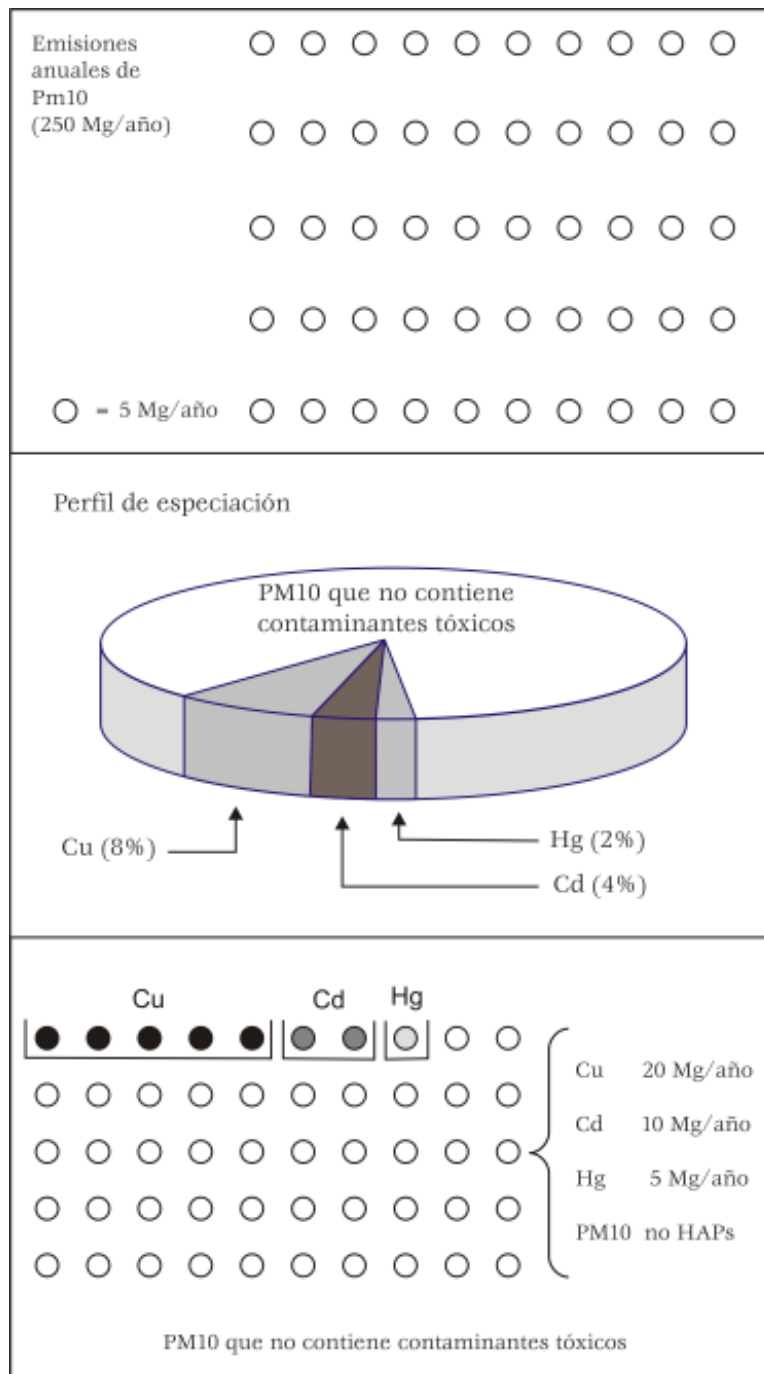
La resolución de especies se refiere a la desagregación de un contaminante del inventario (p.ej., COT, PM) en sus componentes químicos individuales (p.ej., tolueno, plomo, Cele, Corg etc.), o en grupos químicos específicos (p.ej., parafinas, aromáticos, etc.). La necesidad de la resolución de especies, así como la metodología a seguir son determinadas en gran medida por el propósito del inventario. La resolución de especies se puede realizar a través de la aplicación de perfiles de especiación que describen la fracción de las especies químicas individuales. Muchos inventarios no incluyen una resolución detallada de especies; sin embargo, ciertos usos de los inventarios pueden requerirla. Estos usos incluyen la modelación fotoquímica de la calidad del aire y el balance de masa utilizado para conocer la contribución específica de las fuentes de emisión.

A fin de cuantificar las emisiones de contaminantes tóxicos del aire (HAPs, por sus siglas en inglés) se pueden utilizar factores de emisión para los HAPs individuales. Si bien se cuenta con algunos factores de emisión de HAPs para la combustión y otras fuentes, es frecuente que los factores de emisión no existan. Como resultado, las especies de HAPs individuales a menudo son desagregadas de los COT y PM utilizando perfiles de especiación, tal como se ilustra en la Figura 7-3.

En la modelación fotoquímica, la especiación es necesaria debido a que las especies de hidrocarburos emitidas tienen diferentes reactividades fotoquímicas. Las emisiones totales de hidrocarburos se calculan y posteriormente se realiza una especiación en diferentes grupos. Para representar adecuadamente las reacciones químicas que ocurren en la atmósfera, se asigna un nivel de reactividad fotoquímica propio para cada grupo de especies.



FIGURA 7-3. EJEMPLO DE ESPECIACIÓN DE HAPs



Otras caracte-  
rísticas del  
inventario de  
emisiones

La contribución de las diferentes fuentes de emisión (también designada como modelo de receptores) puede estimarse a través de un balance de masa que requiere una resolución de especies sumamente detallada. La contribución de las fuentes de emisión se determina trabajando el balance de masa «en reversa», es decir a partir de las concentraciones de COT y partículas medidas por monitoreo de aire ambiente, utilizando cálculos computarizados en matrices de álgebra lineal. En este caso, la resolución de especies proporciona el perfil del contenido químico (usualmente para metales e hidrocarburos) de las emisiones de cada tipo de fuente. Este perfil del contenido químico representa la «huella digital» de la fuente, la cual se identifica en los datos de muestras de aire ambiente. Sin la resolución de especies, es imposible la instrumentación de esta aplicación. Puede encontrarse mayor información sobre la contribución de fuentes de emisión y los modelos de receptor en algunos estudios recientes (Watson et al., 1984; Chow et al., 1992; Scheff et al., 1984).

## 7.5. ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

El aseguramiento de la calidad (AC) es un elemento indispensable en cualquier inventario de emisiones, sin importar su tipo. La extensión y el AC, sin embargo, serán variables, dependiendo del propósito específico del inventario. Por ejemplo, un inventario para modelación a gran escala requerirá un AC significativamente mayor que el de un inventario de emisiones a nivel de establecimiento. Por otro lado, si un tipo de fuente particular ha sido identificado de manera preliminar como una gran fuente de emisiones contaminantes, entonces, deberán dirigirse más recursos de AC a este tipo de fuente que a otras.

El AC debe ser efectuado durante todo el desarrollo del inventario, y no incorporarse en el último minuto. Algunos ejemplos de las actividades de AC incluyen:

- El uso de una lista de verificación de las categorías de fuente (como en el capítulo 6) permitirá asegurar que todas las categorías necesarias han sido incluidas en el inventario;

- Revisar los resultados de las muestras y datos de actividad para las fuentes externas a la zona dominio del inventario previo al cálculo de las emisiones;
- Confirmar que todos los cálculos de emisión han sido realizados correctamente;
- Comparar los resultados del inventario con los de otros inventarios en regiones similares.

Dado que el AC de un inventario de emisiones pueden afectar la forma y el tiempo en que se obtienen resultados, es necesario identificar los recursos necesarios para esta actividad desde un principio. En lo posible, deberán especificarse en las primeras etapas del esfuerzo de inventario, las actividades de AC y las áreas que requieran mayor concentración al respecto.

*Otras características del inventario de emisiones*

#### 7.6. MANEJO DE DATOS

Otra característica esencial del inventario de emisiones es el manejo de datos. Con la disponibilidad de equipo de cómputo y el incremento en los requerimientos de información, en la actualidad casi todos los datos del inventario son manejados de manera electrónica. Al respecto deberá analizarse si el manejo de los datos se realizará a través de una aplicación de tipo hoja de cálculo o de base de datos. Las primeras tienden a ser más fáciles de usar, pero las bases de datos son mucho más poderosas. El método de transferencia de la información relacionada con el inventario y los requerimientos de confidencialidad de los datos, también deben establecerse en las etapas tempranas del proceso de desarrollo. El propósito del inventario ayudará a determinar el manejo de datos requerido. Por ejemplo, un inventario utilizado para modelación de la calidad del aire necesita un manejo de datos diferente al de un inventario utilizado para verificar el cumplimiento normativo. Por otro lado, los usos esperados para el inventario en el futuro también pueden influenciar el tipo de manejo de datos seleccionado.

## 7.7. PROYECCIONES

Las proyecciones pronostican el comportamiento de un inventario de un año base hacia delante o atrás en el tiempo. El uso de las proyecciones es determinado principalmente por el propósito del inventario. Las proyecciones son utilizadas principalmente para identificar las tendencias pasadas y futuras de las emisiones debido al incremento en la actividad y las estrategias de control instrumentadas.

Por otro lado, las proyecciones son ampliamente utilizadas en los análisis teóricos de diversas estrategias de control propuestas para futura instrumentación. Por ejemplo, las proyecciones pueden ser aplicadas para estimar las emisiones futuras de los vehículos automotores con base en el crecimiento esperado de la población.

También pueden ser utilizadas para realizar un seguimiento a las reducciones estimadas en las emisiones por la entrada en vigor de acciones o regulaciones específicas como la reformulación de pinturas con menores niveles de solventes. En general, las proyecciones de crecimiento de las emisiones se basan en las proyecciones de crecimiento de otros parámetros (p.ej., población, actividad económica, etc.). Las proyecciones de control, por otro lado, a menudo se basan en las reducciones estimadas a partir de posibles estrategias de control.

Las metodologías para la proyección y los datos requeridos deben ser establecidos en las primeras etapas del proceso de desarrollo del inventario. La EPA ha publicado lineamientos con respecto a la proyección de emisiones que contienen diversas referencias y metodologías (U.S. EPA, 1991b).

## 7.8. ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Una característica final del inventario de emisiones es la estimación de su incertidumbre o nivel de precisión. La incertidumbre puede ser estimada cuantitativa o cualitativamente. Las estimaciones cuantitativas de la incertidumbre son poco frecuentes, principalmente debido a que no existen métodos

estandarizados para ello. Por otro lado, la derivación de la incertidumbre cuantitativa puede ser un proceso estadísticamente complejo que requiere un gran número de supuestos.

En general, la estimación de la incertidumbre de los inventarios de emisiones es de naturaleza cualitativa, y se refiere a las metodologías utilizadas, la calidad de los datos de actividad y otros datos relacionados con las emisiones y los supuestos subyacentes u otros componentes del desarrollo del inventario. Por ejemplo, el supuesto en un inventario que establece que las emisiones de las operaciones de recubrimiento de superficies están limitadas sólo a los solventes usados en el recubrimiento final de superficies (y no considera aquellos solventes utilizados para la preparación y/o limpieza de la superficie), con certeza va a ocasionar una subestimación de las emisiones de COV y COT en el inventario. De manera similar, el supuesto de que todas las fuentes puntuales utilizan el mismo combustible y operan con el mismo calendario va a generar incertidumbre, si bien no va a quedar claro si ésta resultará en una sobre o subestimación. A pesar de que las estimaciones cualitativas no calculan estadísticamente la incertidumbre de un inventario de emisión, son valiosas para señalar las debilidades potenciales del inventario y contar con una valoración de su incertidumbre.

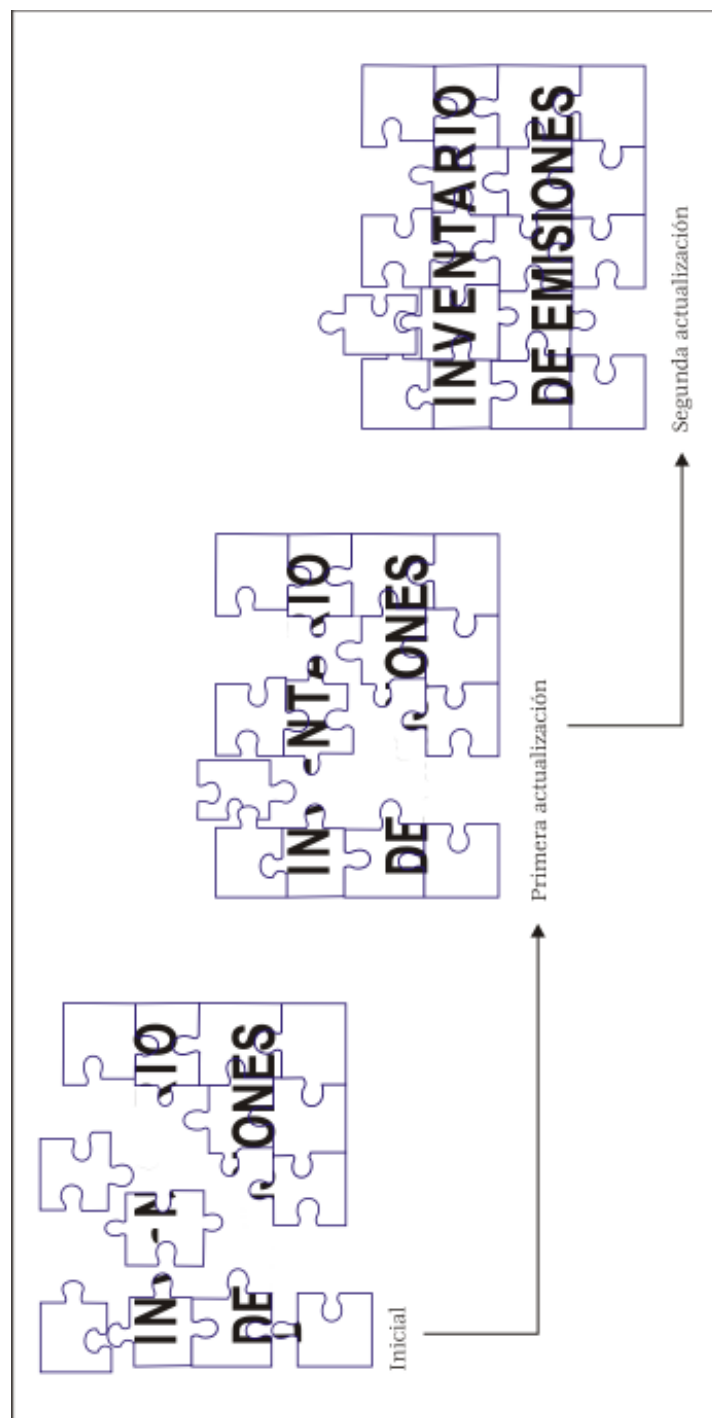
*Otras características del inventario de emisiones*

## 7.9. CONTINUIDAD DEL PROCESO DE INVENTARIO

Los pasos técnicos del desarrollo del inventario de emisiones mostrados previamente en el capítulo 4, representan la continuidad del trabajo que requiere la actualización de inventarios de emisiones. Este concepto de continuidad está representado por los rompecabezas de la Figura 7-4. Los primeros inventarios se caracterizarán por tener información faltante y otras imperfecciones, pero la calidad de inventarios posteriores y actualizados mejorará gradualmente.

La meta final es desarrollar inventarios de emisiones mas precisos y que representen los datos más actuales de las emisiones de contaminantes atmosféricos y datos asociados de las

FIGURA 7-4. CONTINUIDAD DEL PROCESO DE INVENTARIO DE EMISIONES



fuentes, dentro de un área geográfica determinada en un intervalo de tiempo específico. Sin embargo, las limitaciones prácticas ameritan un enfoque continuo para alcanzar este objetivo. Con el tiempo, el desarrollo sistemático del inventario reducirá la incertidumbre y mejorará su calidad general.

En la mayor medida posible, un inventario de emisiones debe ser preciso. Los datos incorrectos o los supuestos demasiado simplistas introducirán imprecisiones. Estas pueden ser corregidas en el posterior manejo del inventario, a través de información más completa o mejorada.

*Otras características del inventario de emisiones*

Finalmente, un inventario de emisiones debe representar las emisiones actuales. Algunas aplicaciones del inventario deberán ser actualizadas cada año y requerirán información específica para ese año en particular. Estos inventarios podrán ser actualizados anualmente para realizar el seguimiento de las emisiones debido al crecimiento en la actividad generadora de emisiones, o su reducción debida a la instrumentación de diversas estrategias de control.





# ESTIMACIÓN DE EMISIONES MEDIANTE MUESTREO EN LA FUENTE

---

## 8

Este capítulo describe el muestreo en la fuente para estimar emisiones de fuentes puntuales y se presentan ejemplos para ilustrar el cálculo de las emisiones a partir de los datos recopilados durante los muestreos. Los métodos específicos de muestreo en la fuente y los procedimientos para el manejo de los datos pueden consultarse en los métodos de referencia de la EPA (40 CFR 60, 1992) y en las normas mexicanas correspondientes.

Debido a la complejidad técnica del muestreo en la fuente se requiere de tiempo y equipo para obtener datos de emisiones que sean exactos y representativos de los diversos contaminantes emitidos por una fuente. En consecuencia, el costo de realizar un muestreo de este tipo en una planta puede ser muy alto. Sin embargo, si se aplica correctamente, este método puede proporcionar la mejor estimación de las emisiones de una fuente, en comparación con los factores de emisión o los balances de materiales.

### 8.1. PRINCIPIOS GENERALES DEL MUESTREO EN FUENTES FIJAS O PUNTUALES DE CONTAMINACIÓN

El propósito del muestreo en la fuente es determinar la concentración del contaminante en una corriente de gas ó la tasa de emisión del contaminante de una chimenea o del escape de un proceso. Midiendo la concentración del conta-

minante en un volumen conocido de gas y determinando la tasa de flujo del gas en una chimenea es posible calcular la tasa de emisión en masa del contaminante.

Los muestreos en la fuente se integran con mediciones de corto plazo que, por lo general, se realizan en periodos de una a cuatro horas. Para coleccionar una muestra representativa deben hacerse al menos dos muestreos en una chimenea o en un escape para cada contaminante de interés bajo condiciones normales de operación. Las variaciones en la operación del proceso durante el muestreo pueden añadir un alto grado de variabilidad en los datos de muestreo. Por lo tanto, los parámetros clave de la operación de un proceso que pueden afectar las emisiones de contaminantes de la fuente también deben ser monitoreados durante la toma de muestras.

En este sentido, las emisiones fluctúan cuando ocurren cambios en el proceso (p.ej., la disminución de la temperatura de una cámara de combustión puede aumentar las emisiones de algunos contaminantes). La recopilación de datos específicos del proceso también es importante para correlacionar las emisiones con la actividad del proceso y para desarrollar factores de emisión. Por ejemplo, si se emiten 0.5 kg/hr de  $\text{NO}_x$  durante un muestreo en la fuente de cuatro horas en el cual se quemaron 400 litros de combustible, es posible determinar un factor de emisión de 0.005 kg de  $\text{NO}_x$  por litro de combustible. Entonces este factor de emisión específico puede ser usado para estimar las emisiones de  $\text{NO}_x$  de esta fuente, basándose en la cantidad de combustible quemado.

Los datos de muestreo en fuente deben usarse para estimar emisiones sólo si los datos se obtuvieron en condiciones representativas de la operación normal del proceso. Los datos de emisión determinados a partir de un muestreo en la fuente pueden extrapolarse para estimar las emisiones anuales de una fuente si la operación del proceso no varía de manera significativa. Si el proceso tiene variaciones considerables será necesario hacer varios muestreos para obtener resultados representativos. Si la operación de la planta no pue-

de ser caracterizada de manera adecuada los datos del muestreo en la fuente no deben usarse para estimar las emisiones.

Los procedimientos para hacer los muestreos en la fuente se encuentran en diversos métodos de referencia (p.ej., normas mexicanas NMX, métodos de la EPA, métodos BIF para calderas y hornos industriales, etc.). Los métodos de muestreo que describen procedimientos para tomas de muestra en tiempos cortos se conocen como métodos manuales. Éstos, en general, son específicos para un tipo de fuente (p.ej., fuentes de combustión con combustibles fósiles, corrientes de gas combustible en refinerías de petróleo y generadores eléctricos de vapor) y para un contaminante (p.ej., partículas, ácido sulfhídrico, plomo) o para una clase de compuestos (p.ej., dioxinas, COVs). Los equipos o sistemas de muestreo de estos contaminantes consisten, por lo general, de una solución o un medio absorbente para capturar el contaminante, una bomba para succionar la muestra de gas a través de la solución o del medio, y un medidor de gas seco para medir el volumen de la muestra gaseosa. Debido a que se utilizan diferentes tipos de solución o de medio para absorber los diferentes contaminantes, el muestreo en la fuente para varios contaminantes (p.ej., metales, partículas, dioxinas) es considerado complejo y costoso. En la Figura 8-1, se muestra un sistema manual de muestreo utilizado para determinar las emisiones de partículas de una fuente estacionaria (conocido como tren de muestreo del Método 5 de la EPA).

*Estimación  
de emisiones  
mediante  
muestreo  
en la fuente*

Una alternativa para el muestreo manual en la fuente es el monitoreo continuo, en el cual se puede tomar en cuenta la variabilidad del proceso en el tiempo. Para medir las concentraciones de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) e hidrocarburos totales (HCT) se utilizan por lo general instrumentos o monitores continuos de emisiones (MCEs) de fabricación comercial. También existen MCEs comerciales para medir opacidad, ácido clorhídrico ( $\text{HCl}$ ) y amoníaco ( $\text{NH}_3$ ). Los MCEs pueden instalarse en la fuente de manera perma-

Principios  
generales del  
muestreo en  
fuentes fijas o  
puntuales de  
contaminación

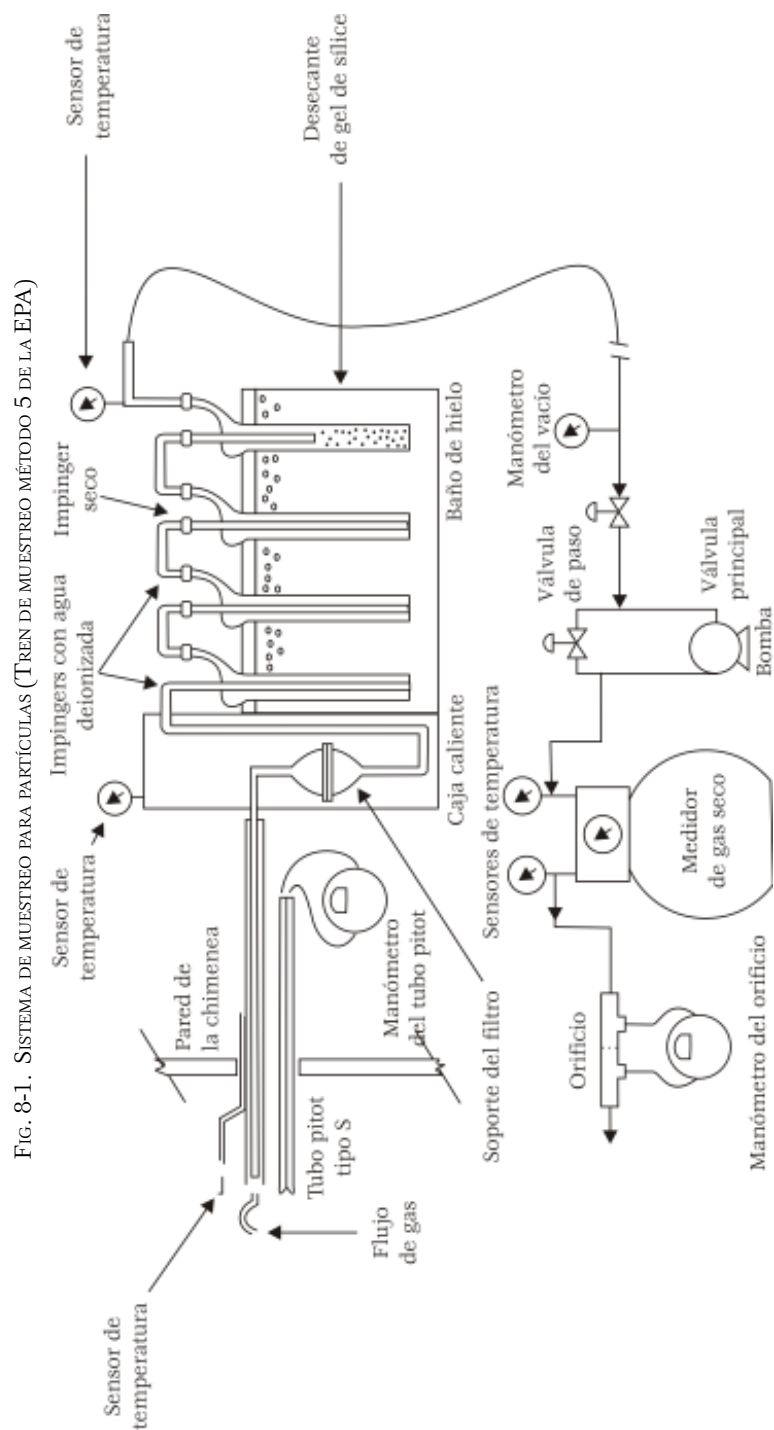
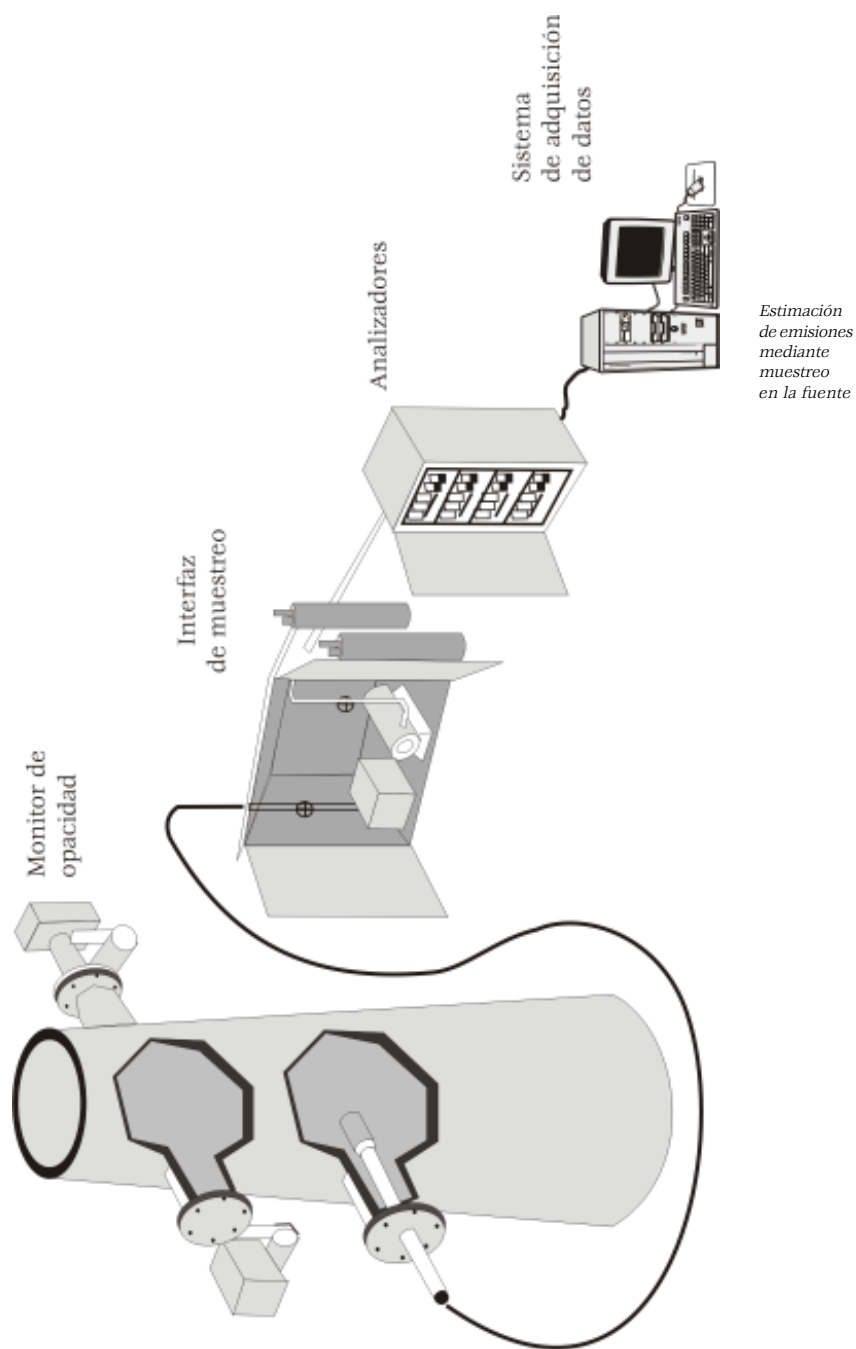


FIG. 8-2. SISTEMA DE MONITOREO CONTINUO DE EMISIONES (MCE)



CUADRO 8-1. LISTA DE VARIABLES Y SÍMBOLOS PARA LOS CÁLCULOS DE EMISIÓN

VARIABLE	SÍMBOLO	UNIDADES
Volumen de la muestra de gas	DV (a)	metro cúbico normal [base seca] (Nm <sup>3</sup> )
Masa de partículas recolectadas en la muestra de enjuague	M <sub>r</sub>	miligramos (mg)
Masa de partículas recolectadas en la muestra del filtro	M <sub>f</sub>	mg
Flujo volumétrico del gas de escape en condiciones estándar	Q	metro cúbico normal por hora [base seca] (Nm <sup>3</sup> /hr)
Concentración de partículas en el gas de salida	C <sub>s</sub>	miligramos por metro cúbico normal [base seca] (mg/Nm <sup>3</sup> )
Tasa de emisión en masa	TEM	kilogramos por hora (kg/hr)
Tasa anual de emisión en masa	TEM (a)	toneladas métricas por año (ton/año)
Horas de operación por año	T	Horas por año (hr/año)
Tasa de emisión en masa por actividad	TEM (b)	kilogramos por millón de kjoule (kg/MMkJ)
Tasa de entrada de calor de la caldera	R	MMkJ/hr
Concentración del contaminante	C	partes por millón en volumen [base seca] (ppmv).
Peso molecular del contaminante	PM	Gramo sobre gramo-mol (g/g-mol)
Volumen molar	V	Volumen ocupado por un mol de gas ideal a presión y temperatura estándar (0.024 m <sup>3</sup> /g-mol a 20°C y 1 atmósfera)
Factor calorífico del combustible conforme al Método 19 de la EPA	F <sub>d</sub> (b)	Metros cúbicos estándar secos por joule a 0% de oxígeno [base seca] (dscm/J)
Concentración medida de oxígeno	O <sub>2</sub> %	Por ciento [base seca]
Concentraciones de hidrógeno, carbono, azufre, nitrógeno y oxígeno	H, C, S, N, O	Porcentaje determinado por el análisis de combustible
Poder calorífico superior del combustible	PCS	kjoule por kilogramo (kJ/kg)

nente para generar datos durante las 24 horas del día, o pueden usarse para el monitoreo de las emisiones durante un periodo definido de muestreo en la fuente (p.ej., de 1 a 4 horas). Un sistema MCE consiste de una bomba para extraer la muestra gaseosa de la fuente, una serie de instrumentos o de analizadores para analizar un contaminante específico en el gas y un sistema de adquisición de datos para registrar la información en el tiempo. En la Figura 8 -2 se muestra el esquema de un sistema MCE.

*Estimación  
de emisiones  
mediante  
muestreo  
en la fuente*

## 8.2. EJEMPLO DE CÁLCULOS PARA EL MUESTREO MANUAL EN LA FUENTE

En general, después de que se ha concluido un muestreo, los datos y resultados obtenidos (incluyendo las concentraciones del contaminante y el flujo volumétrico del gas de escape) son presentados en un informe. La mayor parte de los informes de muestreo en la fuente resumen las emisiones de cada contaminante expresándolas en cualquiera de los siguientes términos:

- Una tasa de emisión (masa de contaminante emitida por unidad de tiempo) ó
- Un factor de emisión (masa de contaminante emitida por unidad de actividad del proceso).

Las variables y símbolos utilizados para los cálculos se enlistan en el Cuadro 8-1. Los ejemplos que se proporcionan a continuación muestran la manera de calcular tasas de emisión en masa, o factores de emisión a partir de los datos obtenidos en el muestreo en fuente.

---

Notas del Cuadro 8.1.

- (a) El metro cúbico normal está dado a: 0 °C y 760 mm Hg.  
(b) El metro cúbico estándar está dado a: 20 °C y 760 mm Hg.

*Ejemplo de  
cálculos para  
el muestreo  
manual en la  
fuente*

EJEMPLO 3-1: Dados los siguientes datos específicos para una fuente, calcular la concentración de partículas en el gas de escape o salida en unidades de miligramos por metro cúbico normal (mg/Nm<sup>3</sup>):

DV = 0.78 metros cúbicos normales (Nm<sup>3</sup>)  
M<sub>r</sub> = 5.5 miligramos (mg)  
M<sub>f</sub> = 9.5 mg  
Q = 34,170 metros cúbicos normales por hora (Nm<sup>3</sup>/hr);  
T = 2,920 horas por año (hr/año)  
R = 118 millones de kjoules por hora (MMkJ/hr).

Paso 1

$$\begin{aligned}Cs &= (M_r + M_f) / DV \\&= (5.5 \text{ mg} + 9.5 \text{ mg}) / 0.78 \text{ Nm}^3 \\&= 19.2 \text{ mg/Nm}^3\end{aligned}$$

Calcular la tasa de emisión en masa, TEM, en kilogramos por hora (kg/hr):

Paso 2

$$\begin{aligned}\text{TEM} &= Cs \times Q / (10^6) \\&= (19.2 \text{ mg/Nm}^3) \times (34,170 \text{ Nm}^3/\text{hr}) / (10^6 \text{ mg/kg}) \\&= 0.66 \text{ kg/hr}\end{aligned}$$

Estos datos se expresan en unidades típicas para las emisiones de partículas. Los resultados también pueden expresarse en otras unidades tales como miligramos por metro cúbico normal (base seca) (mg/Nm<sup>3</sup> seco), utilizando factores de conversión estándar. Con frecuencia, las tasas de emisión en masa se expresan en base anual (p.ej., toneladas métricas por año). Estas estimaciones generalmente incluyen una tasa anual de uso real (es decir, horas por año) dado que la mayor parte de las fuentes no operan de manera continua durante todo el año.



Suponiendo que la fuente presentada antes opera 2,920 hr/año, calcular la tasa anual de emisión de partículas ( $TEM_a$ ) en toneladas métricas/año:

Paso 3

$$TEM_a = TEM \times T / 1,000$$

$$TEM_a = (0.66 \text{ kg/hr}) \times (2,920 \text{ hr/año}) / (1,000 \text{ kg/ton})$$

$$TEM_a = 1.93 \text{ ton/año}$$

*Estimación  
de emisiones  
mediante  
muestreo  
en la fuente*

Algunos datos de emisión se expresan también por unidad de actividad como un factor de emisión. Estos factores de emisión se expresan a menudo como el peso del contaminante emitido por unidad de actividad del proceso. Como ejemplo, calcular la tasa de emisión en masa de la actividad ( $TEM_b$ ) de partículas de una caldera con una tasa de consumo de calor de 118 MMkJ/hr:

Paso 4

$$TEM_b = TEM / R$$

$$TEM_b = (0.66 \text{ kg/hr}) / (118 \text{ MMkJ/hr})$$

$$TEM_b = 0.0056 \text{ kg/MMkJ}$$

Las concentraciones de contaminantes que están presentes como partícula o aerosol (p.ej.,  $PM_{10}$ , plomo, dioxinas) en general son expresadas en masa por unidades de volumen tales como microgramos por metro cúbico normal. Las concentraciones de otros contaminantes que están presentes como un vapor (p.ej.,  $NO_x$ ,  $SO_2$ , CO) se expresan por lo general en unidades de volumen/volumen tales como partes por millón por volumen (ppm), o partes por billón (ppb).

### 8.3. EJEMPLO DE CÁLCULOS PARA DATOS DE MONITOREO

#### CONTINUO DE EMISIONES (MCE)

Para determinar las emisiones de  $SO_2$ ,  $NO_x$ , HCT y/o CO se puede instalar en una planta industrial un sistema de MCE que mida de manera continua las concentraciones de conta-

minantes en parte por millón (ppm). El sistema de MCE a menudo está equipado con un monitor de oxígeno ( $O_2$ ) y/o uno de  $CO_2$ . Estos gases se consideran como gases diluyentes (más que contaminantes), y se monitorean para que sirvan como indicadores del flujo de los gases de escape y/o del flujo de aire en exceso. En general, las concentraciones de  $O_2$  y  $CO_2$  se reportan en unidades de porcentaje (en volumen) dado que son mucho más altas que los niveles de los otros gases monitoreados que se expresan en ppm. Dependiendo de los requerimientos normativos y del tipo de fuente, los instrumentos se pueden instalar de forma permanente para recoger datos de manera continua durante la operación de la unidad, o pueden ser utilizados temporalmente para recolectar datos durante un periodo de tiempo determinado.

Los datos de concentraciones de MCE son transmitidos por lo general del instrumento al sistema de registro de datos, que está programado para almacenarlos y elaborar reportes en un formato específico. A menudo los datos de concentración se promedian en intervalos específicos de tiempo (p.ej., 10 minutos, 1 hora, 24 horas).

Además de las unidades de concentración, los datos de las emisiones se reportan con frecuencia en otras unidades, tales como tasas de emisión en masa (p.ej., kg/hr), o como factores de emisión (kg/unidad de proceso). Para convertir las unidades de concentración en estas otras formas de datos se requieren datos adicionales. Para convertir los datos de concentración en datos de tasa en masa, debe medirse o estimarse el flujo volumétrico del gas de escape (en unidades de metros cúbicos normales por hora). La fuente puede estar equipada con un monitor del flujo del gas de escape que proporciona datos continuos de la tasa de flujo al sistema; o bien este puede ser medida utilizando un tubo pitot. También es posible estimar el flujo con base en mediciones empíricas, en mediciones de la tasa de consumo de combustible, en las concentraciones del gas diluyente o en mediciones del aire de admisión. Para convertir los datos de emisión en unidades de tasa de emi-

sión (p.ej., kg de contaminante emitido/MMkJ de consumo de calor o kg/tonelada métrica de carbón alimentado), debe estimarse la tasa promedio de consumo de combustible o de calor. Cabe destacar aquí, que el balance nacional de energía publicado por la SENER, se reportan los poderes caloríficos de los combustibles utilizados en México.

También se pueden usar factores empíricos del combustible, conocidos como factores F, para convertir los datos de tasa de uso de combustible en tasas de consumo de calor o de flujo de gas. Por lo común, los factores F son específicos para un tipo de combustible (p.ej., gas natural, combustóleo). Algunos ejemplos de factores F que han sido adoptados por la EPA se presentan en el Método 19 (40 CFR 60, 1992).

*Estimación  
de emisiones  
mediante  
muestreo  
en la fuente*

El Cuadro 8-2 presenta un ejemplo de los resultados obtenidos en un sistema de MCE, que consta de monitores de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, O<sub>2</sub> y del flujo, instalados en una chimenea de escape de una caldera alimentada con petróleo diáfano. Los datos en la tabla representan una «imagen instantánea» de las emisiones de la caldera durante un periodo de 60 minutos.

CUADRO 8-2 EJEMPLO DE RESULTADOS DE UN MCE PARA UNA  
CALDERA DE PETRÓLEO DIÁFANO<sup>a</sup>

PERIODO	O <sub>2</sub> (%V)	SO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)	CO (ppm)	FLUJO DE GAS EN LA CHIMENEA (Nm <sup>3</sup> /hr)
11:00	2.1	1,004.0	216.2	31.5	33,964
11:15	2.0	1,100.0	200.6	25.5	34,361
11:30	2.1	1,050.0	216.7	25.1	32,891
11:45	1.9	1,070.0	220.5	20.8	34,890
12:00	1.9	1,070.0	213.8	19.4	34,749
Promedio:	2.0	1,058.8	213.6	24.5	34,171

<sup>a</sup> Basado en un valor calorífico del combustible de 41,828 kJ/kg (18,000 Btu/lb).

### 8.3.1. Cálculo de emisiones horarias y anuales, a partir de mediciones de concentración

Aunque los MCE pueden reportar emisiones horarias en tiempo real de manera automática, puede ser necesario estimar de forma manual las emisiones anuales de una fuente a partir de datos horarios de concentración de contaminantes. Esta sección describe la metodología para calcular emisiones a partir de datos crudos de concentración de un MCE.

Por ejemplo, utilizando los datos de un MCE presentados en Cuadro 8-2, es posible calcular las emisiones en masa de SO<sub>2</sub> para las 11:00 hrs, de la siguiente manera:

#### EJEMPLO 3-2:

##### Paso 1

$$\begin{aligned} \text{TEM}_a &= \frac{C \times \text{PM} \times Q}{(1,000 \times V \times 10^6)} \\ &= \frac{(1,004 \text{ ppmv}) \times (64 \text{ g/g-mol}) \times (33,964 \text{ Nm}^3 / \text{hr})}{(1,000 \text{ g/kg}) \times (0.024 \text{ m}^3 / (\text{g-mol} \times 10^6))} \\ &= 90.9 \text{ kg/hr} \end{aligned}$$

Para calcular la tasa promedio de emisión de masa de SO<sub>2</sub> para todo el periodo de muestreo (1 hora):

##### Paso 2

$$\begin{aligned} \text{TEM}_{\text{prom}} &= \frac{C_{\text{prom}} \times \text{MW}_{\text{prom}} \times Q_{\text{prom}}}{(1,000 \times V \times 10^6)} \\ &= \frac{(1,058.8 \text{ ppm}) \times (64 \text{ g/g-mol}) \times (34,171 \text{ Nm}^3 / \text{hr})}{(1000 \text{ g}) / \text{kg} \times 0.024 \text{ m}^3 / (\text{g-mol} \times 10^6)} \\ &= 96.5 \text{ kg/hr} \end{aligned}$$

Las emisiones anuales de SO<sub>2</sub> pueden ser calculadas utilizando la ecuación correspondiente al paso 3 del ejemplo 3-1, y suponiendo que la caldera opera durante 2,920 horas anuales.

Paso 3

$$\begin{aligned} \text{TEM}_a &= (96.5 \text{ kg/hr}) \times (2,920 \text{ hr/año}) / (1,000 \text{ kg/ton}) \\ &= 282 \text{ ton/año} \end{aligned}$$

Suponiendo que el consumo de calor de la caldera es de 118 MMkJ/hr, la tasa de emisión de actividad de SO<sub>2</sub> puede ser calculada utilizando la ecuación del paso 4 descrita en el ejemplo 3-1:

Paso 4

$$\begin{aligned} \text{TEM}_b &= (96.5 \text{ kg/hr}) / (118 \text{ MMkJ/hr}) \\ &= 0.82 \text{ kg/MMkJ} \end{aligned}$$

*Estimación  
de emisiones  
mediante  
muestreo  
en la fuente*

### 8.3.2. Cálculo de la tasa de flujo del gas de escape o salida en la chimenea

Cuando no se dispone de mediciones directas del flujo del gas en la chimenea, Q, éste puede calcularse utilizando factores del combustible (factores F). El factor F es la relación del volumen gaseoso de los productos de combustión con el contenido de calor del combustible e incluye todos los componentes de la combustión excepto el agua. Este factor puede ser calculado a partir de los resultados de un análisis elemental del combustible utilizando la siguiente ecuación:

$$F_d = \frac{10^6 [3.64(\%H) + 1.53(\%C) + 0.57(\%S) + 0.14(\%N) - 0.46(\%O)]}{\text{PCS}}$$

Los valores de PCS, Poder calorífico superior del combustible (en inglés *HHV*, por las siglas de *Higher Heating Value of fuel*) están disponibles en publicaciones tales como *Steam, its generation and use* (Stultz and Kitto, 1992). Los factores F promedio para diferentes combustibles también pueden consultarse en el Método de Referencia 19 de la EPA, algunos de los cuales se incluyen en el Cuadro 8-3.

Utilizando los datos del MCE descrito en el Cuadro 8-2 y el factor F para petróleo diáfano del Cuadro 8-3 es posible calcular el flujo del gas en la chimenea de la caldera.

EJEMPLO 3-3:

$$\begin{aligned}
 Q &= F_d \times [(20.9\%) / (20.9\% - O_2\%)] \times R \times 10^9 \\
 &= (2.47 \times 10^{-7} \text{ dscm/J}) \times [(20.9\%)/(20.9\% - O_2)] \\
 &\quad \times (118 \text{ MMkJ/hr}) \times (10^9 \text{ J/MMkJ}) \\
 &= 32,230 \text{ dscm/hr}
 \end{aligned}$$

CUADRO 8-3. FACTORES  $F_d$  PARA DIVERSOS COMBUSTIBLES<sup>a</sup>

TIPO DE COMBUSTIBLE	$F_d$	
	dscm/J <sup>b</sup>	dscf/MMBtu
Carbón:		
Antracita <sup>c</sup>	$2.71 \times 10^{-7}$	10,100
Bituminoso <sup>c</sup>	$2.62 \times 10^{-7}$	9,780
Lignito	$2.65 \times 10^{-7}$	9,860
Petróleo <sup>d</sup>	$2.47 \times 10^{-7}$	9,190
Gas:		
Natural	$2.34 \times 10^{-7}$	8,710
Propano	$2.34 \times 10^{-7}$	8,710
Butano	$2.34 \times 10^{-7}$	8,710
Madera	$2.48 \times 10^{-7}$	9,240
Corteza de Madera	$2.58 \times 10^{-7}$	9,600

<sup>a</sup> Determinado en condiciones estándar: 20 °C (68 °F) y 760 mm Hg (29.92 in. Hg).

<sup>b</sup> dscm/J = metros cúbicos estándar secos por Joule

<sup>c</sup> Clasificado de acuerdo con el Método ASTM D 388-77.

<sup>d</sup> Crudo, residual o destilado.

## ESTIMACIÓN DE EMISIONES MEDIANTE MODELOS DE EMISIÓN DE CONTAMINANTES

---

# 9

Muchas estimaciones de emisiones se desarrollan utilizando un factor de emisión que supone una relación lineal entre la tasa de emisión y una unidad de actividad (p.ej., cantidad de combustible consumido, tasa de producción, población, empleo, etc.). Para ciertas categorías de fuente la relación funcional entre las emisiones, procesos múltiples y las variables ambientales se estudia lo suficientemente para dar lugar a modelos matemáticos complejos. Si estos modelos de emisión requieren cálculos complejos o grandes volúmenes de datos para alimentarlos, es probable que se apoyen en programas de cómputo.

Si bien los modelos están diseñados para producir estimaciones más exactas que las obtenidas con factores de emisión, la exactitud de la estimación siempre dependerá de la calidad de los datos con que se alimente el modelo y de los supuestos en que se base. Por lo tanto, antes de decidir utilizar un modelo como la alternativa para un tipo específico de fuente es importante comparar las necesidades del modelo de emisión con los datos disponibles. En este sentido, los requisitos de información son variables, por lo que, para estimar emisiones pueden requerirse uno o varios parámetros físicos de la fuente para la cual se usará el modelo.

Algunos programas de cómputo de modelos de emisiones desarrollados en otros países pueden aplicarse en México.

De hecho, la mayor parte de los modelos actualmente usados en México, son los modelos recomendados o desarrollados por la EPA. En estos casos es muy importante consultar los manuales del usuario para identificar los valores que son utilizados por omisión en ausencia de valores definidos por el usuario, y evaluar si estos valores son adecuados para usarse en las condiciones en que se desea aplicarlos. Asimismo, es importante revisar que la conversión de las unidades métricas de los datos disponibles a las unidades estándar inglesas requeridas sea correcta si es que se aplican modelos de los EU.

Los modelos de emisión pueden clasificarse en tres tipos: adaptativos, mecanísticos y de múltiples variables. Los primeros están basados en programas de cómputo que integran conceptos de redes neurales, lógica tipo *fuzzy* y sistemas caóticos (Collins and Terhune, 1994). Sin embargo, por su complejidad y costo estos modelos no se recomiendan para la estimación de emisiones en México, por lo que los ejemplos que se presentan a continuación corresponden solamente a modelos mecanísticos y de múltiples variables.

### 9.1. MODELOS MECANÍSTICOS

Los modelos mecanísticos se basan en ecuaciones que han sido desarrolladas utilizando fundamentos de Química, Física y Biología para describir la tasa de emisión de un tipo de fuente en particular. Por ejemplo, una fuente importante de COVs para la cual se pueden calcular las emisiones utilizando modelos mecanísticos son las operaciones de almacenamiento y manejo de derivados del petróleo (p.ej., tanques de almacenamiento superficiales y subterráneos; carga de carros-tanque, pipas y buques-tanque; y carga de gasolina en las estaciones de servicio).

A continuación se presenta información sobre los modelos de la EPA que se han desarrollado para estimar las emisiones de las siguientes categorías de fuente: tanques de almacenamiento, operaciones de carga de derivados del petróleo, rellenos sanitarios, aguas residuales y cuerpos de agua y polvos fugitivos.



Para cada categoría de fuente se presenta un breve resumen de las ecuaciones del modelo de emisión, seguida por un resumen de los datos y parámetros requeridos, así como los valores por omisión recomendados por la EPA. Se pueden hallar ejemplos de los cálculos para cada modelo en el Apéndice D. En los casos en que existe un modelo para computadora que esté disponible se incluye una breve descripción.

Para mayor información acerca de los modelos y otras herramientas de estimación de emisiones al aire, pueden consultarse las siguientes páginas de internet:

- En inglés: [www.epa.gov/ttn/chief/](http://www.epa.gov/ttn/chief/);  
[www.epa.gov/ttn/catc/](http://www.epa.gov/ttn/catc/)
- En español: [www.epa.gov/ttn/catc/cica/](http://www.epa.gov/ttn/catc/cica/);  
[www.ine.gob.mx/dgicurg/](http://www.ine.gob.mx/dgicurg/);  
[www.sma.gdf.mx/sma/calaire/](http://www.sma.gdf.mx/sma/calaire/)

*Estimación  
de emisiones  
mediante  
modelos de  
emisión de  
contaminantes*

A parte de las fuentes de emisión mencionadas, la EPA y otras instituciones de varios países han desarrollado modelos para fuentes de emisión como los vehículos automotores, las aeronaves y la vegetación, cuyas emisiones pueden ser muy significativas para la gestión de la calidad del aire en cuencas urbanas. En el inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002, se describe la aplicación de dichos modelos en la estimación de emisiones provenientes de la vegetación y del suelo, así como de aviones, vehículos automotores y rellenos sanitarios.

#### *9.1.1. Tanques de almacenamiento*

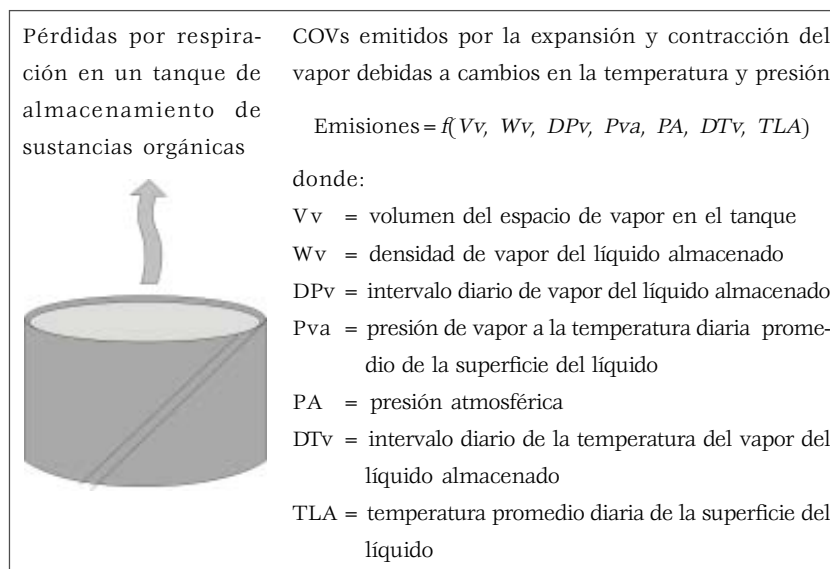
Las ecuaciones de modelos de emisión de la EPA para tanques de almacenamiento constituyen uno de los mejores ejemplos de modelos mecánicos. Se han desarrollado modelos de emisiones tanto para tanques de techo fijo como para tanques de techo flotante. En el modelo de tanques de almacenamiento de techo fijo se aplican entre otros, principios de transferencia de calor a las pérdidas por respiración en el modelo, como se muestra en la Figura 9-1.

### Tanques de techo fijo

Los dos tipos de emisiones más significativas de los tanques de almacenamiento de techo fijo son las *pérdidas en reposo* – denominadas también *pérdidas por respiración*– y las *pérdidas en operación*. Las primeras consisten en la expulsión de vapor del tanque debidas a la expansión y la contracción del vapor, que son resultado de los cambios en la temperatura y en la presión barométrica. Estas pérdidas se presentan sin ningún cambio en el nivel del tanque.

La pérdida combinada por el llenado y el vaciado se conoce como pérdida en operación. La evaporación durante las operaciones de llenado es resultado de un aumento en el nivel del líquido en el tanque. A medida que el nivel del líquido aumenta, la presión dentro del tanque rebasa la presión de alivio y se expulsan vapores del tanque. La pérdida evaporativa durante el vaciado del líquido se presenta cuando el aire arrastrado hacia el tanque durante la remoción del líquido se satura con vapores orgánicos y se expande, excediendo así la capacidad del espacio de vapor.

FIG. 9-1. EJEMPLO DE MODELADO MECANÍSTICO



Las emisiones de los tanques de techo fijo varían en función de la capacidad del contenedor, la presión de vapor del líquido almacenado, la tasa de utilización del tanque y las condiciones atmosféricas del lugar donde se encuentra el tanque. A continuación se resumen las ecuaciones del modelo de emisión. Las ecuaciones detalladas pueden encontrarse en el *AP-42, Sección 7.1* (U.S. EPA, 1995a). Los parámetros requeridos y los valores por omisión para los EU se presentan en el Cuadro 9-1.

Las pérdidas totales de emisión en los tanques de techo fijo son definidas como:

*Estimación de emisiones mediante modelos de emisión de contaminantes*

$$L_T = L_S + L_W \quad (9-1)$$

donde:

$L_T$  = pérdidas totales, lb/año

$L_S$  = pérdidas en reposo, lb/año

$L_W$  = pérdidas en operación, lb/año.

Pérdidas en reposo (respiración):

$$L_S = 365 V_v W_v K_E K_S \quad (9-2)$$

donde:

$V_v$  = volumen del espacio de vapor, ft<sup>3</sup>

$W_v$  = densidad del vapor, lb/ft<sup>3</sup>

$K_E$  = factor de expansión del espacio del vapor, adimensional

$K_S$  = factor de saturación del vapor venteado, adimensional

Pérdida en operación:

$$L_W = 0.0010 M_v P_{VA} Q K_N K_P \quad (9-3)$$

donde:

$M_v$  = peso molecular del vapor, lb/lb-mol

$P_{VA}$  = presión del vapor a la temperatura promedio diaria del líquido, lb/pulg<sup>2</sup> absoluta

$Q$  = flujo neto anual, bbl/año

$K_N$  = factor de producción, adimensional

$K_P$  = factor de pérdida de producto en la operación, adimensional.  
(0.75 para petróleos crudos, 1.0 para los demás líquidos orgánicos)

CUADRO 9-1. TANQUES DE TECHO FIJO: PARÁMETROS REQUERIDOS Y VALORES POR OMISIÓN EN E. U.

DESCRIPCIÓN DEL PARÁMETRO	VARIABLE	VALOR POR OMISIÓN EN EU
Diámetro del tanque	D	
Altura de la envolvente del tanque	H <sub>s</sub>	
Altura del líquido en el tanque	H <sub>L</sub>	
Pendiente del techo cónico del tanque	S <sub>R</sub>	0.0625
Radio del techo del tanque	R <sub>R</sub>	Diámetro del Tanque (D)
Capacidad del tanque	V <sub>LX</sub>	
Color de la pintura del tanque	Se utiliza para determinar a	
Condición de la pintura del tanque	Se utiliza para determinar a	
Absorción solar de la pintura del tanque	a	0.17 (p.ej., pintura blanca en buenas condiciones)
Presión preestablecida en la válvula de alivio del tanque - <i>tank breather vent pressure setting</i>	P <sub>BP</sub>	0.03 psig
Presión de vacío preestablecida en la válvula de alivio del tanque - <i>tank breather vent vacuum setting</i>	P <sub>BV</sub>	-0.03 psig
Gasto o flujo del Material	Q	

CUADRO 9-1. TANQUES DE TECHO FIJO: PARÁMETROS REQUERIDOS Y VALORES POR OMISIÓN EN E.U. (CONTINUACIÓN)

DESCRIPCIÓN DEL PARÁMETRO	VARIABLE	VALOR POR OMISIÓN EN E.U.
Peso molecular del vapor del material	$M_v$	Valores proporcionados de acuerdo a peso molecular de productos petroquímicos selectos
Presión de vapor del material a las temperaturas promedio máxima y mínima de la superficie del líquido	$P_{va}$ , $P_{vx}$ y $P_{vn}$ a $T_{La}$ , $T_{Lx}$ y $T_{Ln}$	Valores proporcionados de acuerdo a presión de vapor de productos petroquímicos selectos. Las correlaciones de la presión de vapor basadas en RVP (presión de vapor Reid) y S están disponibles para diversos petróleos crudos y productos refinados de petróleo.
Presión de vapor Reid del material	RVP	Valores proporcionados para productos refinados de petróleo selectos
Pendiente de destilación del material	S	Valores proporcionados para productos refinados de petróleo selectos
Temperaturas ambiente locales diarias, máxima y mínima	$T_{ax}$ y $T_{an}$	Valores proporcionados para diversas localidades de E.U.
Factor de insolación total en la localidad	I	Valores proporcionados para diversas localidades de E.U.

Estimación de emisiones mediante modelos de emisión de contaminantes

### *Tanques de techo flotante*

Las emisiones totales de los tanques de techo flotante son la suma de las pérdidas al extraer material y las pérdidas en el almacenamiento en reposo. Las pérdidas por extracción ocurren cuando baja el nivel del líquido y, por lo tanto, baja el nivel del techo flotante. Algo del líquido queda adherido a la superficie del tanque y es expuesto a la atmósfera. Estas pérdidas evaporativas ocurren hasta que el tanque esté lleno y la superficie expuesta quede cubierta nuevamente con el líquido. En los tanques de techo flotante interno, con techos fijos soportados por columnas, algún líquido también se adhiera a éstas.

Las pérdidas en el almacenamiento en reposo de estos tanques incluyen las pérdidas en la orilla del sello y las del ajuste del techo. Todas éstas pueden presentarse a través de muchos mecanismos complejos tales como la pérdida inducida por el viento; la pérdida por respiración debida a cambios de temperatura y presión; la pérdida por permeabilidad del material del sello; o la pérdida por el efecto de capilaridad del líquido. Para los tanques de techo flotante interno, las pérdidas en reposo también pueden incluir aquellas ocasionadas por las juntas en la plataforma, conforme al grado en que éstas no sean completamente herméticas.

A continuación se resumen las ecuaciones del modelo de emisiones. Las ecuaciones detalladas, los cuadros de datos de apoyo y las figuras pueden encontrarse en el *AP-42, Sección 7.1* (U.S. EPA, Febrero 1996). Los parámetros requeridos y los valores por omisión para los EU se presentan en el cuadro 9-2.

Las pérdidas totales por emisión de los tanques con techo flotante se definen como:

$$L_T = L_R + L_{WD} + L_F + L_D \quad (9-4)$$

donde:

$L_T$  = pérdidas totales, lb/año;

$L_R$  = pérdidas en la orilla del sello, lb/año;

$L_{WD}$  = pérdidas al extraer material del tanque, lb/año;  
 $L_F$  = pérdidas en el ajuste de la plataforma, lb/año  
 $L_D$  = pérdidas en la junta de la plataforma, lb/año.

Pérdidas en la orilla del sello ( $L_R$ ): (9-5)

$$L_R = (K_{Ra} + K_{Rb} \times v^n) \times (P_{VA}/14.7) [1 + (1 - P_{va}/14.7)^{0.5}]^2 \times D \times M_v \times K_c$$

(Nota: el término  $v^n$  se usa solamente para los tanques con techo flotante externo).

Pérdidas al extraer material del tanque ( $L_{WD}$ ): (9-6)

$$L_{WD} = (0.943 \times Q \times C \times W_L) \times (1 + Nc \times Fc) / (D^2)$$

Pérdida en el ajuste de la plataforma ( $L_F$ ): (9-7)

$$L_F = F_F \times M_v \times K_c \times (P_{VA}/14.7) / [1 + (1 - P_{va}/14.7)^{0.5}]^2$$

Pérdida en la junta de la plataforma ( $L_D$ ): (9-8)

$$L_D = (K_D + S_D \times D^2) \times M_v \times K_c \times (P_{VA}/14.7) / [1 + (1 - P_{va}/14.7)^{0.5}]^2$$

donde:

$K_{Ra}$  = factor de pérdida en la orilla del sello a velocidad del viento igual a cero, lb-mol/pie × año

$K_{Rb}$  = factor de pérdida en la orilla del sello dependiente de la velocidad del viento, lb-mol/(mph)<sup>n</sup> pie × año

$v$  = velocidad promedio del viento en el sitio del tanque, mph;

$n$  = exponente de la velocidad del viento relacionado con el sello

$P_{VA}$  = presión de vapor a la temperatura diaria promedio de la superficie, psia

$D$  = diámetro del tanque, ft

$M_v$  = peso molecular del vapor del líquido, lb/lb-mol

$K_c$  = factor del producto (0.4 para aceites crudos, 1.0 para todos los demás líquidos orgánicos)

*Estimación  
de emisiones  
mediante  
modelos de  
emisión de  
contaminantes*

$Q$  = flujo del material, bbl/año;  
 $C$  = factor de adherencia, bbl/1000 ft<sup>2</sup>;  
 $W_L$  = densidad del líquido, lb/gal;  
 $N_c$  = número de columnas  
 $F_c$  = diámetro efectivo de la columna, ft  
 $F_F$  = factor de pérdida del ajuste entre el techo y la plataforma, lb-mol/año  
 $K_D$  = factor de pérdida en la junta de la plataforma por unidad de longitud de la junta, lb-mol/ft año (0.34 para junta atornillada, 0.0 para junta soldada)  
 $S_D$  = factor de longitud de la junta de la plataforma, ft/ft<sup>2</sup>.

### *El programa TANKS de la EPA*

El programa TANKS está diseñado para estimar las emisiones de COVs de tanques de almacenamiento. El usuario da la información específica sobre el tanque y su contenido, y el programa estima las emisiones anuales o estacionales y genera un reporte. Las emisiones se pueden dividir en *pérdidas de respiración* y *pérdidas por operación* (U.S. EPA, 1996). Sin embargo, existe una desventaja al usar el programa TANKS o las ecuaciones del AP-42, ya que se requieren más recursos para reunir los datos de entrada que si se usaran otras aproximaciones.

El programa TANKS tiene una base de datos sobre productos químicos para más de 100 líquidos orgánicos, y datos meteorológicos de más de 250 ciudades en EU. El usuario puede añadir nuevas sustancias y ciudades (con datos meteorológicos) a su propia versión de la base de datos. Los estilos de tanque incluidos en el programa incluyen tanques de techo fijo, tanto verticales como horizontales, y tanques de techo flotante tanto interno como externo. El tanque puede contener uno o múltiples componentes líquidos.

Las ecuaciones para estimar emisiones que forman la base del software fueron desarrolladas por el *American Petroleum*



*Institute (API)*. El API conserva el derecho de autor de estas ecuaciones, pero dio el permiso para la distribución no exclusiva y no comercial de este material para las entidades gubernamentales y entidades regulatorias. Sin embargo, se reserva los derechos con respecto a toda duplicación y distribución comercial de su material. Por lo tanto, el programa TANKS está disponible para uso público, pero no puede ser vendido sin el permiso del API por escrito. El TANKS 4.09 es un programa compatible con Windows 95 y 98, Windows NT 3.51 o posteriores y puede descargarse de la página de CHIEF (<http://www.epa.gov/ttn/chief/software/airchief/>).

*Estimación  
de emisiones  
mediante  
modelos de  
emisión de  
contaminantes*

#### *9.1.2. Operaciones de carga de productos derivados del petróleo*

Las pérdidas en operaciones de carga son la fuente más importante de emisiones evaporativas de derivados del petróleo de carros-tanque, pipas y buques-tanque. Las pérdidas en operaciones de carga se presentan cuando los vapores orgánicos en los tanques de carga «vacíos» son desplazados a la atmósfera por el líquido que está siendo introducido.

A continuación se describen las ecuaciones del modelo de emisión. Es posible encontrar información más detallada en el *AP-42, Sección 4.4* (U.S. EPA, 1995a). Los parámetros requeridos y los valores por omisión de EU se presentan en el Cuadro 9-3.

$$E = Q \times EF \quad (9-9)$$

donde:

E = tasa anual promedio de emisión como masa, lb/año;

Q = volumen cargado, Mgal/año

EF = factor de emisión, lb/Mgal.

CUADRO 9-2. TANQUES CON TECHO FLOTANTE: PARÁMETROS REQUERIDOS Y VALORES POR OMISIÓN EN EU

DESCRIPCIÓN DEL PARÁMETRO	VARIABLE	VALOR POR OMISIÓN EN EU <sup>a</sup>
Diámetro del tanque	D	
Número de columnas del tanque	NC	Ver tabla basada en el diámetro del tanque (D).
Diámetro efectivo de la columna del tanque	FC	1.0 pie
Condición de la envolvente del tanque		Se usa para determinar C (herrumbre ligera, herrumbre densa, recubrimiento de mortero lanzado)
Factor de adherencia del tanque	C	
Velocidad del viento en el lugar donde se halla el tanque	v (también se usa para determinar FF)	Se dan valores para varios lugares de EU
Construcción del tanque (soldado o remachado)	Se usa para determinar KR <sub>a</sub> , KR <sub>b</sub> , y n	
Construcción de la plataforma del tanque	Utilizado para determinar KD (soldado o atornillado) y SD (tamaño de las láminas o paneles)	
Factor de pérdida en el ajuste de la plataforma del tanque	FF	Se puede calcular contando el número de uniones de la plataforma de un tanque específico
Sistema de sellado del tanque (tipos de sellos primarios o secundarios)	Se usan para determinar KR <sub>a</sub> , KR <sub>b</sub> , y n	

CUADRO 9-2. TANQUES CON TECHO FLOTANTE: PARÁMETROS REQUERIDOS Y VALORES POR OMISIÓN EN EU (CONTINUACIÓN)

DESCRIPCIÓN DEL PARÁMETRO	VARIABLE	VALOR POR OMISIÓN EN EU <sup>a</sup>
Factores del sello del tanque (y exponen- te de velocidad del viento relacionado con el sello)	KRa, KRb, n	Para los techos externos, usar valores para soldado, ajuste promedio sello primario del pilote. Para internos, usar valores para ajuste promedio y sellos primarios montados en vapor, solamente.
Factor de longitud de la unión de la plataforma del tanque	SD	SD = 0.2 para plataformas remachadas, 0.0 para plataformas soldadas
Flujo de material	Q	
Peso molecular del vapor del material	MV	Se dan valores del peso molecular para productos petroquímicos selectos
Presión de vapor del material a la temperatura promedio de la superficie del líquido	PVA a TLA	Se dan valores de la presión de vapor para productos petroquímicos selectos. Las correlaciones de la presión de vapor están basadas en la RVP y S disponi- bles para petróleos crudos y productos refinados de petróleo
Densidad del líquido del material	WL	Se dan valores para productos petroquímicos selectos

<sup>a</sup> Las tablas y valores a los que se hace referencia corresponden al programa TANKS de la EPA.

Estimación  
de emisiones  
mediante  
modelos de  
emisión de  
contaminantes

$$E = 12.46 \times (S \times P \times M_v) / T \quad (9-10)$$

donde:

S = factor de saturación (basado en el método de llenado y de servicio)

P = presión de vapor real del líquido cargado, psia

$M_v$  = peso molecular de los vapores, lb/lb-mol

T = temperatura de líquido cargado a granel, ° R.

Dada la simplicidad de la ecuación de este modelo, no ha sido necesario generar ningún programa de computadora.

### 9.1.3. Rellenos sanitarios

Los componentes principales del biogás de los rellenos sanitarios son el metano ( $\text{CH}_4$ ) y el bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), los cuales son generados por actividad microbiana dentro del relleno en condiciones anaerobias. Las concentraciones de contaminantes tóxicos (HAPs) en el biogás son muy pequeñas, sin embargo dado que los volúmenes de las emisiones de gases en los rellenos sanitarios pueden ser muy grandes, a menudo se les incluye también en los inventarios de emisiones. La tasa de emisiones de un relleno sanitario está determinada por los mecanismos de producción y de transporte del biogás generado. Los primeros incluyen la producción de los componentes de las emisiones en fase de vapor, a través de procesos de vaporización, descomposición biológica o reacción química. Los mecanismos de transporte incluyen el movimiento de un componente volátil en su fase vapor hacia la superficie del relleno sanitario y hacia la capa de aire por encima del relleno y a la atmósfera.

Las emisiones de metano de un relleno sanitario se pueden estimar utilizando el siguiente modelo cinético de primer orden desarrollado por la EPA;

CUADRO 9-3. OPERACIONES DE CARGA: PARÁMETROS REQUERIDOS Y VALORES POR OMISIÓN EN EU

DESCRIPCIÓN DEL PARÁMETRO	VARIABLE	VALOR POR OMISIÓN EN EU
Método de llenado	Se usa para determinar S (salpicado o sumergido)	
Servicio de carga	Se usa para determinar S (limpio, normal dedicado o con balance de vapor dedicado)	<i>Estimación de emisiones mediante modelos de emisión de contaminantes</i>
Flujo de material	Q	
Factor de saturación del material	S	Existen valores dependientes del método de llenado y de servicio
Peso molecular del vapor del material	M <sub>v</sub>	En el AP-42, Sección 7.1 se dan pesos moleculares para productos petroquímicos selectos.
Presión de vapor del material a la temperatura promedio de la superficie del líquido	P	En el AP-42, Sección 7.1 se dan valores de presión de vapor para productos petroquímicos selectos. También están disponibles correlaciones de la presión de vapor con base en RVP y S para petróleos crudos y productos refinados de petróleo.
Temperatura del material durante la carga	T	

$$Q_{CH_4} = L_o \times R \times (e^{-kc} - e^{-kt}) \quad (9-11)$$

donde:

$Q_{CH_4}$  = tasa de generación de metano en el tiempo  $t$ ,  
 $m^3/año$

$L_o$  = potencial de generación de metano,  $m^3CH_4/Mg$  de  
residuos

$R$  = tasa promedio anual de disposición de residuos du-  
rante la vida activa,  $Mg/año$

$e$  = base del logaritmo natural, adimensional

$k$  = constante de la tasa de generación de metano,  $año^{-1}$

$c$  = tiempo transcurrido desde el cierre del relleno, años  
( $c = 0$  para rellenos activos)

$t$  = tiempo transcurrido desde el inicio de operaciones  
del relleno, años.

Se puede hallar información más detallada sobre este modelo en el *AP-42, Sección 2.7* (U.S. EPA, 1995a). Los parámetros requeridos y los valores por omisión adoptados en EU se presentan en el Cuadro 9-3.

#### *Los Programas LAEEM, LANDGEM y LANDFILL de la EPA*

El Modelo de Estimación de Emisiones de Rellenos Sanitarios LAEEM (por las siglas en inglés de *Landfill Emissions Estimation Model*) es un programa de computadora que permite al usuario introducir información específica sobre las características y capacidad de un relleno sanitario individual, y proyectar las emisiones de  $CH_4$ ,  $CO$ ,  $HCNM$  y  $HAPs$  utilizando el modelo de decaimiento de Scholl Canyon sobre generación de biogás en rellenos sanitarios. Este modelo es una ecuación de decaimiento de primer orden que considera las características específicas del sitio para estimar la tasa de generación de biogás. En ausencia de datos específicos del sitio, el programa proporciona valores conservadores por omisión, los cuales se presentan en el Cuadro 9-4. El usuario

CUADRO 9-4 . PARÁMETROS REQUERIDOS Y VALORES POR OMISIÓN EN EU DE  
MODELOS DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE CH<sub>4</sub> EN RELLENOS SANITARIOS

DESCRIPCIÓN DEL PARÁMETRO	VARIABLE	VALOR POR OMISIÓN EN EU	Estimación de emisiones mediante modelos de emisión de contaminantes
Potencial de genera- ción de metano	Lo	8120 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /Mg residuos. Basado en el percentil 80 del intervalo de valores de la literatura (esto es, 200-9540 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /Mg residuos)	
Tasa anual promedio de disposición de residuos durante la vida activa	R		
Constante de la tasa de generación de metano	K	0.02 año <sup>-1</sup> . Basado en el valor por omisión de la Norma NSPS ( <i>New Source Performance Standard</i> )	
Tiempo transcurrido desde el cierre del relleno	C		
Tiempo transcurrido desde el inicio de operaciones del relleno	T		

también puede modificar las características de la tasa de decaimiento en base individual. El modelo proporciona un calculador integrado de la constante de la tasa de decaimiento para los rellenos sanitarios que puedan estar operando con un sistema de recuperación de biogás. Los resultados se pueden revisar de forma tabular o gráfica. También se incluye un sistema de ayuda con información sobre la operación del modelo, así como detalles sobre las suposiciones y valores por omisión que utiliza el sistema. Los programas LANDGEM y LANDFILL han sustituido al anterior LAEEM y están basados en los mismos principios.

#### 9.1.4. Aguas residuales y cuerpos de agua

Las emisiones de COVs y HAPs en cuerpos de agua (embalses), suelos, rellenos sanitarios, pilas de residuos, o sistemas de recolección y tratamiento de aguas residuales, pueden ocurrir a través de una gran variedad de rutas o trayectorias. Para poder estimar las emisiones y la descomposición de compuestos orgánicos, es necesario conocer las rutas que predominan para las diferentes sustancias. Se considera que una ruta es cualquier proceso o serie de procesos que remuevan los COVs de un sitio original. Esta remoción puede ser física (p.ej., la volatilización de un solvente de un embalse superficial) o química (p.ej., la oxidación de un alcohol en una planta de tratamiento de aguas residuales). Las rutas pueden ser consideradas como procesos donde la velocidad de remoción, con frecuencia, es altamente dependiente de la concentración de la sustancia y de la temperatura del sistema. Los procesos más relevantes en dichas rutas son los siguientes:

- Volatilización: se presenta cuando las moléculas de una sustancia disuelta escapan a una fase gaseosa adyacente.
- Adsorción: tiene lugar cuando las moléculas de una sustancia disuelta (en un sistema líquido-sólido) se adhieren físicamente a los elementos de la fase sólida. También puede haber enlace químico (quimisorción)
- Migración: ocurre cuando las sustancias aplicadas a los suelos son transportadas a través de éstos hacia el agua subterránea.
- Escurrimiento: se presenta cuando las sustancias químicas en el suelo o cerca de él pueden ser arrastradas por la lluvia.
- Descomposición biológica: tiene lugar cuando los microorganismos fraccionan los compuestos orgánicos como parte de sus procesos metabólicos.
- Descomposición fotoquímica: puede ocurrir cuando una sustancia química absorbe luz y reacciona (fotólisis directa), o cuando la sustancia reacciona debido a que los elementos que la rodean absorben la luz (fotólisis indirecta).



- Oxidación y reducción: los compuestos orgánicos que se encuentran en los sistemas acuáticos pueden ser oxidados por el oxígeno ( $O_2$ ) u otros oxidantes tales como el radical hidroxilo (OH) y los radicales peroxi ( $RO_2$ ). En medios anaeróbicos pueden presentarse reacciones de reducción.
- Hidrólisis: se presenta cuando una sustancia reacciona con el agua.
- Reacciones de radical hidroxilo: éstas pueden ocurrir por la adición de un radical hidroxilo, por la sustracción de un átomo de hidrógeno, o por ambos mecanismos.

*Estimación  
de emisiones  
mediante  
modelos de  
emisión de  
contaminantes*

El Cuadro 9-5 resume la importancia relativa de las nueve rutas descritas en los modelos de emisión desarrollados por la EPA para diversas fuentes de emisión (U.S. EPA, 1994).

Las ecuaciones de los modelos de emisión desarrollados para describir estas rutas son sumamente complejas. Una discusión detallada de estas ecuaciones, así como ejemplos de cálculos para cada ruta pueden encontrarse en el documento *Air Emissions Models For Waste and Wastewater (EPA-453/R-94-080A)* (U.S. EPA, 1994), disponible en el sistema CHIEF. Sin embargo, se han desarrollado algunos programas de cómputo que facilitan el cálculo, si bien siempre se requerirán ciertos datos y parámetros de entrada.

#### *El Programa CHEMDAT8 de la EPA*

CHEMDAT8 es una hoja de cálculo Lotus 123® elaborada por la EPA que incluye modelos para la estimación de emisiones de COVs en establecimientos de manejo de residuos peligrosos. El modelo incluye opciones para embalses de disposición, rellenos sanitarios cerrados, tratamiento de suelos contaminados y plantas de tratamiento de aguas residuales -con y sin procesos de aereación. Las emisiones previstas se pueden ver en pantalla o imprimirse con PrintGraph®, que es otro programa de Lotus®.

Los modelos en CHEMDAT8 pueden aplicarse también a otros tipos de proceso de manejo de residuos además de los

CUADRO 9-5. IMPORTANCIA RELATIVA DE LAS RUTAS DE REMOCIÓN DE COVs Y HAPs  
EN DIVERSAS FUENTES DE ÁREA

RUTA <sup>a</sup>	PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUALES				
	EMBALSES	AEREADAS	NO	TRATAMIENTO	RELLENO
	SUPERFICIALES		AEREADAS	DE SUELOS	SANITARIO
Volatilización	I	I	I	I	I
Biodegradación	I	I	I	I	S
Foto descomposición	S	D	D	D	D
Hidrólisis	S	S	S	D	D
Oxidación y reducción	D	D	D	D	D
Adsorción	D	S	S	D	D
Reacción de radical hidroxilo	D	D	D	D	D
Migración <sup>b</sup>	D	D	D	D	D
Escurrimiento <sup>b</sup>	D	D	D	D	D

I = Importante

S = Secundario

D = Despreciable o no aplicable

<sup>a</sup> Algunos compuestos pueden tener rutas dominantes diferentes a las que se muestran aquí.

<sup>b</sup> Se considera que la migración de agua y los escurrimientos tienen efectos despreciables sobre el suelo y sobre las agua superficiales en una planta de tratamiento de aguas residuales o de manejo de residuos peligrosos que se opera de manera adecuada.

considerados en la versión de diseño original. Por ejemplo, con el modelo de estanque no aerado pueden estimarse las emisiones de estanques de almacenamiento de aguas residuales. El modelo de emisiones de estanques superficiales es útil para estimar emisiones derivadas del tratamiento aeróbico de aguas residuales. Con el modelo de tratamiento

de suelos pueden estimarse las emisiones de tiraderos a cielo abierto y de pilas de residuos además de las de suelos tratados. Las emisiones de una película de aceite en un tanque pueden predecirse con el modelo de película de aceite. El modelo CHEMDAT8 puede asignar algunos parámetros de entrada por omisión, o bien estos pueden cambiarse para reflejar diferentes características de los establecimientos de manejo de residuos. La lista de 60 compuestos considerados en el CHEMDAT8 puede incrementarse hasta casi 700 sustancias.

*Estimación  
de emisiones  
mediante  
modelos de  
emisión de  
contaminantes*

#### *El programa WATER9 de la EPA*

WATER9 es un programa de computadora manejado con menús, que tiene el objetivo de estimar emisiones de plantas de tratamiento de aguas residuales. WATER9 usa algunos de los mismos modelos que se encuentran en CHEMDAT8, pero contiene datos para un total de 800 compuestos. Este programa también tiene mejoras gráficas para ayudar al usuario a visualizar el sistema que está siendo modelado.

#### *9.1.5. Polvos fugitivos*

El polvo fugitivo presente en la atmósfera surge de perturbaciones mecánicas de material granulado expuesto al aire. El polvo generado por estas fuentes abiertas se denomina «fugitivo» debido a que no se descarga a la atmósfera en una corriente de flujo confinado. Las fuentes de polvos fugitivos más comunes incluyen caminos pavimentados y no pavimentados, operaciones agrícolas, depósitos de materiales de agregados y operaciones de construcción. La generación del polvo se debe a la pulverización y abrasión de los materiales de la superficie al aplicar una fuerza mecánica a través de diversos implementos (p.ej., ruedas, cuchillas, etc.), y por el arrastre de partículas de polvo por la acción de corrientes turbulentas de aire, tales como la erosión eólica de una superficie expuesta a vientos con velocidades superiores a los 19 km/hr (12 millas/hr).

La EPA ha desarrollado varios modelos de emisión para estimar las emisiones de estas fuentes de polvos fugitivos, los cuales se sintetizan a continuación y cuya información más detallada puede consultarse en el *AP-42, Sección 13.2* (U.S. EPA, 1995a).

#### Caminos sin pavimentar

$$E = \text{VKT} \times \text{EF} \quad (9-12)$$

donde:

E = tasa de emisión promedio anual como masa, kg/año

VKT = kilómetros vehículo recorridos, VKT/año

EF = factor de emisión, kg/VKT

$$\text{EF} = k (1.7) (s/12) (S/24) (W^{0.7}/2.7) (w^{0.5}/4) (1-p/365) (\text{kg/VKT}) \quad (9-13)$$

donde:

k = multiplicador del tamaño de partícula, adimensional

s = contenido de sedimentos del material de recubrimiento del camino, %

S = velocidad promedio del vehículo, km/hr

W = peso medio del vehículo, Mg

w = número medio de ruedas

p = número de días al año con una precipitación mínima de 0.254 mm (0.01 in).

#### Caminos pavimentados

$$E = \text{VKT} \times \text{EF} \quad (9-14)$$

donde:

E = tasa de emisión anual promedio en masa, g/año;

VKT = kilómetros vehículo recorridos, VKT/año;

EF = factor de emisión, g/VKT.

$$EF = k (sL / 2)^{0.65} (W/3)^{1.5} \quad (9-15)$$

donde:

k = factor de emisión de base para el intervalo de tamaño de partícula (g/VKT)

sL = carga de sedimentos de la superficie del camino (g/m<sup>2</sup>)

W = peso promedio (tons) de los vehículos que transitan por el camino

*Estimación  
de emisiones  
mediante  
modelos de  
emisión de  
contaminantes*

Operaciones de construcción pesada

$$E = A \times T \times EF \quad (9-16)$$

donde:

E = tasa de emisión anual promedio en masa, Mg/año

A = área en construcción, hectáreas

T = tiempo de construcción, meses

EF = factor de emisión = 2.69 Mg/hectárea/mes

Manejo de agregados y depósitos de materiales

$$E = Q \times EF \quad (9-17)$$

donde:

E = tasa de emisión anual promedio en masa, kg/año

Q = cantidad de material transferido, Mg/año

EF = factor de emisión, kg/Mg

$$EF = k(0.0016) (U/2.2)^{1.4}/(M/2)^{1.3} \quad (9-18)$$

donde:

k = multiplicador del tamaño de partícula, adimensional

U = velocidad media del viento, m/s

M = contenido de humedad del material, %

Erosión eólica industrial

$$E = A \times EF \quad (9-19)$$

donde:

E = tasa de emisión anual promedio en masa, g/año

A = área de la superficie del material sujeto a la perturbación, m<sup>2</sup>

EF = factor de emisión, g/m<sup>2</sup>/año

$$EF = k \sum_{i=1}^N P_i \quad (9-20)$$

donde:

k = multiplicador del tamaño de partícula, adimensional

N = número de perturbaciones por año

P<sub>i</sub> = potencial de erosión correspondiente a la velocidad máxima del viento en el periodo (i)ésimo entre perturbaciones, g/m<sup>2</sup>

### *Programas de la EPA para estimar emisiones de polvos fugitivos*

La EPA desarrolló dos programas en 1990 para apoyar la estimación de emisiones de polvos fugitivos causados por las perturbaciones mecánicas (es decir, caminos pavimentados y no pavimentados, manejo de materiales, actividades agrícola, y construcción y demolición), y por la erosión eólica. Estos programas para computadora se basan en el documento *Control of Open Fugitive Dust Sources* -Control de Fuentes Abiertas de Polvos Fugitivos- (U.S. EPA, 1988). Estas técnicas de estimación de emisiones se describen en el AP 42, sección 13.2, y en el Página Web de CHIEF.

Algunos de los parámetros requeridos por los programas mencionados y los valores por omisión que se han adoptado en EUA se describen en el Cuadro 9-6.

CUADRO 9-6. PARÁMETROS REQUERIDOS Y VALORES POR OMISIÓN EN EU EN MODELOS DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE POLVOS FUGITIVOS

DESCRIPCIÓN DEL PARÁMETRO	VARIABLE	VALOR POR OMISIÓN DE EU <sup>a</sup>
Tamaño de partícula para el que se estimarán las emisiones	Se usa para determinar k	
Multiplicador del tamaño de partícula	K	
Contenido de sedimento del material de la superficie del camino	S	Tabla de valores por omisión de caminos y materiales de superficie
Velocidad media del vehículo	s	Intervalo de valores en condiciones de prueba: 21-64 km/hr.
Peso medio del vehículo	W	Intervalo de valores en condiciones de prueba: 2.7-142 Mg.
Número medio de ruedas	w	Intervalo de valores en condiciones de prueba 4-13 ruedas
Número de días por año con precipitación mínima de 0.254 mm (0.01 in)	P	Se dan datos regionales para EU
Carga de sedimentos en la superficie del camino	sL	Se presenta tabla de valores por estado y ciudad de EU
Área superficial del material	A	
Tiempo de construcción	T	
Cantidad de material transferido	Q	
Velocidad media del viento	U	
Contenido de humedad del material	M	Se presenta tabla de valores de material de la superficie
Número de perturbaciones por año	N	
Función del potencial de erosión	Pi	

<sup>a</sup> Las tablas y valores a los que se hace referencia corresponden a los programas de la EPA para estimar emisiones de polvos fugitivos.

## 9.2. MODELOS DE EMISIONES DE MÚLTIPLES VARIABLES

Un modelo de emisiones de múltiples variables es una metodología híbrida que combina varios enfoques tradicionales de inventarios de emisiones con información específica del sitio o región del inventario, dentro de un marco de extrapolación de datos. Como su nombre sugiere, un modelo de múltiples variables expresa las estimaciones de las emisiones en términos de un conjunto de variables que caracterizan el sistema que se modela. Este enfoque es adecuado en particular para las regiones que tienen registros y estadísticas que resultan limitados para la aplicación de otras técnicas tradicionales de inventario. El concepto fundamental está en la estimación de emisiones con base en las características del uso y tipo de cobertura del suelo. Por ejemplo, los lugares agrícolas, residenciales, comerciales e industriales tienen diferentes características en cuanto a las fuentes y emisiones de contaminantes. Estas diferencias pueden ser caracterizadas utilizando diversas variables que describan la actividad que produce emisiones para cada tipo de uso y de cobertura del suelo.

Es probable que el uso de modelos de múltiples variables tenga costos iniciales más elevados que el de otros métodos de inventario de emisiones. Sin embargo, la facilidad de aplicación y la posible reducción de costos de mantenimiento del inventario en el futuro lo hace una opción atractiva. Otra ventaja significativa de los modelos de múltiples variables es que se basan en datos locales. Esto permite que los efectos de las condiciones locales sean incluidos en las estimaciones de las emisiones. Entre los posibles tipos de fuente cuyas emisiones podrían ser estimadas con estos modelos en México se encuentran las actividades de construcción, las actividades agrícolas y el uso de solventes

### 9.2.1. Desarrollo de un modelo de emisiones de múltiples variables

El primer paso en el desarrollo de un modelo de emisiones de múltiples variables es la identificación de las variables independientes que pueden caracterizar estadísticamente el



sistema. Estas variables diferirán de un sistema a otro. Usando las actividades agrícolas como ejemplo, estas variables podrían ser un tipo de cultivo (legumbres, maíz, etc.), superficie cultivada o tamaño de la cosecha. Para las actividades de construcción, las variables podrían ser el tipo de construcción (edificios, carreteras, vías de ferrocarril, etc.), el tamaño de la misma o su costo. Cada una de estas variables puede usarse para describir la magnitud de las emisiones de estas fuentes. Por ejemplo, la construcción de dos kilómetros de carretera generaría más emisiones de partículas que la construcción de un kilómetro.

*Estimación  
de emisiones  
mediante  
modelos de  
emisión de  
contaminantes*

El segundo paso del desarrollo de un modelo de múltiples variables es la identificación de las fuentes de emisión a nivel de operaciones o procesos relevantes. Por ejemplo, para las emisiones de partículas derivadas de actividades agrícolas, podrían considerarse las operaciones de barbecho o preparación de la tierra y las de cosecha, además de las emisiones de los equipos y vehículos agrícolas. En el caso de las actividades de construcción, podrían incluirse el movimiento de tierras, el manejo de materiales y las emisiones de los equipos de construcción. El número total de fuentes de emisión cubiertos en el modelo está determinado por el tipo de actividad que se desea caracterizar.

Después de definir los tipos de fuente que serán incluidos en el modelo de múltiples variables, el siguiente paso consiste en desarrollar los datos de emisiones que se usarán. Las emisiones de cada tipo de fuente en un solo sitio (de construcción, agrícola, etc.), se estiman utilizando métodos convencionales (es decir, factores de emisión o modelos mecanísticos), y datos específicos del sitio. Para crear un modelo de múltiples variables que sea coherente desde el punto de vista estadístico, es necesario repetir esta estimación para varios sitios diferentes dentro de la misma región.

Después, las emisiones totales estimadas para cada sitio geográfico se grafican contra cada una de las variables independientes elegidas para caracterizar el sistema. Los sitios que

difieran de manera considerable de los sitios representativos pueden producir estimaciones significativamente más altas o más bajas que podrían afectar negativamente el análisis estadístico. Estos datos puntuales deben ser considerados como «extremosos» y ser excluidos de análisis posteriores.

A partir de los datos graficados se determina la relación estadística mas significativa entre las emisiones y las variables independientes elegidas previamente (p.ej., kg de PM<sub>10</sub>/acre de tomates, kg de PM<sub>10</sub>/US\$ de construcción de edificios, etc.). Luego se realiza un análisis estadístico para evaluar la imprecisión del modelo correspondiente al mejor ajuste y para determinar la incertidumbre de la estimación de emisiones.

De este análisis se selecciona la relación más representativa desde el punto de vista estadístico. Es probable que esta sea una relación lineal simple pero también es posible que sea exponencial, logarítmica o segmentada.

Después de determinar la relación más apropiada de mejor ajuste, las emisiones regionales pueden ser estimadas insertando datos regionales en el modelo desarrollado.

### *9.2.2. Ejemplo de un modelo de múltiples variables - actividades de construcción*

Las actividades de construcción son una fuente de área generalmente muy dispersa y que puede ser una fuente significativa de partículas PM<sub>10</sub>. Debido a que las actividades de construcción están dispersas, por lo general no es factible estimar las emisiones de cada sitio de construcción en forma individual. Esto hace que las actividades de construcción sean candidatos ideales para los modelos de estimación de emisiones de múltiples variables, tal como lo ilustra el siguiente ejemplo.

*IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES DEL SISTEMA.* Existen diversas variables relacionadas con las actividades de construcción que caracterizan al sistema. Entre las variables más independiente del sistema se incluyen:

- Tipo de construcción (edificios, carreteras, vías de ferrocarril, etc.)

- Tamaño de la construcción (área del edificio, volumen de excavación, cantidad de concreto vaciado, etc.)
- Valor monetario del proyecto
- Número de trabajadores en la construcción.

*IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES* (p.ej., a nivel de operaciones o procesos) *DE EMISIÓN*. Las actividades de construcción generan emisiones de PM<sub>10</sub> a partir de operaciones varias como:

- Demolición y remoción de escombros
- Excavación y otros movimientos de tierras
- Emisiones de vehículos y equipo de construcción
- Manejo de materiales
- Arrastre y acarreo de polvo

*Estimación  
de emisiones  
mediante  
modelos de  
emisión de  
contaminantes*

*DESARROLLO DE LOS DATOS DE EMISIONES*. Las emisiones totales de un sitio de construcción se estiman sumando las emisiones de cada una de las operaciones de emisión identificadas, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$E_{\text{tot}} = \sum (x_{d,c,e,m,r})(y_{d,c,e,m,r}) \quad (9-21)$$

donde:

$E_{\text{tot}}$  = emisiones totales en el sitio;

$x$  = tasa de actividad;

$y$  = factor de emisión;

$d$  = demolición y remoción de escombros;

$c$  = excavación y otros movimientos de tierras;

$e$  = emisiones de vehículos y equipo de construcción;

$m$  = manejo de materiales y

$r$  = arrastre y acarreo de polvo

En el Cuadro 9-7 se enlistan las tasas de actividad específicas del sitio ( $x_i$ ) y los factores de emisión empíricos ( $y_i$ ) necesarios para estimar las emisiones de la construcción en un sitio determinado. Los parámetros específicos del sitio deben considerarse en la selección de los factores de emisión correspondientes.

*GRAFICACIÓN DE LOS DATOS DE EMISIONES.* Después de obtener las emisiones totales ( $E_{\text{tot}}$ ) de  $\text{PM}_{10}$  para varios sitios de construcción diferentes, se grafican estos datos contra el área de construcción del sitio, el valor del proyecto de construcción, el número de trabajadores y cualquier otra variable relevante del sistema. En la Figura 9-2 se muestra un ejemplo de la gráfica de datos para seis sitios (con los literales  $E_1$  hasta  $E_6$ ).

*ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS GRAFICADOS.* El siguiente paso es determinar la relación estadísticamente más significativa entre las variables graficadas. Para el ejemplo de la Figura 9-2 se supone que la relación estadísticamente mas significativa es una regresión lineal simple que intersecta el eje de las ordenadas en el origen (es decir, sin actividad de construcción no hay emisiones de  $\text{PM}_{10}$ ). En este ejemplo, la comparación de los valores de  $R^2$  resultantes indican que la relación estadísticamente más significativa se da entre las emisiones de  $\text{PM}_{10}$  y el área de construcción. En situaciones reales es probable que las emisiones no sean dependientes de una sola variable del sistema sino que dependan de varias.

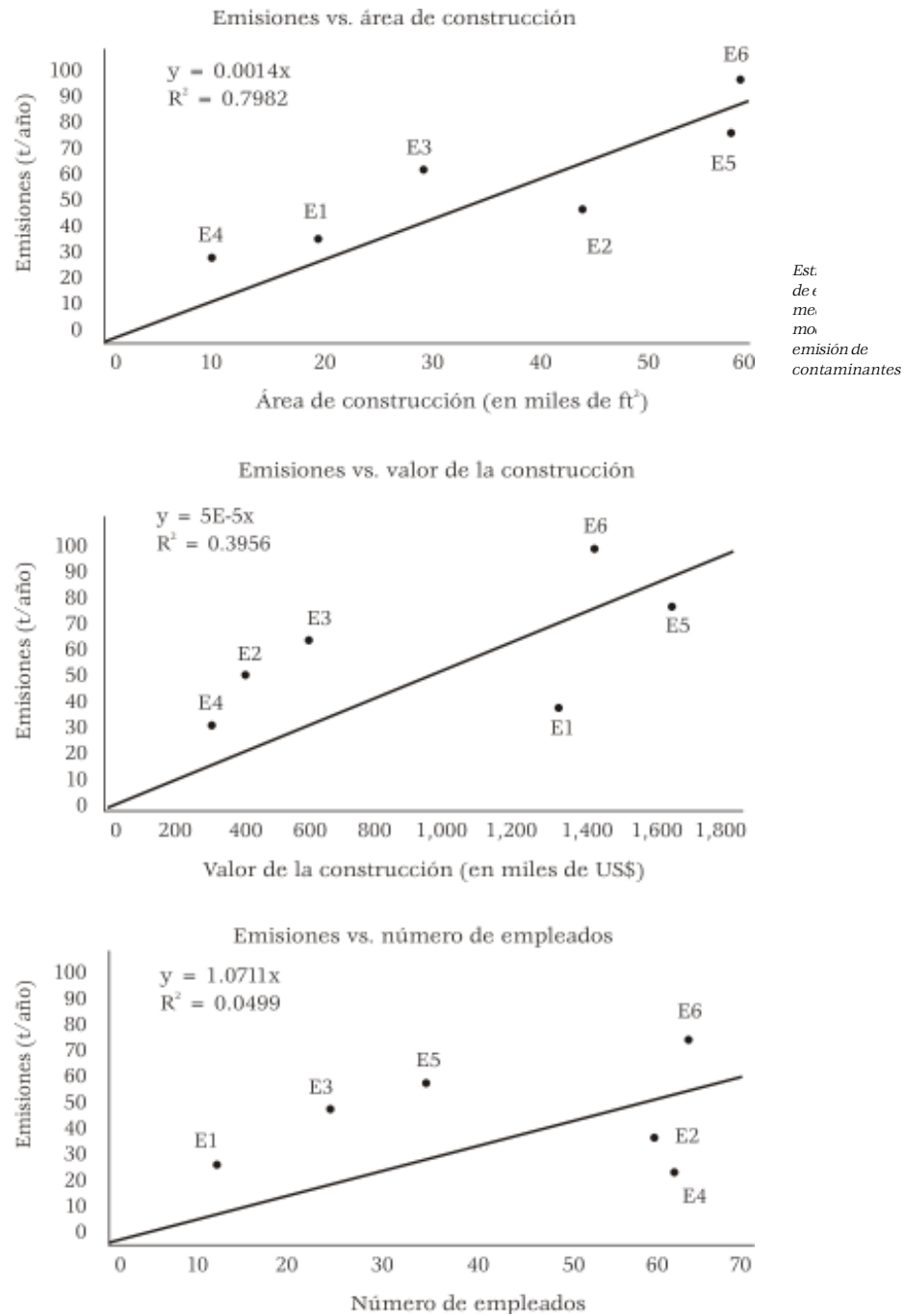
*CÁLCULO DE LAS EMISIONES REGIONALES.* Una vez que se ha establecido que la relación de mejor ajuste, en este caso la que corresponde a las emisiones de  $\text{PM}_{10}$  y el área de construcción es estadísticamente válida, la aplicación de esta relación para calcular las emisiones en toda la región es directa. Como se puede ver en la gráfica de emisiones totales contra el área de construcción de la Figura 9-2, la ecuación que determina la regresión lineal es:

$$\text{Emisiones Totales de PM}_{10} \text{ (ton/año)} = 0.0014 \text{ Área de Construcción (m}^2\text{)}$$

Si el área total de construcción a nivel regional en el ejemplo es de 2,600,000  $\text{m}^2$ , entonces las emisiones regionales de  $\text{PM}_{10}$  de todas las actividades de la construcción serán:

$$0.0014 (2,600,000 \text{ m}^2) = 3640 \text{ ton/año de PM}_{10}$$

FIGURA 9-2. GRÁFICAS DE EMISIONES DE  $PM_{10}$  VS. VARIABLES DEL SISTEMA



CUADRO 9-7. TASAS DE ACTIVIDAD Y PARÁMETROS DE LOS FACTORES DE EMISIÓN REQUERIDOS PARA ESTIMAR LAS EMISIONES DE ACTIVIDADES DE LA CONSTRUCCIÓN

OPERACIONES DE EMISIÓN	TASA DE ACTIVIDAD ( $x_i$ )	FACTOR DE EMISIÓN ( $y_i$ )	PARÁMETROS ESPECÍFICOS DEL SITIO
Demolición y remoción de escombros (d)	Cantidad de material de demolición (Mg)	kg PM <sub>10</sub> /Mg de material de demolición <sup>a</sup>	Velocidad del viento (m/s) Contenido de humedad en el material de demolición (%)
Excavación y movimientos de tierras (c)	VKT	kg PM <sub>10</sub> /VKT <sup>a</sup>	Tipo de equipo
Vehículos y equipos (e)	Horas de operación	g PM <sub>10</sub> /horas de operación <sup>b</sup>	Tipo de equipo Tipo de combustible Potencia nominal Carga de operación
Manejo de materiales (m)	Cantidad de material manejado (Mg)	kg PM <sub>10</sub> /Mg de material manejado <sup>a</sup>	Velocidad del viento (m/s) Contenido de humedad en las pilas de almacenamiento (%)
Arrastre y acarreo de polvos (r)	VKT vehículo	kg PM <sub>10</sub> /VKT <sup>a</sup>	Contenido de sedimentos (%) Velocidad del vehículo (km/hr) Peso del vehículo (Mg) Numero de ruedas del vehículo (-) Precipitación (número de días por año con precipitación <sup>3</sup> 0.254 mm)

<sup>a</sup> Las ecuaciones empíricas para estimar emisiones de la demolición y remoción de escombros, excavación y movimiento de tierras, manejo de materiales y arrastre y acarreo de polvo pueden encontrarse en *Fugitive Dust Background Document and Technical Information Document for Best Available Control Measures* (U.S. EPA, 1992)

<sup>b</sup> Los factores de emisión (g/hp-hr) para diferentes tipos de equipos pueden encontrarse en *Nonroad Engine and Vehicle Emission Study Report* (U.S. EPA, 1991a). Podría ser necesario que se desarrollaran factores de emisión específicos para México.

# ESTIMACIÓN DE EMISIONES MEDIANTE FACTORES DE EMISIÓN

## 10

Un factor de emisión es una relación entre la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera y una unidad de actividad. Los factores de emisión, en general, se pueden clasificar en dos tipos: los basados en procesos y los basados en censos. Por lo general, los primeros se utilizan para estimar emisiones de fuentes puntuales y a menudo se combinan con los datos de actividad recopilados en encuestas o en balances de materiales. Por otro lado, los factores de emisión basados en censos se usan generalmente para estimar emisiones de fuentes de área, tal como se ilustra en la Figura 10-1.

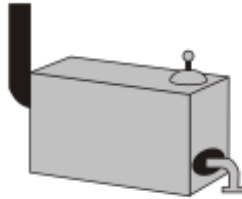
### 10.1. FACTORES DE EMISIÓN BASADOS EN PROCESOS

En muchos países se han realizado múltiples estudios para determinar las tasas de emisión promedio de diferentes procesos que son fuentes de emisiones. Puesto que con frecuencia no se requiere ni es económicamente factible hacer un muestreo en cada fuente de emisión, se usan los resultados de muestreos de «fuentes representativas» para desarrollar factores de emisión, los cuales se expresan como unidades de masa de contaminante emitido por unidad de proceso. Entre las unidades de proceso más comunes se encuentran el consumo de energía, el consumo de materia prima, las unidades de producción, el calendario de operación, o el número de dispositivos ó las características de éstos. Por ejemplo, lb/MMBtu, lb/gal, lb/lote, lb/hr ó lb/pie<sup>2</sup> [área superficial].

FIG. 10-1. EJEMPLOS DE FACTORES DE EMISIÓN

Factores de Emisión Basados en Procesos

Caldera de  
Gas Natural



kg de contaminante/  
 $10^6 \text{ m}^3$  de gas  
quemado

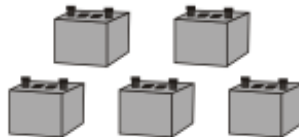
*Factores de  
emisión basados  
en procesos*

Desengrasador  
de Vapor



kg de contaminante/  
 $\text{hr/m}^2$  de área  
superficial del  
desengrasador

Manufactura  
de Baterías



kg de contaminante/  
 $10^3$  baterías

Factores de Emisión Basados en Censos

Per Cápita



kg de contaminante/  
persona/año

Por Empleado



kg de contaminante/  
empleado/año



La fuente de consulta más extensa para factores de emisión con base en procesos es el documento *AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors* (U.S. EPA, 1995a) el cual contiene los factores de emisión determinados en Estados Unidos para una gran cantidad de actividades. La referencia principal para factores de emisión específicos para contaminantes tóxicos del aire es el sistema de datos FIRE (U.S. EPA, 1995b).

Otro documento de referencia es la guía *Rapid Source Inventory Technique* publicado por la Organización Mundial de la Salud (WHO, 1993) donde se encuentran factores de emisión para diversos conjuntos de fuentes. Estos factores de referencia internacionales también se encuentran en documentos de guía para inventarios de gases de efecto invernadero (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 1993 a) y b). En el Cuadro 10-1 se presentan algunos ejemplos de cálculos para estimaciones de emisiones utilizando factores de emisión basados en procesos.

*Estimación de  
emisiones  
mediante factor  
de emisión*

## 10.2. FACTORES DE EMISIÓN BASADOS EN CENSOS SOCIOECONÓMICOS O DE POBLACIÓN

El uso de factores de emisión basados en censos es un método eficiente para estimar emisiones de fuentes de área que no se pueden caracterizar a través de datos de actividad, consumo de combustibles y/o consumo de materias primas, los cuales son imprescindibles para aplicar factores de emisión basados en procesos. Además, comparada con otras técnicas de estimación de emisiones, la estimación de emisiones con factores de emisión basados en censos puede ser una opción más costo-efectiva dado que los datos de censos ya están disponibles en la mayor parte de las regiones donde se realizan inventarios de emisiones. En México, la información sobre población y vivienda, y de empleo por sector económico y municipio está disponible en formato impreso y electrónico a través del INEGI.

La desventaja de usar factores de emisión existentes basados en censos es que la mayor parte de ellos fueron desarrollados en EU o en Europa y es posible que no representen

CUADRO 10-1. EJEMPLOS DE LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES CON FACTORES DE  
EMISSION BASADOS EN PROCESO

Factores de  
emisión basados  
en censos  
socioeconómicos  
o de población

1º EJEMPLO: Calcular las emisiones anuales de NO<sub>x</sub> de una caldera sin control de emisiones en una planta termoeléctrica que utiliza gas natural (consumo de calor >100 millones de Btu/hr). El consumo anual de gas natural es de 50 millones de metros cúbicos.

$$\begin{aligned} FE_{NOX} &= 8800 \text{ kg}/10^6 \text{ m}^3 && (\text{AP-42, Tabla 1.4-2}) \\ Q_{comb.} &= 50 \text{ } 10^6 \text{ m}^3/\text{año} \\ E_{NOX} &= FE_{NOX} \times Q_{comb.} \\ &= 8800 \times 50 \\ &= 440,000 \text{ kg/año} \end{aligned}$$

2º EJEMPLO: Calcular las emisiones anuales de COVs de un desengrasador de vapor sin tapa y sin equipo de control de emisiones. El solvente usado contiene un 100% de COV. El desengrasador tiene un área superficial de 5 metros cuadrados y opera 8 horas/día, 5 días/semana, 52 semanas/año.

$$\begin{aligned} FE_{COV} &= 0.7 \text{ kg/hr/m}^2 && (\text{AP-42, Tabla 4.6-2}) \\ A &= 5 \text{ m}^2 \\ T_{horas} &= 8 \text{ hrs/día} \times 5 \text{ días/sem} \times 52 \text{ sem/año} \\ &= 2080 \text{ hrs/año} \\ E_{COV} &= FE_{COV} \times A \times T_{horas} \\ &= 0.7 \times 5 \times 2080 \\ &= 7,280 \text{ kg/año} \end{aligned}$$

3º EJEMPLO: Calcular las emisiones de partículas del proceso de fundición de rejillas en la producción de baterías de plomo ácidas. Cada mes se producen veinte mil baterías.

$$\begin{aligned} FE_{part.} &= 1.42 \text{ kg}/10^3 \text{ baterías} && (\text{AP-42, Tabla 7.15-1}) \\ Q_{producto} &= 20,000 \text{ baterías/mes} \times 12 \text{ meses/año} \\ &= 240,000 \text{ baterías/año} \\ E_{part.} &= FE_{part.} \times Q_{producto} \\ &= 1.42 \times 240 \\ &= 341 \text{ kg/año} \end{aligned}$$

las condiciones socioeconómicas y las prácticas de manejo de los procesos de emisión en México. Por ejemplo, para los EU la EPA ha establecido un factor de emisión de COV per cápita para solventes comerciales de 6.3 libras de COV/persona/año (esto es, 2.86 kg de COV/persona/año). Por su parte, el GDF ha desarrollado algunos factores de emisión basados en censos que son específicos para México. En este caso, para el inventario de fuentes de área de la Ciudad de México, el GDF ha determinado un factor de emisión per cápita de 2.55 kg de COV/persona/año.

*Estimación de  
emisiones  
mediante factor  
de emisión*

Es importante recordar que los factores de emisión basados en censos son más exactos cuando se aplican a toda la región para la que el factor de emisión fue desarrollado que cuando se aplica en áreas más pequeñas. Por ejemplo, el factor promedio de emisión de aerosoles per cápita desarrollado para todo el país, es un factor de emisión que se basó en los datos nacionales de población y uso de aerosoles. La exactitud de este factor de emisión disminuye en la medida en que se aplica a regiones más pequeñas con características diferentes a las del promedio nacional. En este sentido, si el consumo de aerosoles per cápita en un municipio o delegación con elevada actividad industrial es más alto que el promedio nacional, el uso de este factor de emisión «promedio» dará como resultado una subestimación de las emisiones.

#### *10.2.1. Factores de emisión per cápita*

Las emisiones de procesos como la evaporación de solventes de los productos comerciales y de consumo tales como ceras, productos en aerosol y limpiadores de muebles y ventanas puede ser determinada a través de factores de emisión per cápita, si se supone que sus emisiones pueden asociarse con la población de manera razonable. Esta suposición es válida para ciertas actividades como tintorerías, pintura de superficies arquitectónicas, pequeñas operaciones de desengrasado y evaporación de solventes de productos domésticos y comerciales. En cambio, los factores de emisión per cápita no se

deben utilizar de manera indiscriminada para aquellas fuentes cuyas emisiones no se correlacionan bien con la población, por ejemplo, las industrias grandes como plantas petroquímicas o cementeras.

Se pueden encontrar factores de emisión per cápita específicos para los EU sobre diversas actividades en la base de datos de factores de emisión FIRE de la EPA, en el AP-42 y en el documento *Procedures for the Preparation of Emission Inventories for Carbon Monoxide and Precursors of Ozone*, (U.S. EPA, 1991b). En el Cuadro 10.2 se describe un ejemplo de la estimación de emisiones por uso de aerosoles domésticos utilizando factores de emisión per cápita.

CUADRO 10-2. EJEMPLO DE LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR USO DE AEROSOL  
DOMÉSTICOS UTILIZANDO FACTORES DE EMISIÓN PER CÁPITA.

Calcular las emisiones de COVs en 1990 del uso doméstico de aerosoles en la Delegación Xochimilco del DF. Suponer que el contenido de COVs en los aerosoles es del 69%. De acuerdo con el INEGI, la población de la Delegación Xochimilco en 1990 era de 642,753 habitantes.

$$\begin{aligned} FE_{COV} &= 0.046 \text{ kg/persona/año} \times 69\% \text{ VOC (DDF, 1995)} \\ &= 0.032 \text{ kg/persona/año} \\ P_{Xochimilco} &= 642,753 \text{ habitantes} \\ E_{COV} &= EF_{VOC} \times P_{Xochimilco} \\ &= 0.032 \times 642,753 \\ &= 20,568 \text{ kg/año} \end{aligned}$$

### 10.2.2. Factores de emisión por empleado

Se considera que los factores de emisión por empleado son más exactos que los factores de emisión per cápita dado que, en general, los niveles de empleo son un indicador más representativo de las actividades generadoras de contaminación. Sin embargo, se debe tener cuidado de eliminar los datos de em-

pleos asociados que no están relacionados con los procesos fabriles o de manufactura como los empleos administrativos.

En general, los factores de emisión por empleado se usan para estimar las emisiones de aquellas categorías de fuente correspondientes a claves CMAP, para las cuales existen datos de empleo disponibles a nivel local. Cuando se calculan emisiones de fuentes puntuales por separado, el uso de factores de emisión por empleado puede ser considerado como un procedimiento secundario para estimar las emisiones de las instalaciones industriales no consideradas en los cálculos de fuentes puntuales (generalmente instalaciones pequeñas). En estos casos deberá realizarse una reconciliación de la información derivada de fuentes puntuales y de área, tal como se explica en capítulos previos. En el Cuadro 10-3 se describe un ejemplo de la estimación de emisiones de COVs provenientes de tintorerías usando factores de emisión por empleado.

*Estimación de  
emisiones  
mediante factor  
de emisión*

CUADRO 10-3: EJEMPLO DE LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE COVs PROVENIENTES DE TINTORERÍAS USANDO FACTORES DE EMISIÓN POR EMPLEADO

Calcular las emisiones anuales de COVs de tintorerías comerciales en la Ciudad de México (DF) para el inventario de fuentes de área. Suponer que los solventes para el lavado en seco contienen un 100% de COVs. Suponer que los registros de empleo para la Ciudad de México muestran que existen 3,000 empleados en el código CMAP correspondiente. Suponer que 1,000 de estos empleados trabajan en establecimientos que están incluidos en el inventario de emisiones de fuentes puntuales.

$$\begin{aligned}
 FE_{COVs} &= 2,937 \text{ kg/empleado/año} \quad (\text{EPA-450/4-91-016}) \\
 E_{tintorerías} &= 3,000 \text{ empleados totales} - 1,000 \text{ empleados de fuentes puntuales} \\
 &= 2,000 \text{ empleados de fuente de área} \\
 E_{COV} &= FE_{COV} \times E_{tintorerías} \\
 &= 2,937 \times 2,000 \\
 &= 5,874,000 \text{ kg/año}
 \end{aligned}$$



# ESTIMACIÓN DE EMISIONES MEDIANTE BALANCE DE MATERIALES

---

# 11

El balance de materiales (también conocido como balance de masa), es un método utilizado para estimar las emisiones de algunas categorías de fuentes, en donde se conoce el volumen y la composición química de los insumos o materias primas utilizadas. El método de balance de materiales puede usarse en los casos en que no hay datos disponibles de muestreos en la fuente o factores de emisión aplicables. De hecho, para algunas fuentes, un balance de materiales es el único método práctico para estimar las emisiones con exactitud. Por ejemplo, en muchos casos, el muestreo en la fuente de emisiones de COVs, intermitentes o fugitivas puede ser muy difícil y costoso, por lo que es recomendable aplicar técnicas de estimación de emisiones a partir del balance de materiales.

El uso de un balance de materiales implica el análisis de un proceso para determinar si las emisiones pueden ser estimadas conociendo únicamente los parámetros específicos de operación y la composición de los materiales. Si bien el balance de materiales es una herramienta valiosa para estimar las emisiones de muchas fuentes, su aplicación requiere que se conozca cierta información sobre el material estudiado en cada punto a lo largo del proceso. El uso del balance de materiales es muy adecuado en los casos en que pueden conocerse los componentes del proceso, excepto de las emisiones al aire. Si no se

cuenta con esta información y, por lo tanto, deben hacerse suposiciones, se pueden generar serios errores.

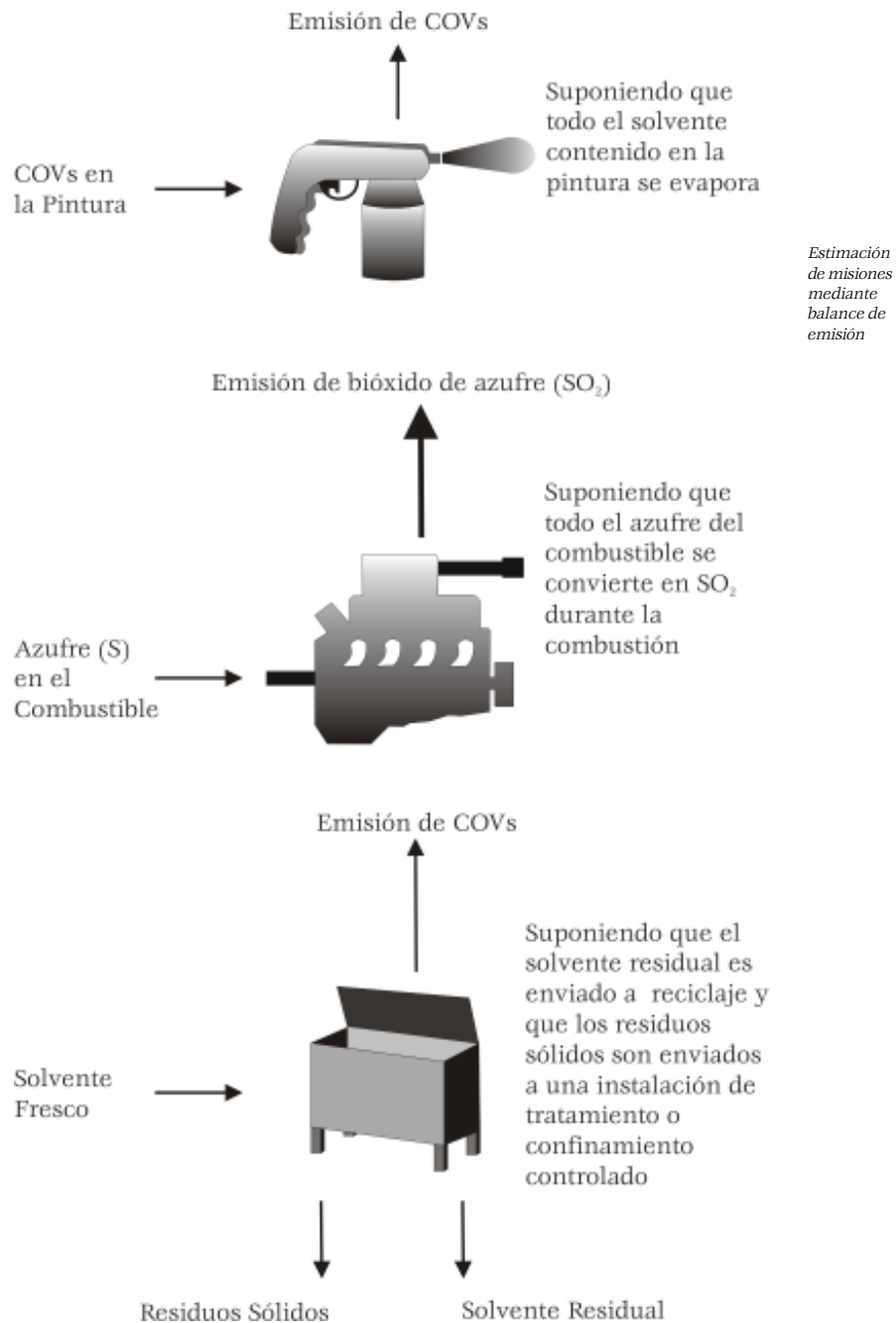
Para obtener las emisiones de COVs de las fuentes puntuales y de área, por ejemplo, se usa por lo general un balance de materiales para estimar las emisiones por evaporación de solventes. Esta técnica es aplicable de igual manera a las fuentes puntuales y a las fuentes de área. En las fuentes puntuales se puede usar a nivel de dispositivo o de planta, mientras que en el caso de las fuentes de área el balance de materiales puede aplicarse a nivel regional o nacional.

La Figura 11-1 ilustra algunos ejemplos del uso de balance de materiales para fuentes puntuales. El método más simple de balance de materiales es suponer que todo el solvente consumido por un proceso se evapora durante éste. Por ejemplo, es razonable suponer que durante muchas operaciones de pintura de superficies todo el solvente en la pintura se evapora a la atmósfera durante el proceso de secado. En tales casos, las emisiones simplemente son iguales a la cantidad de solvente aplicado en la pintura (y en los adelgazadores añadidos) como una función del tiempo. Otro ejemplo similar es el uso de solventes para lavado de ropa en seco, tal como se realiza en las tintorerías. Para estimar las emisiones de este tipo de procesos, sólo se requiere conocer la cantidad de solvente adquirido en cada tintorería durante el intervalo de tiempo de interés, porque se supone que las emisiones son iguales a la cantidad de solvente comprado.

En procesos donde se maneja una cantidad semifija de solvente, donde el solvente que se gasta es reemplazado cada determinado periodo o cada vez que es necesario, puede suponerse que el solvente gastado es equivalente a las emisiones. La suposición de que el solvente de reemplazo es igual a las emisiones por evaporación también es útil en algunas situaciones más complicadas. Por ejemplo, si se emplea un equipo de control de emisiones no destructivo como un condensador o un absorbedor, esta suposición es válida en la medida que el solvente capturado sea regresado al pro-



FIG. 11-1. EJEMPLOS DE BALANCE DE MATERIALES



ceso. De manera similar, esta suposición será aplicable si en la planta se practica la recuperación de solvente residual ya sea por destilación o por reducción o secado. Ambas prácticas reducen los requerimientos de solvente de reemplazo en el proceso y, por lo tanto, la cantidad de solvente que se convierte en emisiones fugitivas y que se pierde hacia la atmósfera.

Existen pruebas que proporcionan información sobre balance de materiales y determinaciones gravimétricas para varios procesos industriales, publicados por la *American Society for Testing and Materials* (ASTM) (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales). En general, el uso de un balance de masa o de materiales para determinar las emisiones totales de un proceso es sencillo y costearable. Los COVs totales emitidos de un proceso de mezclado de pintura por lotes, por ejemplo, se calcularía como se muestra a continuación (de acuerdo con el Método D 2369, de la ASTM):

$$\text{COV}_{\text{qe}} (\text{lb/gal}) - \text{COV}_{\text{pm}} (\text{lb/gal}) = \text{COV}_{\text{e}} (\text{lb/gal}) \quad (11-1)$$

donde:

qe = que entra

pm = pintura mezclada

e = emitidos

Asimismo, el análisis del combustible puede usarse para predecir las emisiones de procesos de combustión, con base en la aplicación de las leyes de conservación de la materia. La presencia de ciertos elementos en los combustibles puede usarse para predecir su presencia en las corrientes de emisión. Esto incluye elementos tóxicos tales como los metales que se encuentran en el carbón, así como el azufre que puede ser convertido en otros compuestos durante el proceso de combustión.

La ecuación básica que se usa en los cálculos de emisiones a partir del análisis del combustible es:

$$E = Q_{comb.} \times CCC \times \frac{MW_{CE}}{MW_{CC}} \quad (11-2)$$

Donde:

$Q_{comb.}$  = Consumo de combustible, flujo másico (p.ej., kg/hr)  
 $CCC$  = Concentración del contaminante en el combustible  
 $MW_{ce}$  = Peso molecular del contaminante emitido (lb/lb-mole)  
 $MW_{cc}$  = Peso molecular del contaminante en el combustible (lb/lb-mole)

*Estimación  
de misiones  
mediante  
balance de  
emisión*

Por ejemplo, las emisiones de SO<sub>2</sub> como producto de la quema de combustóleo pueden calcularse basándose en su contenido de azufre. De esta manera, se supone una conversión completa del azufre a SO<sub>2</sub>. Por lo tanto, por cada libra de azufre (PM = 32 g) quemado se emiten dos libras de SO<sub>2</sub> (PM = 64g).

EJEMPLO 11-1. Calcular las emisiones de SO<sub>x</sub> por hora (reportado como SO<sub>2</sub>) de una máquina de combustión interna que quema diesel, con base en los datos del análisis del combustible (el contenido de azufre). El consumo estimado de combustible es de 150 litros/hr. La densidad del diesel es de 0.85kg/litro (7.1 lb/gal). El contenido de azufre en el diesel es 0.05% en masa.

$$\begin{aligned} Q_{comb.} &= 150 \text{ litros/hr} \times 0.85 \text{ kg/litro} \\ &= 127.5 \text{ kg/hr} \\ C_s &= 0.05/100 \\ &= 0.0005 \\ E_{SO_2} &= Q_{comb.} \times C_s \times (MW_p / MW_f) \\ &= 127.5 \times 0.0005 \times (64/32) \\ &= 0.13 \text{ kg/hr} \end{aligned}$$

En los ejemplos anteriores el balance de materiales se simplifica porque se supone que todo el material que se está balanceando es emitido a la atmósfera. Sin embargo, existen situaciones en las que esta suposición no siempre es razonable. Por ejemplo, si se usa un dispositivo de control destructivo, como

un postquemador, un incinerador o una unidad de oxidación catalítica en el escape, una parte de los COVs presentes en la corriente serán oxidados de modo que no es razonable suponer que las pérdidas de COVs en el proceso son equivalentes a las emisiones ya que una parte de ellas está siendo controlada por dispositivos de control de emisiones. En este caso, las características y cantidades de las emisiones de COVs deberán determinarse con base en otras técnicas de estimación de emisiones como factores de emisión o modelos.

También se pueden llevar a cabo balances de materiales para calcular las emisiones fugitivas de fuentes de área que incluyan la producción, distribución y consumo de combustibles (ver Figura 11-2). Por ejemplo, en un estudio enfocado a determinar este tipo de emisiones en EU se aplicó un balance de materiales para la distribución y consumo de combustibles (De Luchi, 1993). Un balance de materiales a nivel nacional para solventes en pinturas podría ser también el mejor método para estimar las emisiones de COVs de esta categoría de fuentes. Un enfoque similar puede adoptarse para estimar las emisiones a la atmósfera derivadas de la aplicación de plaguicidas. Sin embargo, existen ciertas excepciones donde hay consideraciones adicionales que es necesario tener en cuenta. Por ejemplo, las emisiones del desengrasado no son iguales al consumo de solvente si el solvente residual es vendido a un reciclador comercial. En esta situación las emisiones serán la diferencia entre el solvente consumido y el solvente enviado a reprocesamiento. En un ejemplo más, se cree que alguna fracción del diluyente usado para licuar asfalto rebajado es retenida en el pavimento y no se evapora después de la aplicación.

El ejemplo siguiente muestra que, en algunos casos, la suposición de que todo el solvente consumido es equivalente a las emisiones de COV del proceso, resultaría en una sobrestimación de las emisiones. Por lo tanto, se utilizan balances de materiales junto con factores de emisión basados en el proceso para estimar las emisiones. Estos balances son

parecidos a aquellos que se basan en la diferencia entre la materia prima y el producto, cuando el factor de emisión para un proceso está dado por unidad de material consumido.

EJEMPLO 11-2. Calcular las emisiones mensuales de COVs de un desengrasador de vapor. Cada mes, se añaden 100 litros de solvente al inicio del mes. A principios de mes, se añaden otros 20 litros para rellenar las pérdidas. A fin de mes, se envían 100 litros de solvente residual a un reciclador y 0.2 kg de residuos sólidos son recolectados para disposición. El solvente es 100% COVs. El solvente residual es 98% COVs. El residuo sólido es 5% COVs. La densidad del solvente es de 1.5 kg/litro.

*Estimación  
de misiones  
mediante  
balance de  
emisión*

$$\begin{aligned} Q_{\text{solvente}} &= (100 \text{ litros/mes} + 20 \text{ litros/mes}) \times 1.5 \text{ kg/litro} \\ &= 180 \text{ kg/mes} \\ Q_{\text{residual}} &= (100 \text{ litros/mes} \times 1.5 \text{ kg/litro} \times 98\% \text{ VOC}) + \\ &\quad (0.2 \text{ kg/mes} \times 5\% \text{ VOC}) \\ &= 147 \text{ kg/mes} + 0.01 \text{ kg/mes} \\ &= 147 \text{ kg/mes} \\ E_{\text{COV}} &= Q_{\text{solvente}} - Q_{\text{residual}} \\ &= 180 - 147 \\ &= 33 \text{ kg/mes} \end{aligned}$$

Hay otras situaciones que pueden complicar el balance de materiales. En primer lugar, no todas las pérdidas de solventes de ciertas operaciones como el lavado en seco o el desengrasado, se dan en el sitio de la planta. En cambio, se pueden evaporar cantidades significativas de solventes en el sitio de disposición del solvente residual, a menos que sea incinerado o dispuesto de manera que se impida su evaporación posterior a la atmósfera. En general, se puede suponer que gran parte del solvente enviado a sitios de disposición se evaporará, sin embargo, se debe determinar si una parte del solvente asociado con varias operaciones se evapora en el punto de disposición más que en el punto de uso, ya que estas pérdidas pueden presentarse fuera del área cubierta por el inventario.

FIG. 11-2. EJEMPLO DE BALANCE DE MATERIALES RESALTANDO LAS EMISIONES FUGITIVAS

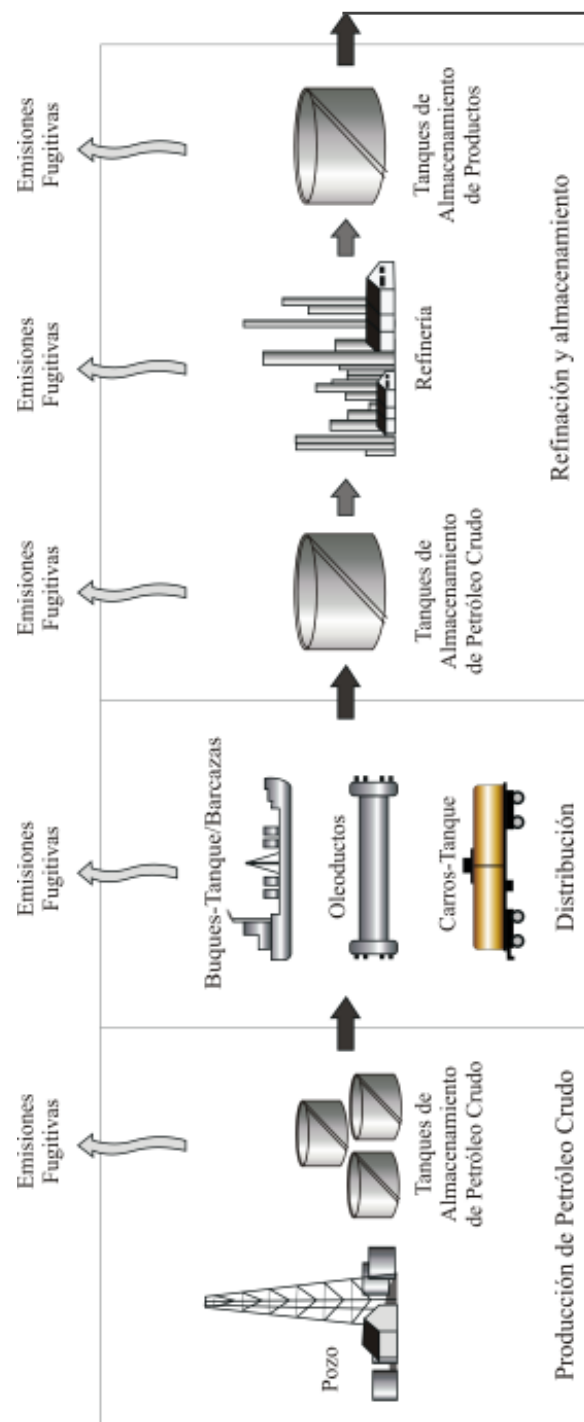
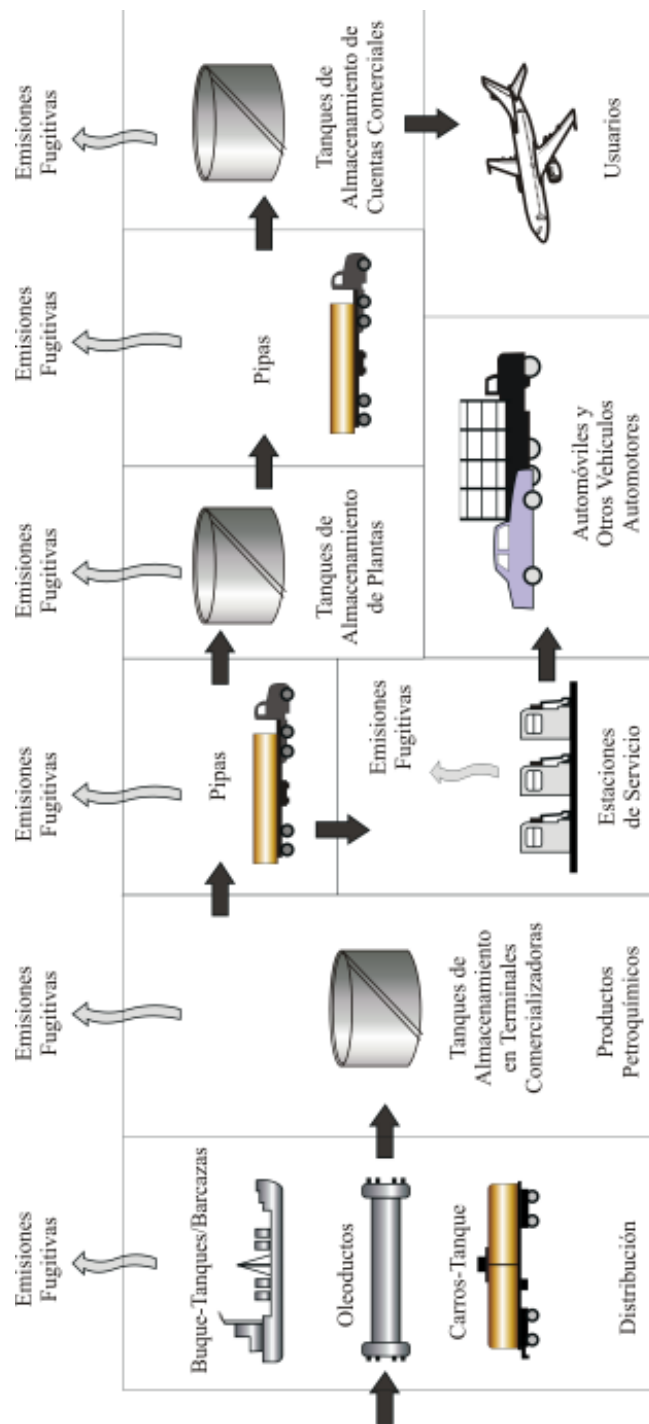


FIG. 11-2. EJEMPLO DE BALANCE DE MATERIALES RESULTANDO LAS EMISIONES FUGITIVAS (CONTINUACIÓN)



*Estimación de misiones mediante balance de emisión*

De la misma manera, en algunos procesos de evaporación no es posible emplear balances de materiales, debido a que la cantidad de material perdido es demasiado pequeña para ser determinada con exactitud usando los procedimientos de medición convencionales. Por ejemplo, la aplicación de balances de materiales a los tanques de almacenamiento de productos del petróleo por lo general no es factible, debido a que las pérdidas por respiración y por operación son demasiado pequeñas con respecto a la capacidad total promedio del tanque. En estos casos, es preferible aplicar técnicas de estimación de emisiones basadas en factores de emisión o en modelos.

En resumen, con excepción de algunos tipos de fuente tales como los ejemplos de uso de combustibles y de solventes presentados anteriormente, el balance de materiales debe ser utilizado como un método de «arriba hacia abajo» para evaluar qué tan razonables son las estimaciones de emisión generadas al usar otras técnicas, más que como el principal método de estimación.



## ESTIMACIÓN DE EMISIONES MEDIANTE ENCUESTAS

# 12

La encuesta o cuestionario dirigido a establecimientos industriales o comerciales es utilizada como un método para recabar los datos básicos necesarios en la estimación de emisiones de una o varias fuentes puntuales, tal como se ilustra en la Figura 12-1. Generalmente dicha estimación de emisiones se realiza mediante la aplicación de factores de emisiones promedio o ponderadas, de acuerdo con la información levantada en la encuesta o cuestionario. Con este fin, el cuestionario debe enviarse a cada planta o establecimiento solicitando información acerca de las características de cada uno de los procesos y puntos de emisión de contaminantes. El uso de un cuestionario para estimar datos de emisiones de fuentes puntuales no es nuevo en México, ya que en el pasado el Instituto Nacional de Ecología (INE) recabó datos de fuentes puntuales con esta técnica por varios años. En el Apéndice E se incluye una encuesta piloto realizada como parte del diseño del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes de México.

El método de encuesta también se puede usar para reunir la información necesaria para calcular las emisiones de fuentes de área. De igual manera este método puede dar lugar al desarrollo de factores de emisión específicos para una región, que sirvan para hacer ciertas estimaciones de emisiones de fuentes de área, tal como lo ilustra la Figura 12-2.

Estimación de  
emisiones  
mediante  
encuestas

FIGURA 12-1. ESTIMACIÓN DE EMISIONES MEDIANTE ENCUESTAS EN INSTALACIONES INDUSTRIALES

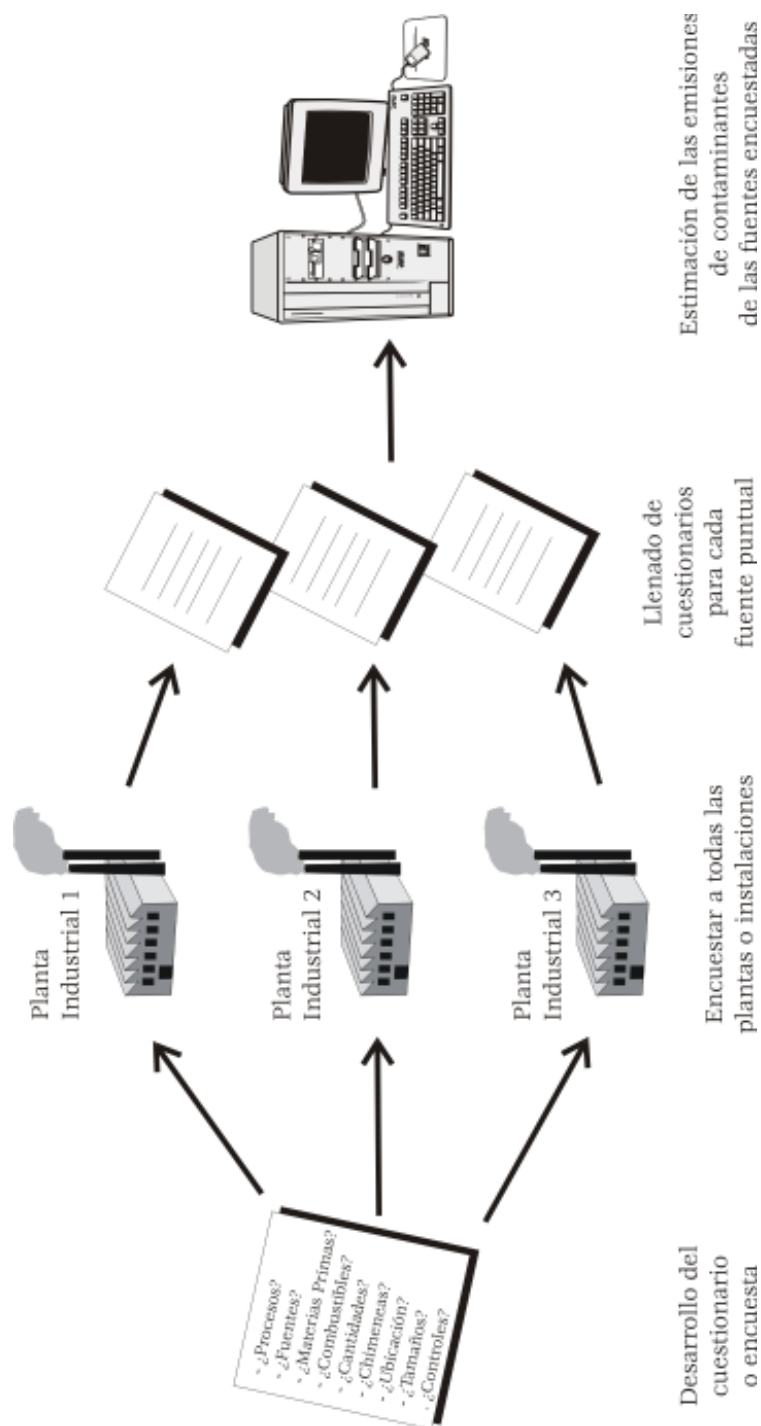
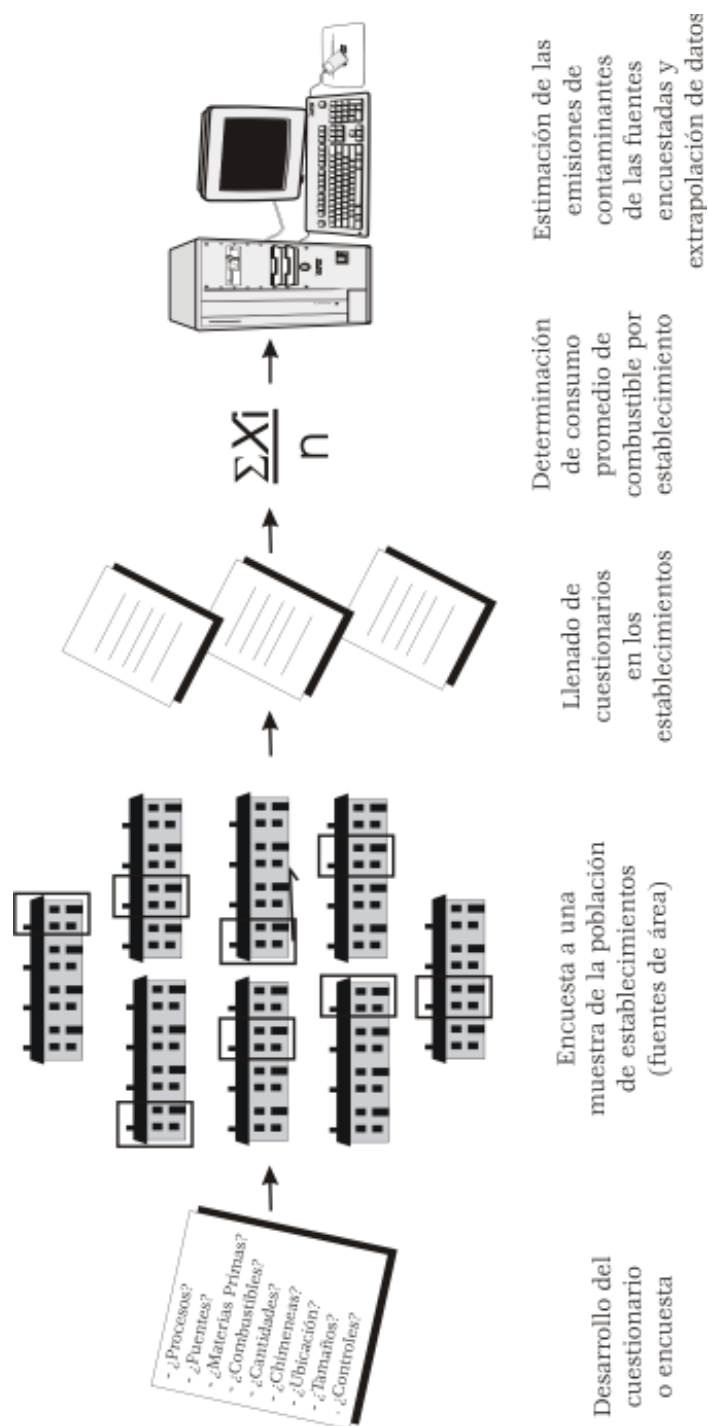


FIGURA 12-2. ESTIMACIÓN DE EMISIONES MEDIANTE ENCUESTAS DE FUENTES DE ÁREA



La realización de una encuesta consta de los siguientes cinco pasos, los cuales se explican a detalle a lo largo del presente capítulo:

1. Definir los objetivos de la encuesta e identificar las subcategorías de fuentes de emisiones y tipos de establecimientos a encuestar.
2. Diseñar los cuestionarios, conforme a los objetivos de la encuesta.
3. Determinar con bases estadísticas el tamaño y composición de la muestra
4. Identificación de instalaciones a encuestarse, envío y seguimiento de la encuesta
5. Escalamiento de los resultados de la encuesta para estimar emisiones de categorías de fuentes de área

El costo de una encuesta está en función de la complejidad de los cuestionarios, del tamaño de la muestra y de las actividades de control y aseguramiento de calidad. Para mayor información acerca del desarrollo de cuestionarios o encuestas para inventarios de emisiones puede consultarse el documento *Development of Questionnaires for Various Emission Inventory Uses* (Holman and Collins, 1979). Un estudio de caso basado en una encuesta piloto realizada en México puede consultarse en *Estudio de Caso del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes en el Estado de Querétaro, México*. (Instituto Nacional de Ecología, 1996). El formato de encuesta utilizado en dicho estudio se incluyen en el Apéndice E

#### 12.1. OBJETIVOS E IDENTIFICACIÓN DE SUBCATEGORÍAS Y TIPOS DE FUENTES DE EMISIONES A ENCUESTAR

Los pasos iniciales en la estimación de emisiones mediante encuestas son establecer el objetivo de la encuesta, definir que información se pretende recabar e identificar las subcategorías y tipos de fuentes de emisiones o establecimientos a encuestar. A fin de identificar las subcategorías y tipos de fuentes de emisiones a encuestar es necesario realizar las siguientes actividades:

- Caracterizar los tipos de fuentes de emisiones de la encuesta y, si es necesario, utilizar subcategorías de fuentes de emisión. Muchas categorías de fuentes de área, tales como el desengrasado y la pintura consisten de diversos procesos que son utilizados por muchas industrias diferentes. Los procesos particulares pueden variar mucho de una industria a otra, por lo que se puede estratificar la población de fuentes si es necesario.
- Definir a quién o quiénes se enviará la encuesta en función del proceso de manufactura o distribución del producto del que derivan las emisiones de contaminantes. Por ejemplo, en el caso de muchas categorías de uso de solventes, se podría enviar una encuesta, a los fabricantes, a los distribuidores, a los minoristas o a los usuarios, pero la decisión más práctica podría ser enviarla sólo a los fabricantes o sólo a los distribuidores.
- Verificar que los procesos de emisión de contaminantes efectivamente se lleven a cabo en las instalaciones que se pretenden encuestar. Esto es necesario especialmente cuando la identificación del tipo de fuentes a encuestar se basa en clasificaciones industriales, como el código CMAP<sup>a</sup> (Clasificación Mexicana de Actividades y Productos). Por ejemplo, la pintura industrial por lo general está asociada con varios códigos CMAP<sup>a</sup> pero es probable que no todas las plantas dentro en un código particular tengan operaciones de pintura. Una forma de verificar esta situación es llamar por teléfono previo al envío del cuestionario. Esto también servirá para identificar la proporción de plantas en un código CMAP<sup>a</sup> que utilizan o no un proceso, lo que es útil para la extrapolación de los datos de la encuesta de fuentes de área.
- Elaborar una lista preliminar de contactos con el nombre, dirección y categoría general del proceso (p.ej., manufac-

*Estimación de  
emisiones  
mediante  
encuestas*

<sup>a</sup> El sistema de clasificación de actividades económicas en uso en México, Estados Unidos y Canadá, actualmente es el NAICS -North American Industry Classification System-.

tura de productos de madera) de cada instalación que podría encuestarse. El propósito de esta lista preliminar de contactos es conocer el tamaño de la población que podría ser encuestada, con lo que se tiene una idea certera del número y tipo de fuentes que deben ser considerados para planear la encuesta, así como para la asignación de los recursos necesarios.

## 12.2. DISEÑO DE LOS CUESTIONARIOS

De manera general, se debe elaborar un cuestionario para cada categoría de fuente a encuestarse. En estos cuestionarios se puede usar terminología específica de una industria en particular que resulte familiar para aquellos que ahí trabajan. Esto fortalece la comunicación, reduce la confusión y aumenta la exactitud del inventario. También puede ser productivo trabajar primero con un pequeño grupo de fuentes en la industria para refinar y hacer una «prueba piloto» al cuestionario. Las aportaciones del personal de la industria ayudarán a eliminar ambigüedades en las respuestas y malentendidos respecto a los objetivos de la misma.

Aunque un cuestionario hecho a la medida para una industria o proceso en particular tiene muchas ventajas, también presenta varios inconvenientes. El primero es que el diseño de muchos cuestionarios específicos por industria puede requerir demasiados recursos. En segundo lugar, una vez contestados, los cuestionarios tendrán diferentes requerimientos de almacenamiento y manejo de datos debido a las variaciones de formato para las diferentes industrias.

El desarrollo de un cuestionario implica identificar y redactar las preguntas correctas, establecer un formato adecuado y elaborar una portada e instrucciones para el llenado. Una regla básica es diseñar el cuestionario tomando en cuenta las características de la(s) persona(s) a quien se solicita que lo responda. Asimismo, el formato del cuestionario debe ser lo más sencillo y funcional posible. De esta forma, cuando el

manejo de los datos se haga por computadora, se ahorrará tiempo si el formato está diseñado de tal manera que el personal responsable de la administración de datos pueda introducir la información directamente de cada cuestionario. El cuestionario debe contar con espacio suficiente para facilitar su lectura y para permitir las respuestas escritas.

Siempre debe tomarse en cuenta cual será el uso final de la información que se solicita en el cuestionario. Para las fuentes puntuales, por ejemplo, puede solicitarse también información del proceso, además de las tasas de emisión y los datos sobre las horas de operación y su variabilidad a lo largo del año. Si no es posible obtener los datos para el periodo deseado, deben incluirse preguntas para recopilar la información necesaria que permita calcular factores de ajuste temporal de la manera más exacta posible. Por ejemplo, debido a que las emisiones de las operaciones de almacenamiento y manejo de productos derivados del petróleo dependen de numerosas variables que incluyen la temperatura, las condiciones del tanque y la presión de vapor del producto, el cuestionario debe solicitar los valores estacionales de estas variables. La información sobre los dispositivos de control también es útil para determinar las reducciones potenciales en las emisiones al aplicar diversas estrategias de control.

*Estimación de  
emisiones  
mediante  
encuestas*

Siempre es posible enviar cuestionarios impresos en papel directamente a las instalaciones industriales que se desea encuestar. Otra opción es utilizar medios electrónicos (discos, correo electrónico, etc.) en lugar de papel, o formas estandarizadas de computadora o software, de manera que su formato facilite la captura de datos y las revisiones de aseguramiento de calidad.

### 12.3. BASES ESTADÍSTICAS PARA DETERMINAR EL TAMAÑO Y COMPOSICIÓN DE LA MUESTRA

Para la estimación de emisiones de fuentes de área, la aplicación de una encuesta implica tomar decisiones relaciona-

das con la selección de los establecimientos que serán encuestados. Si la población de establecimientos es suficientemente pequeña, se puede seleccionar la población completa. Sin embargo, en la mayoría de las ocasiones, la población es demasiado numerosa y no es posible encuestar cada establecimiento, por lo que debe seleccionarse un subconjunto o muestra de la población. Dependiendo de los objetivos de la encuesta, se pueden utilizar diferentes técnicas estadísticas para la determinación del tamaño y selección de la muestra. Algunas de estas técnicas se resumen en el Cuadro 12-1.

Para el desarrollo de estimaciones de las emisiones de fuentes de área, se pueden usar técnicas de muestreo aleatorio o de muestreo aleatorio estratificado. Si bien se pueden utilizar otras técnicas, esta última es sumamente útil tanto para el desarrollo de estimaciones de emisiones de fuentes de área como para generar datos que puedan utilizarse en modelos de emisiones de múltiples variables. En esta técnica, la población de  $N$  unidades se divide en  $N_1, N_2, \dots, N_i$  unidades de subpoblaciones. Estas subpoblaciones, o estratos, no se traslapan y en conjunto abarcan la población entera. Cuando los estratos han sido determinados se toma una muestra de cada uno de ellos con extracciones realizadas de manera independiente en diferentes estratos. Los tamaños de muestra son denominados  $n_1, n_2, \dots, n_i$ , respectivamente. Desde el punto de vista de un inventario de emisiones, la razón principal para conducir este tipo de muestreo es dividir una población heterogénea en subconjuntos, cada uno de los cuales tiene mayor posibilidad de ser internamente homogéneo, tal como se describe en el ejemplo 12-1. Para mayores detalles de este procedimiento pueden consultarse libros de texto como *Sampling Techniques* (Cochran, 1977) y *Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring* (Gilbert, 1987).

EJEMPLO 12-1. La mayor parte de las áreas urbanas con una economía diversificada contienen numerosas instalaciones fabriles o comerciales pequeñas que pueden utilizar solven-



tes, principalmente en la aplicación de pinturas o recubrimientos, operaciones de desengrasado o de limpieza. La mayoría de estos establecimientos no se incluyen en los inventarios de fuentes puntuales y sin embargo, involucran numerosas y diversas operaciones de manufactura (p. ej., fabricación y pintura de productos de madera; pintura de plásticos; fabricación y pintura de partes metálicas variadas, etc.). Debido al gran número de operaciones y a sus diferencias en términos de materias primas y producción, es necesario desarrollar una encuesta que recopile la información que de alguna manera pueda extrapolarse estadísticamente a la población total de este tipo de establecimientos. Para resolver este problema se puede usar una encuesta aleatoria estratificada.

*Estimación de  
emisiones  
mediante  
encuestas*

En el primer estrato se pueden formar grupos con base en los dígitos del código CMAP, de manera que los establecimientos semejantes queden en el mismo grupo. En un segundo estrato se podrían distinguir las instalaciones grandes de las pequeñas, para evitar los sesgos resultantes de las diferentes tasas de uso de material que podrían presentarse por diferencias en la eficiencia de sus operaciones. Una vez realizada la encuesta y calculadas las emisiones, estas últimas pueden correlacionarse con los estratos utilizados para definir las subpoblaciones, en este caso, el código CMAP y el número de empleados.

El objetivo de las encuestas para fuentes de área es establecer un valor promedio para un conjunto particular de parámetros (incluyendo los factores de emisión) que puedan usarse para estimar las emisiones de toda una subcategoría de fuentes de emisión. Por ejemplo, pueden determinarse la cantidad promedio de pintura, o la cantidad promedio de gas LP que se utiliza por casa, como valores promedio que permitan la estimación de emisiones. En general, el «error» o incertidumbre en el valor promedio calculado a partir de los resultados de la encuesta se minimiza conforme se muestrean

más fuentes. La incertidumbre en el valor promedio ( $\bar{x}$ ) puede expresarse como sigue:

$$\bar{x} = \pm \sigma A \quad (12-1)$$

donde:  $\sigma$  = Desviación estándar de la muestra

$$A = \frac{t}{\sqrt{n}}, \text{ } t \text{ estadística dividida entre la raíz cuadrada del número de muestras tomadas}$$

El valor estadístico  $t$  varía con el tamaño de muestra y con el nivel de confianza deseado. Como es de esperarse, el nivel de incertidumbre disminuye conforme aumenta el tamaño de la muestra. Sin embargo, el rendimiento disminuye conforme el número de muestras se acerca a 20. La Figura 12-3 ilustra este concepto con una gráfica de  $A$  (es decir,  $t/\sqrt{n}$ ) contra el número de muestras tomadas. Esta gráfica en particular considera un nivel de confianza del 90%.

Un procedimiento más riguroso para calcular el tamaño adecuado de la muestra se basa en la especificación de la cantidad de error aceptable. Para establecer el tamaño de muestra con base en el error aceptable se requiere un enfoque iterativo que comienza con una encuesta inicial. Suponiendo una tasa de respuesta del 50 por ciento, se limita la encuesta inicial a aproximadamente 40 cuestionarios de modo que se reciban alrededor de 20 respuestas. A partir de los resultados de la encuesta inicial se puede estimar un tamaño específico de muestra con base en el error límite aceptable:

$$n = \frac{(Z_{\alpha/2}^*)^2}{e} \quad (12-2)$$

Donde:  $n$  = tamaño de la muestra

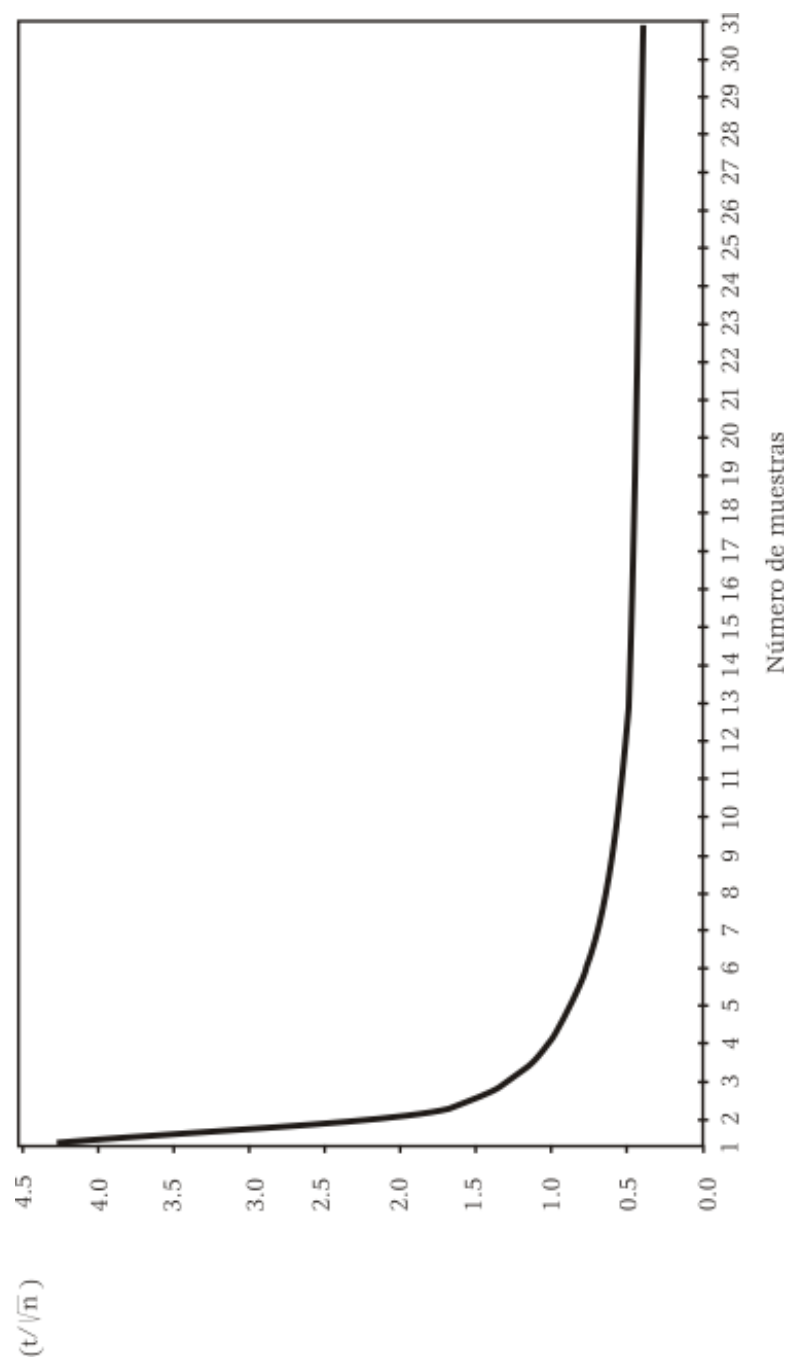
$\sigma$  = desviación estándar de la población

$e$  = límite del error (generalmente dentro del intervalo del 5 al 10% del valor de la media)

$\alpha$  = nivel de confianza

$Z_{\alpha/2}^*$  = índice derivado de la curva normal que corresponde al nivel de confianza deseado

FIGURA 12-3. INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA SOBRE LA INCERTIDUMBRE



*Estimación de  
emisiones  
mediante  
encuestas*

$\alpha$ por ciento	$Z_{\alpha/2}$
90.0	1.65
95.0	1.96
99.0	2.58
99.7	3.00

Un ejemplo de este método se expone a continuación, para una encuesta hipotética aplicada al uso residencial de gas LP.

EJEMPLO 12-2. Suponiendo que se desea un error no mayor del 10%, con un nivel de confianza del 90% para una encuesta sobre el consumo residencial de gas LP, determinar el tamaño de muestra necesario. A partir de una encuesta inicial se ha determinado que el uso promedio de gas LP es de 1,000 litros con una desviación estándar de 400 litros. Utilizando estos datos en la Ecuación 12-2, se determina que el número de encuestas necesarias es de:

$$n = \frac{(1.65 \times 400)^2 \times 0.10}{1000} = 44 \text{ encuestas}$$

#### 12.4. IDENTIFICACIÓN DE INSTALACIONES A ENCUESTARSE, ENVÍO Y SEGUIMIENTO

Una vez que se ha determinado el número de encuestas a realizar, se deberán identificar plenamente las instalaciones en las que pretenden aplicarse. Para ello, pueden utilizarse archivos administrativos o bases de datos para identificar dichas instalaciones o establecimientos. En general, las fuentes de emisión deben contar con licencias ambientales o de uso de suelo para su construcción y operación. Estos documentos normalmente incluyen información suficiente para identificar una fuente de emisiones. Incluso algunas licencias, como la LAU, ya incluyen datos de estimación de emisiones.

Con base en la información registrada en este tipo de archivos deberá integrarse una lista preliminar de las fuentes de interés, incluyendo un directorio. En caso de que la información de los documentos mencionados con antelación sea insuficiente, puede recurrirse a una variedad de fuentes de información, tales como:

- Los listados de fuentes de emisiones a la atmósfera incluidas en inventarios de emisiones existentes, como punto de partida.
- Los listados de fuentes de contaminación del agua y de generadores de residuos peligrosos pueden ser utilizados para identificar posibles fuentes de emisiones a la atmósfera.
- Los documentos o reportes de autoridades responsables de aspectos laborales y fiscales pueden proporcionar información general y sobre el número de empleados de cada establecimiento.
- Los directorios industriales locales pueden proporcionar una lista de las fuentes que operan en la región del inventario. A menudo están organizados por código CMAP y municipios. Por ejemplo, los listados de plantas en zonas industriales de la frontera pueden obtenerse de la Asociación de Maquiladoras.

*Estimación de  
emisiones  
mediante  
encuestas*

La lista de fuentes de interés deberá incluir la dirección postal de cada fuente, para facilitar la distribución y el seguimiento de la encuesta. En este sentido, un orden lógico para enlistar a las empresas sería primero, por estado o municipio, luego por código CMAP y finalmente por orden alfabético. Al ordenar la lista en esta forma se incrementa la eficiencia de todas las actividades subsecuentes de manejo de datos y se permite que la revisión de control de calidad sea más rápida.

Después de finalizar la lista de distribución de encuestas y el armado de los paquetes apropiados (incluyendo etiqueta, carta-portada, instrucciones, cuestionarios y sobre con porte pagado para enviar la respuesta) puede iniciarse el envío o

entrega de los cuestionarios. El envío de los cuestionarios puede hacerse por correo postal o mensajería, aunque siempre es mas recomendable entregarlos personalmente, explicando el objetivo y el proceso que involucra la encuesta y su llenado.

Un programa de computadora sencillo puede ser útil para registrar los envíos y darles seguimiento. Este programa puede diseñarse para producir etiquetas de correo por duplicado para cada fuente a la que se envía un cuestionario. Una etiqueta se adhiere al sobre que contiene el cuestionario y la segunda se anexa a la carta-portada o a la hoja de instrucciones del cuestionario. Esto facilita la identificación de los cuestionarios a medida que son devueltos, así como las correcciones en el nombre y dirección. Las etiquetas postales adicionales se pueden utilizar para otros propósitos administrativos o para volver a hacer contacto con las fuentes cuyas respuestas sean inadecuadas. A continuación se muestra un ejemplo de la información de una etiqueta.

---

EJEMPLO 12-3

0000 (Código CMAP)  
0000 (Planta Número)

Nombre del individuo y título (Gerente de planta)  
Nombre de la empresa  
Calle  
Municipio, Estado, Código Postal

---

Como se muestra en el ejemplo anterior, puede ser útil imprimir el código CMAP y el número de identificación asignado a la planta en la esquina superior derecha. El número de identificación (ID) puede utilizarse para agrupar los registros de toda la correspondencia con una empresa. Si el área de estudio es grande, el número de identificación del municipio también puede incluirse en la etiqueta. Este sistema también puede ser útil para el rastreo de cada etapa de la encuesta.

Dicho sistema podrá incluir información sobre: (1) a qué empresas enviaron cuestionarios; (2) las fechas en que los cuestionarios fueron enviados y devueltos; (3) nombre, dirección e información CMAP corregidos; (4) información sobre el tipo de fuente; (5) si un segundo contacto es necesario y (6) el status de seguimiento.

Tan pronto como los cuestionarios son contestados y devueltos, la información recibida puede preclasificarse en una de las cinco categorías enlistadas a continuación:

P = Fuentes puntuales

A = Fuentes de área

N = No hay emisiones (no hay fuente)

C = Cerrado/clausurado

R = Necesario volver a hacer contacto para reclasificación o completar información insuficiente

*Estimación de  
emisiones  
mediante  
encuestas*

Es posible que se requiera llevar a cabo un nuevo seguimiento del establecimiento si éste no contesta el cuestionario o si la respuesta proporcionada no es la adecuada. Se recomienda realizar el seguimiento posterior en un periodo preestablecido algunas semanas después de que los cuestionarios han sido enviados.

De igual manera deben prepararse y organizarse con anticipación los procedimientos para el manejo de datos, a partir de la recepción de los cuestionarios contestados. Además, las respuestas de los cuestionarios deben sujetarse a revisiones de aseguramiento y control de calidad (AC/CC) para eliminar los datos no válidos (p.ej., velocidades supersónicas de gases de chimenea).

#### 12.5. ESCALAMIENTO DE LOS RESULTADOS DE LA ENCUESTA PARA ESTIMAR EMISIONES DE CATEGORÍAS DE FUENTES DE ÁREA

Una encuesta de fuentes de área diseñada de manera adecuada deberá incluir un mecanismo para extrapolar los resultados obtenidos a todas las fuentes dentro de una

subcategoría. Frecuentemente, no es posible encuestar a la población total de establecimientos dentro de una categoría de interés. En este caso, el método de extrapolación dependerá del tipo de fuente que se incluya en la encuesta. Una forma simple de extrapolación es utilizar los resultados de la encuesta y considerar que el resto de las fuentes de emisión de la categoría de interés presentan el consumo promedio de materiales (o el promedio de emisiones) determinado a partir de la encuesta. Tal como se expone en el ejemplo siguiente, se podría hacer una encuesta de uso residencial de gas LP para estimar el consumo promedio de este combustible a nivel residencial. Debido a que es poco práctico hacer una encuesta casa por casa, podría encuestarse un subconjunto de la población y considerar los resultados como válidos para la población total.

---

#### EJEMPLO 12-4:

Con base en una encuesta de un subconjunto de casas que utilizan gas LP, se ha estimado que el consumo anual promedio de gas LP es de 1,000 litros/año. Los censos indican que hay 500,000 casas en la región y que el 90% de ellas usan gas LP como combustible doméstico. Estimar las emisiones totales de NO<sub>x</sub> provenientes del uso doméstico de gas LP en la región.

$$\begin{aligned} Q_{\text{LPG}} &= 1,000 \text{ litros/casa/año} \times 500,000 \text{ casas} \times 90\% \\ &= 450 \text{ millones de litros/año} \end{aligned}$$

$$FE_{\text{NO}_x} = 1.7 \text{ kg/1,000 litros} \quad (\text{AP-42, Sección 1.5})$$

$$\begin{aligned} E_{\text{NO}_x} &= Q_{\text{LPG}} \times FE_{\text{NO}_x} \\ &= (450 \times 10^6 \text{ litro/año}) \times (1.7 \text{ kg/1,000 litros}) \\ &= 765,000 \text{ kg NO}_x/\text{año}. \end{aligned}$$



Si se espera que el uso de materiales o insumos varíe dependiendo del tamaño de la fuente, se requiere un enfoque más complejo. Por ejemplo, la cantidad de material utilizado en las operaciones de pintura de madera varía con base en el nivel de producción del establecimiento. Por lo tanto, el diseño de la encuesta debe incluir preguntas que recopilen información suficiente para que los resultados se puedan extrapolar a otras plantas no incluidas en la encuesta, tal como se describe en el siguiente ejemplo. Estos datos pueden ser, por ejemplo, el número de empleados, o parámetros económicos tales como el valor de los bienes o servicios producidos. La clave es pensar por adelantado e identificar los parámetros adecuados que se pueden usar para extrapolar los resultados del inventario al total de las fuentes de una misma categoría o subcategoría.

*Estimación de  
emisiones  
mediante  
encuestas*

---

#### EJEMPLO 12-5

Con base en la encuesta de un subconjunto de plantas en que se fabrican productos de madera, el uso promedio de pintura por empleado es de 30 litros/año. El número total de empleados relacionados con la manufactura de productos de madera en la región es de 1,050, con base en datos de CANACINTRA. Adicionalmente, los resultados de la encuesta indican que la pintura promedio tiene una densidad de 1.4 kg/litro y un contenido de COVs del 45%, en peso. Estimar las emisiones de COVs totales de la manufactura de productos de madera en la región.

$$\begin{aligned} Q &= 30 \text{ litros/empleado/año} \times 1,050 \text{ empleados} \\ &= 31,500 \text{ litro/año} \\ FE_{cov} &= 1.4 \text{ kg/litro} \times 45\% \\ &= 0.63 \text{ kg/litro} \\ E_{cov} &= Q \times EF_{cov} \\ &= 31,500 \text{ litro/año} \times 0.63 \text{ kg/litro} \\ &= 19,845 \text{ kg COV/año} \end{aligned}$$

---



## ESTIMACIÓN DE EMISIONES MEDIANTE EXTRAPOLACIÓN

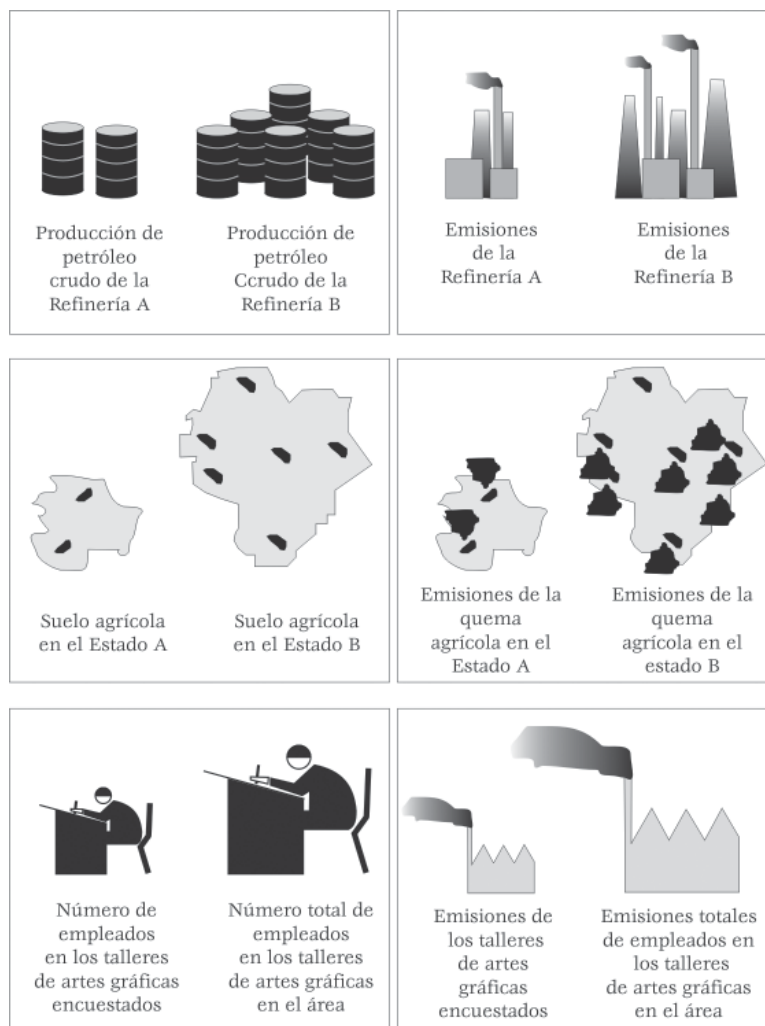
# 13

Las técnicas de extrapolación pueden usarse para calcular emisiones indirectamente y para verificar las dimensiones, en órdenes de magnitud, de las estimaciones de emisiones calculadas con otros métodos, como lo ilustra la Figura 13-1. En general, la extrapolación de emisiones de una región geográfica a otra se considera como el enfoque menos deseable para la estimación de emisiones, debido a que este enfoque puede no tomar en cuenta de manera apropiada diferencias importantes entre dos regiones y puede propagar los sesgos de un inventario a otro. Sin embargo, cuando se combina con un marco de modelación, la extrapolación es un enfoque práctico y costo-efectivo para desarrollar estimaciones de emisiones para aquellas regiones en las que la información no es suficiente para el uso de metodologías de estimación más rigurosas. En esta sección se presentan algunos ejemplos sobre el uso de la extrapolación en la estimación de emisiones.

En primer lugar, los datos de emisiones de un tipo de proceso o de planta, pueden ser extrapolados a fuentes o plantas similares. Este tipo de extrapolación es el que se usa para hacer estimaciones de emisiones de fuentes puntuales similares a aquellas que ya fueron caracterizadas plenamente y en donde se tienen estimaciones confiables de emisiones (ver ejemplo 13-1).

En otros casos, si se puede suponer que las condiciones socioeconómicas entre dos o más regiones geográficas son

FIGURA 13-1. EJEMPLOS DE EXTRAPOLACIÓN DE EMISIONES



comparables, los datos disponibles de emisiones de fuentes de área para una región pueden ser extrapolados a las demás regiones basándose en datos de población y de empleo (ver ejemplo 13-2). Los inventarios de emisiones compilados en EU y en Europa pueden usarse de esta manera, siempre que sea posible una extrapolación razonable de sus características tecnológicas y socioeconómicas. En México, los inventarios

de emisiones que se han generado para la Ciudad de México y para otras ciudades se pueden usar como base para el aseguramiento de calidad y/o para desarrollar partes de los inventarios de emisiones en otras regiones.

---

EJEMPLO 13-1:

Con base en los cálculos de emisiones para la Refinería A se estima que las emisiones anuales totales de COVs son de 100 toneladas (métricas). La compañía acaba de adquirir una planta más pequeña, la Refinería B, que procesa el equivalente a la mitad del petróleo crudo de la Refinería A. Para la reunión de mañana, el presidente de la compañía desea una estimación de las emisiones generadas en la refinería B. Puesto que no hay tiempo para hacer cálculos detallados de emisiones para la Refinería B, estimar las emisiones de COVs extrapolando los datos de la Refinería A con base en las capacidades de las refinerías (es decir, la cantidad de petróleo crudo procesado).

*Estimación de  
emisiones  
mediante  
extrapolación*

$$\begin{aligned} E_{COVb} &= \frac{E_{COVa} \times P_{CRUDO b}}{P_{CRUDO a}} \\ &= 100 \text{ toneladas} / \text{año} \times \frac{1}{2} \\ &= 50 \text{ toneladas} / \text{año} \end{aligned}$$

---

EJEMPLO 13-2

Basándose en una encuesta se estima que las emisiones totales anuales de COVs provenientes de la quema agrícola en el Estado A son de 50 toneladas (métricas). No hay recursos para financiar una encuesta similar en el Estado B. Puesto que las condiciones agrícolas son muy semejantes en el Estado B (p.ej. similares cultivos, métodos agrícolas, etc.), estimar las emisiones de COVs extrapolando los datos del Estado A, con base en la superficie del suelo agrícola en cada estado.

Los mapas de uso de suelo muestran 400,000 m<sup>2</sup> de suelos agrícolas en el Estado A, y 50,000 m<sup>2</sup> en el Estado B.

$$\begin{aligned} E_{\text{COVb}} &= E_{\text{COVa}} \times (A_{\text{SAb}}/P_{\text{SAa}}) \\ &= 50 \text{ toneladas/año} \times (50,000/400,000) \\ &= 6.25 \text{ toneladas/año} \end{aligned}$$

Este enfoque también puede usarse cuando se encuesta solamente una fracción de las fuentes de área dentro de una categoría dada, como se mencionó en el capítulo anterior. En este caso se usa el empleo como indicador para extrapolar el inventario y contabilizar de manera colectiva las fuentes de emisión y las emisiones en el inventario de fuentes de área. Para calcular estimaciones de emisiones se pueden usar otros parámetros distintos al empleo, tales como los datos de ventas o el número de plantas. Sin embargo, el empleo es por lo general el parámetro más fácilmente disponible (ver ejemplo 13-3).

#### EJEMPLO 13-3

Se está realizando una encuesta para recopilar las estimaciones de emisiones de COVs de talleres de artes gráficas pequeños en Coyoacán para usarlos en el inventario de fuentes de área de la Ciudad de México. Debido a las limitaciones en los recursos, el cuestionario fue enviado solamente a algunos de los talleres en Coyoacán y no todos los que están incluidos en la lista de distribución devolvieron el cuestionario. Las emisiones totales anuales de COVs reportadas en los cuestionarios son de 100 toneladas (métricas).

Dado que no existen recursos para encuestar a cada taller, estimar las emisiones de COVs en Coyoacán, extrapolando (es decir, escalando) las emisiones de COVs estimadas con base en el empleo. Los registros de empleo disponibles muestran que 500 personas en Coyoacán trabajan en la industria

de las artes gráficas y los cuestionarios muestran que un total de 125 personas trabajan en los talleres que llenaron las formas de la encuesta.

$$\begin{aligned}E_{\text{COVcoy}} &= E_{\text{COV}} \times (P_{\text{coy}}/P) \\&= 100 \text{ toneladas/año} \times (500/125) \\&= 400 \text{ toneladas/año}\end{aligned}$$

---

*Estimación de  
emisiones  
mediante  
extrapolación*





## INVENTARIOS DE EMISIONES PARA MODELACIÓN

# 14

Durante los últimos 25 años se han realizado numerosos estudios para atender los problemas de la contaminación del aire. Recientemente, muchos de estos estudios se han basado en la aplicación de modelos de calidad del aire, los cuales requieren de inventarios con datos desglosados y específicos sobre la distribución espacial y temporal de las emisiones en una región, e incluso de su especiación química. Dichos inventarios, conocidos como *inventarios de emisiones para modelación* están formados por un conjunto de datos, preferentemente en formato electrónico, que describe la ocurrencia de las emisiones en función del tiempo y de la zonificación del dominio del inventario. Este conjunto de datos a su vez puede alimentar un modelo de calidad del aire, con el que puede modelarse la generación y dispersión de contaminantes del aire en una región geográfica denominada dominio de modelación.

Entre otras aplicaciones, los modelos de calidad del aire se emplean para evaluar el cumplimiento con respecto a las normas de calidad del aire de contaminantes criterio (p. ej., ozono [O<sub>3</sub>], monóxido de carbono [CO], óxidos de nitrógeno [NO<sub>x</sub>], etc.), así como para analizar la efectividad de diversas estrategias de control de la contaminación y brindar sustento científico a los programas de gestión de la calidad del aire. La

modelación a escala regional puede aplicarse para evaluar los riesgos a la salud y al ambiente asociados con las emisiones de contaminantes criterio y tóxicos del aire (HAPs). En estos modelos, las tasas de emisión de contaminantes son una variable clave, ya que determinan las concentraciones de éstos en función de las condiciones meteorológicas. Un inventario de emisiones para modelación debe incluir una compilación de estas tasas de emisión de contaminantes, las cuales representan parte de los datos de entrada necesarios para correr un modelo de calidad del aire.

Los modelos de calidad del aire describen numéricamente los fenómenos de dispersión y reactividad fotoquímica, con lo que permiten apoyar decisiones y planear actividades que redunden en una mejor calidad del aire. Sin embargo, para que las predicciones de estos modelos puedan alcanzar una confiabilidad aceptable, se requieren datos de distribución temporal, espacial y de especiación química de emisiones, los cuales se integran en un inventario de emisiones para modelación. El desarrollo de un inventario de emisiones para modelación implica el manejo de un gran volumen de datos y la generación secuencial de información. En este capítulo se describen las etapas necesarias en el desarrollo de un inventario de emisiones para modelación, a saber:

- Requerimientos de información y de manejo de datos – Identificación de información de base necesaria y selección de un sistema para el manejo de un inventario de emisiones para modelación.
- Distribución temporal –desglose de las emisiones anuales en intervalos de tiempo más pequeños (generalmente en horas).
- Distribución espacial –distribución de las emisiones anuales en celdas individuales definidas sobre el dominio de modelación.
- Especiación –desglose de las emisiones en grupos de reactividad y/o especies químicas individuales.

#### 14.1. REQUERIMIENTOS DE INFORMACIÓN Y DE MANEJO DE DATOS

En general, el desarrollo de un inventario para modelación requiere un sistema de procesamiento de información por computadora, el cual puede ser más sofisticado que las hojas de cálculo que se presentan a manera de ejemplo en el Apéndice F. Este paso previo al desarrollo de los datos implica la elaboración o selección de un sistema de manejo de datos de emisiones para modelación, el cual debe ser congruente con los objetivos específicos del inventario así como con las características del modelo de calidad del aire que se pretende alimentar. Existen como referencias básicas el Sistema de Proyecciones y Modelación de Emisiones Geocodificado -*Geocoded Emissions Modeling and Projections System (GEMAP)* [Radian, 1993], y el Sistema de Modelación de Emisiones 95 -*Emissions Modeling System 95 (EMS-95)* [U.S. EPA, 1999a], etc., sobre los cuales es posible encontrar gran cantidad de documentos (Beidler et al., 1996; Benjey and Moghari, 1995; Bruckman, 1993; Bruckman and Oliver, 1993; Dickson and Oliver, 1991; Dickson et al., 1992; Dickson et al., 1993; Dickson et al., 1994; Janssen, 1996; Janssen, 1998; Koerber, 1992; Mayenkar et al., 1992; y Oliver et al., 1998). Adicionalmente existen otros sistemas de inventarios de emisiones para modelación. En todo caso, la selección de dicho sistema generalmente debe realizarse con base en la:

- Familiaridad del o los usuarios con los sistemas existentes.
- Compatibilidad de los formatos del sistema con los datos del inventario de emisiones y los del modelo de calidad del aire.

Un sistema de inventario de emisiones puede incluir, a su vez, modelos para el cálculo de distribuciones temporales y espaciales de emisiones, los cuales se ejecutan en una secuencia específica que procesa los datos originales de emisión anual para generar perfiles de especiación y de distribución temporal y espacial. Cada modelo de emisión es una colección integrada de procedimientos de cálculo, o

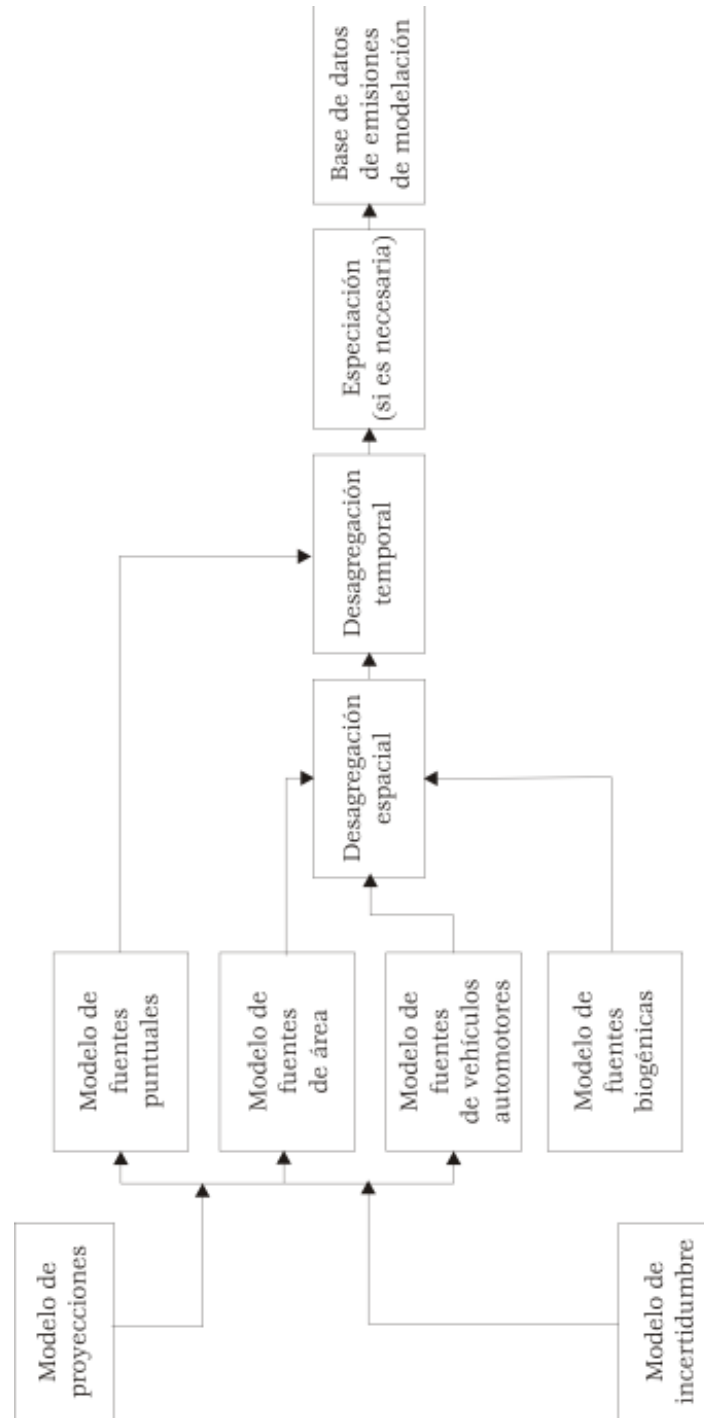
*Inventario de  
emisiones para  
modelación*

algoritmos, adecuadamente codificados para un manejo basado en computadoras. Por ejemplo, el GEMAP y el EMS-95 tienen modelos de emisión distintos para fuentes puntuales, de área, de vehículos automotores y biogénicas, tal como se ilustra en la Figura 14.1. Los sistemas de modelación de emisiones preferentemente deben incluir una herramienta de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para procesar los diversos conjuntos de datos espaciales o «coberturas» (p.ej., la definición del dominio del inventario, los límites políticos, población, tipo de vegetación, etc.). La herramienta de SIG puede utilizarse para visualizar diferentes aspectos del inventario para modelación, que podrían no ser evidentes con la simple observación de los datos numéricos en la base de datos del inventario.

Los inventarios de emisiones para modelación involucran grandes cantidades de datos, especialmente cuando los dominios de los inventarios abarcan cientos de kilómetros cuadrados, y una alta resolución espacial. Estos datos deben reflejar las emisiones por hora, de potencialmente cientos de especies químicas, para un gran número de categorías de fuentes de emisión. En la Figura 14-2 se ilustra el tipo de datos generados en el inventario de modelación de emisiones de contaminantes tóxicos del aire de la región de la frontera México-Estados Unidos conformada por Ambos Nogales (Radian, 1997), el cual incluye las siguientes características:

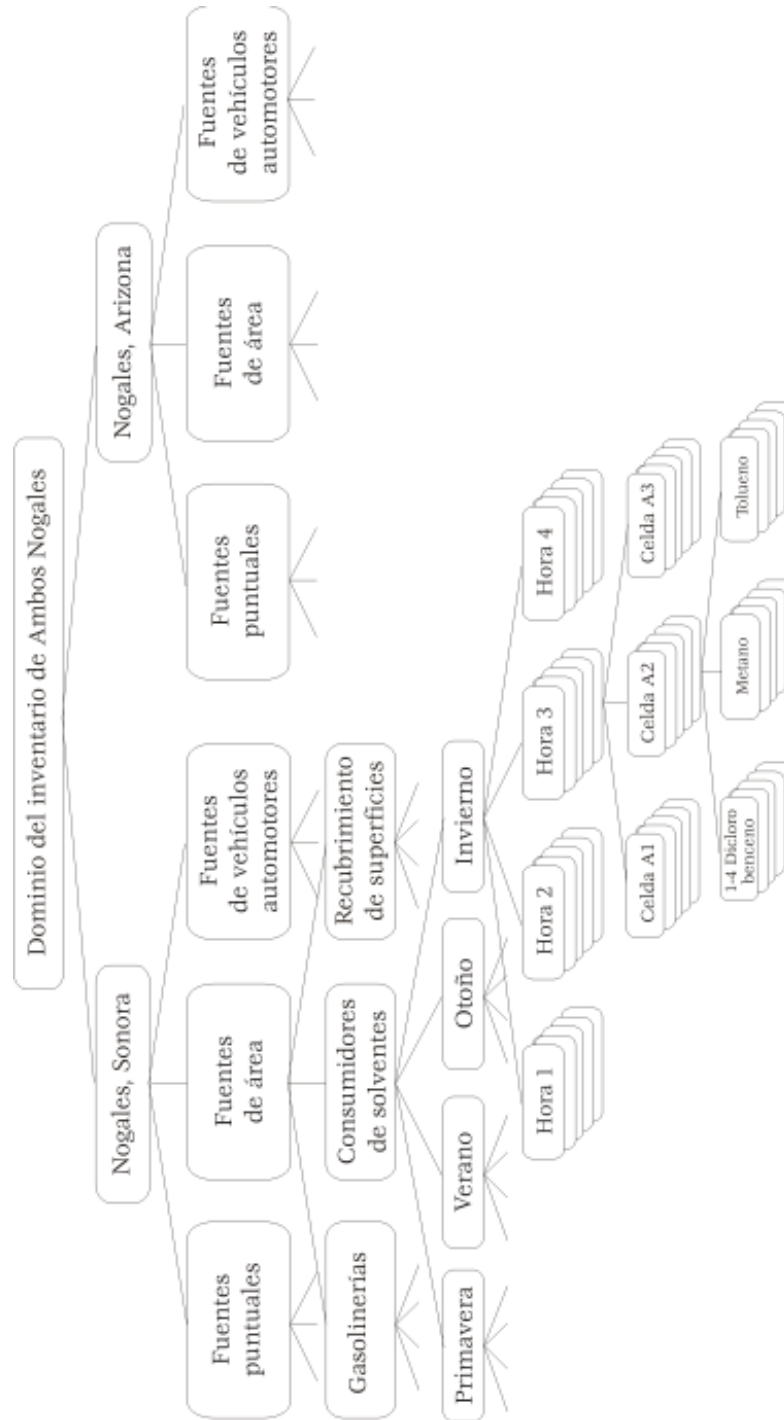
- El dominio se distribuyó de manera equitativa entre México y Estados Unidos de América
- Las dimensiones del dominio fueron 19 km (norte-sur) por 12 km (este-oeste)
- Celdas de 500 metros (número total de celdas en el dominio del inventario: 912)
- Consideración de las cuatro estaciones del año
- 113 especies de tóxicos del aire individuales
- 103 diferentes categorías de fuentes de área y de vehículos automotores.

FIGURA 14-1. ESTRUCTURA DE GEMAP Y SUS SUB-MODELOS DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES



*Inventario de  
emisiones para  
modelación*

FIGURA 14-2. DIAGRAMA CONCEPTUAL DEL INVENTARIO DE CONTAMINANTES TÓXICOS DEL AIRE DE AMBOS NOGALES



Si bien no todos los contaminantes tóxicos del aire fueron emitidos por cada categoría de fuente, y no todas las categorías de fuente se localizaron en cada celda para el inventario, el número de datos de emisiones generados excedió los mil millones ( $1 \times 10^9$ ). En la Figura 14-2 se esquematizan los datos de las emisiones especiadas de solventes usados por los consumidores en la Celda A1 para Nogales, Sonora, durante la hora 3, en un día de invierno promedio.

Una vez que se ha seleccionado un sistema para el manejo de un inventario de emisiones para modelación pueden ejecutarse los siguientes pasos necesarios para el desarrollo de los datos correspondientes:

*Inventario de  
emisiones para  
modelación*

- *Distribución temporal* –desglose de las emisiones anuales en intervalos de tiempo más pequeños (generalmente en horas).
- *Distribución espacial* –distribución de las emisiones anuales en celdas individuales definidas sobre el dominio del inventario.
- *Especiación* –desglose de las emisiones de gases orgánicos totales (GOT) o gases orgánicos reactivos (GOR) en grupos de reactividad y/o especies químicas individuales;  $\text{NO}_x$  totales en óxido nítrico (NO) y bióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ); y material particulado total (PM) por tamaño de partículas ( $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ) y/o por especies químicas individuales.
- *Proyecciones* –estimación de emisiones futuras con base en factores de crecimiento y medidas de control de emisiones.

A través de las etapas mencionadas se caracteriza cada categoría de fuente, para la cual se establecen conjuntos específicos de datos de acuerdo con la distribución temporal y espacial, la especiación química y la proyección futura de sus emisiones de contaminantes.

La información requerida para instrumentar estos pasos técnicos, debe reflejar tanto las características geográficas como las condiciones de operación de las fuentes de

emisión ubicadas en el dominio del inventario o región de modelación. En este sentido, las características geográficas son necesarias para determinar los perfiles de distribución espacial, y se requiere conocer las condiciones de operación de las fuentes para determinar los perfiles de distribución temporal (estacional, semanal, por hora), la especiación química de las emisiones y los factores de crecimiento y control de las emisiones a futuro.

Si bien cierta información puede promediarse, es importante no generalizar la información sin un análisis detallado, ya que los datos necesarios para un modelo de calidad de aire son específicos, en muchos casos, para las condiciones dominantes en cada región y para cada tipo de fuente. Por ejemplo, es muy probable que los patrones diarios de tráfico vehicular en la Ciudad de México sean diferentes a los de las áreas metropolitanas en la frontera entre México y los EU (p. ej., Ciudad Juárez, Mexicali, etc.). En tales casos, estos datos no pueden simplemente suponerse, pues afectarían los resultados calculados por el modelo. Normalmente, para aquellos casos en los que se considere que las suposiciones o generalizaciones no afectan los resultados, es preferible utilizar datos específicos para México. Sin embargo, en casos especiales pueden adoptarse datos de los inventarios y sistemas de modelación de EUA, por ejemplo, los perfiles de especiación química para la mayoría de los tipos de fuente y algunos perfiles de distribución temporal (p. ej., patrones de operación para uso de solventes, etc.).

Una vez que se ha seleccionado un sistema de manejo de datos del inventario, el punto de arranque para desarrollar un inventario de emisiones para modelación es la base de datos de información relacionada con las emisiones en el *año base del inventario*. El año base del inventario indica el punto en el tiempo en que se obtuvo la información y se concentró para propósitos de inventario. Esta información debe cumplir con los requerimientos necesarios para el desarrollo de un inventario de emisiones para modelación. En principio es



necesario que dicho inventario contenga información general sobre cada establecimiento industrial, los materiales utilizados en el proceso y sus rendimientos, los parámetros de chimenea, etc. En el Cuadro 14-1 se presenta una lista de la información necesaria sobre fuentes puntuales. Los Cuadros 14-2 a 14-4 presentan datos similares para las fuentes de área, vehículos automotores y fuentes de emisiones biogénicas.

Estos datos adicionales son necesarios para el desarrollo de un inventario de emisiones para modelación que permita el análisis de los impactos potenciales de las fuentes de emisión y la evaluación de la efectividad de las estrategias de control de la contaminación del aire. Por ejemplo, la información a nivel de establecimiento industrial puede ayudar a identificar qué sectores industriales son los responsables prioritarios de la contaminación del aire en la región de dominio del inventario. Las materias primas y sus rendimientos también pueden ser útiles para establecer estrategias específicas de control (p.ej., cambio o mejoramiento de los combustibles que provocan la mayoría de las emisiones por combustión). Los parámetros de chimenea se utilizan en conjunto con información meteorológica para modelar la dispersión de contaminantes de una fuente puntual.

Normalmente, cuando se elabora un inventario de año base, se incluyen campos para codificar los datos relacionados con las emisiones, ya que sin sistemas de codificación, el manejo de los datos sería extremadamente difícil, si no imposible. Los sistemas de codificación utilizados con mayor frecuencia incluyen abreviaturas para estados y municipios, clasificaciones industriales y códigos de categorías de emisión. Las categorías de emisión que se sugiere utilizar son las correspondientes a la clasificación de actividades industriales y económicas, o bien, las relacionadas a categorías de fuentes para las que se han caracterizado factores de emisión y especiación.

El sistema de clasificación industrial utilizado en México hasta el año 2000 fue el denominado Clasificación Mexicana

*Inventario de  
emisiones para  
modelación*

CUADRO 14-1. INFORMACIÓN REQUERIDA PARA UN INVENTARIO DE AÑO BASE –  
FUENTES PUNTUALES

	TIPO DE INFORMACIÓN	DATOS
<i>Requerimientos de información y de manejo de datos</i>	Información del establecimiento	ID del establecimiento Nombre del establecimiento Código Industrial del Establecimiento–SIC, NAICS, CMAP UTMs del Establecimiento
	Parámetros de chimenea	ID de la chimenea Diámetro interno de la chimenea Altura de la chimenea (sobre la superficie) Temperatura de los gases de salida de la chimenea Velocidad de los gases de salida de la chimenea Flujo másico o volumétrico de salida de la chimenea Coordenadas UTM de la chimenea (Zonificación, coordenadas al Este y al Norte) Elevación de la chimenea (sobre el nivel del mar)
	Información del equipo	ID del equipo Condiciones de operación: - Rendimientos fraccionales mensuales - Rendimientos fraccionales estacionales - Operación en semanas/año - Operación en días/semana - Operación en horas/día
	Información del proceso	ID del proceso SCC Tasa/rendimiento anual del proceso
	Información sobre emisiones	ID del contaminante Factores reales de emisión Emisiones anuales reales Código del equipo de control primario Código del equipo de control secundario Eficiencia general del equipo de control

CMAP = Clasificación Mexicana de Actividades y Productos

ID = Número de identificación

NAICS = Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte  
(*North American Industry Classification System*)

SCC = Código de Clasificación de Fuentes (*Source Classification Code*)

SIC = Clasificación Industrial Estándar (*Standard Industrial Classification*)

UTM = Universal Mercator Transverso

CUADRO 14-2. INFORMACIÓN REQUERIDA PARA UN INVENTARIO DE AÑO BASE –  
FUENTES DE ÁREA

TIPO DE INFORMACIÓN	DATOS
Ubicación	Estado Municipio
Información de la fuente	Categoría de fuente de área
Información sobre emisiones	ID del contaminante Factor de emisión real Estimado de la emisión real Equipo de control primario Equipo de control secundario Eficiencia de control Base temporal (promedio anual o promedio diario)

*Inventario de  
emisiones para  
modelación*

ID = número de identificación

CUADRO 14-3. INFORMACIÓN REQUERIDA PARA UN INVENTARIO DE AÑO BASE –  
VEHÍCULOS AUTOMOTORES

TIPO DE DATOS	DATOS
Ubicación	Estado Municipio
Información de las fuentes	Clase de Vehículo Tipo de tecnología vehicular
Emisiones	ID del contaminante Código del proceso de emisión del vehículo automotor (es decir, REX, CST, HST, REV, HSK, DNL, CC) Estimado de la emisión total diaria a nivel municipal

CC = emisiones del cárter  
HST = emisiones de arranque en caliente  
CST = emisiones de arranque en frío  
ID = identificación  
DNL = emisiones diurnas  
REV = emisiones evaporativas en circulación  
HSK = emisiones húmedas calientes  
REX = emisiones de escape en circulación

Requerimientos  
de información  
y de manejo de  
datos

CUADRO 14-4. INFORMACIÓN REQUERIDA PARA UN INVENTARIO DE AÑO BASE –  
FUENTES BIOGÉNICAS

TIPO DE DATOS	DATOS
Ubicación	Estado Municipio
Información de las fuentes	Tipo de vegetación
Emisiones	ID del Contaminante Tipo de dosel Flujo de emisión biogénica ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{-hr}$ )

ID = número de identificación  
 $\mu\text{g}$  = microgramo  
 $\text{m}^2$  = metro cuadrado  
hr = hora

de Actividades y Productos (CMAP). En Estados Unidos, el *Standard Industrial Classification* (Clasificación Industrial Estándar) ha sido ampliamente utilizado desde 1987 (OMB, 1987). Si bien ambos sistemas son similares, cabe señalar que el sistema trinacional *North American Industry Classification System* (Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte) (OMB, 1997; U.S. Census, 1999), está siendo instrumentado en México, EU y Canadá. Otro ejemplo son los códigos de datos de ubicación industrial que se han utilizado en el archivo de la base de datos UBICIND, dentro del Sistema Nacional de Información de Fuentes Fijas (SNIFF) utilizado por la SEMARNAT en México en años anteriores.

Actualmente, en EU se emplean los *Source Classification Codes* (SCC) (Códigos de Clasificación de Fuentes) para fuentes puntuales, y los códigos de categoría de *Area and Mobile Source* (AMS) (Fuentes de área y móviles) para las fuentes de área y móviles. Esta clasificación está asociada a información de factores de emisión y de especiación que la EPA actualiza periódicamente con el fin de facilitar la estimación de

emisiones de contaminantes. En México, la base de datos del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC) también incluye códigos de categorías de emisión para las fuentes de emisiones atmosféricas de jurisdicción federal, lo que se refleja en el número de registro ambiental que la SEMARNAT asigna a cada establecimiento y que sirve de referencia única en los trámites de Licencia Ambiental Única (LAU) y Cédula de Operación Anual (COA).

*Inventario de  
emisiones para  
modelación*

#### 14.2. EJEMPLO DE UN INVENTARIO DE EMISIONES PARA MODELACIÓN

Con el fin de ilustrar las características de distribución temporal, distribución espacial y especiación de un inventario de emisiones para modelación, a continuación se presenta un ejemplo con información correspondiente a un área con seis tipos de fuentes de emisión, representadas en la Figura 14-3, donde se muestran:

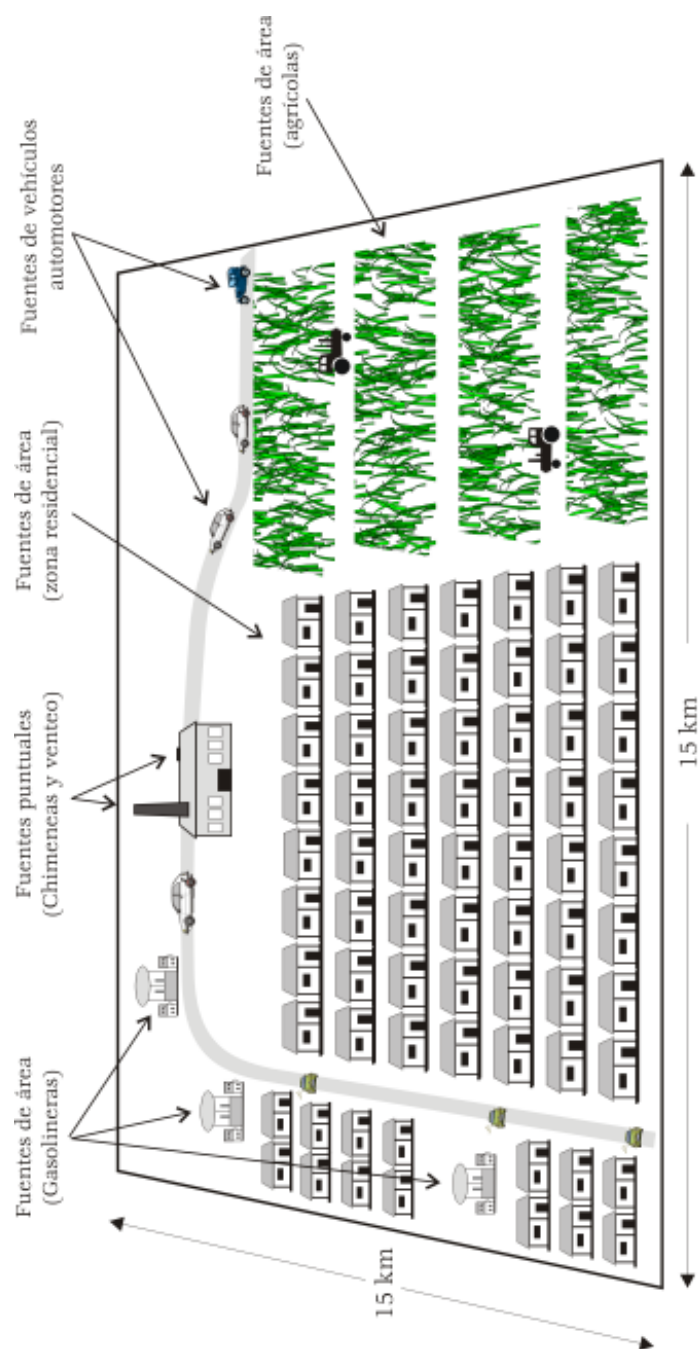
- Una instalación industrial (fuente puntual ) de tamaño considerable con dos fuentes de emisión individuales:
  - Una caldera para la calefacción estacional
  - Un proceso de recubrimiento de superficies
- Vehículos automotores (automóviles de pasajeros)
- Gasolineras
- Uso de solventes en casas habitación
- Aplicación de plaguicidas en la agricultura.

Las seis fuentes emiten COT, mientras que las emisiones de CO y NO<sub>x</sub> provienen de las dos fuentes de combustión, es decir, la caldera de la industria y los automóviles. El Cuadro 14-5 presenta las emisiones anuales supuestas para estas fuentes.

Si bien en el Cuadro 14.5, sólo se incluyen cinco fuentes de emisión, puede esperarse que un inventario real comprenda más fuentes y más contaminantes y por lo tanto, se requieran herramientas más sofisticadas para los cálculos. Sin embargo, este ejemplo ilustra las características básicas de los datos de

Ejemplo de un  
inventario de  
emisiones para  
Modelacion

FIGURA 14.3. COMUNIDAD HIPOTÉTICA CON CINCO TIPOS DE FUENTES DE EMISIÓN



un inventario de emisiones para modelación. En principio, estos datos deben reflejar los procesos de emisión en el tiempo y en el espacio, lo cual se puede lograr con la aplicación de las metodologías que se describen en el capítulo siguiente sobre distribución temporal, distribución espacial y especiación.

La Figura 14.4 presenta la distribución por hora de las emisiones de COT en un día promedio de verano (totales y por categoría de fuente individual), para el dominio del inventario de emisiones del ejemplo. El Cuadro 14-6 ilustra la distribución de las emisiones de COT por fuente, a las 12 hrs del día.

*Inventario de  
emisiones para  
modelación*

Como puede esperarse para el inventario de una comunidad promedio, la distribución por hora presenta un pico durante el periodo diurno, que es afectado principalmente por el proceso de recubrimiento en la fábrica y, en menor grado, por el uso de plaguicidas agrícolas. Las emisiones de vehículos automotores que circulan por carretera ocurren durante todo el día, y representan la principal fuente de emisiones durante la noche.

CUADRO 14-5. EMISIONES ANUALES SUPUESTAS DE CINCO FUENTES DE EMISIÓN

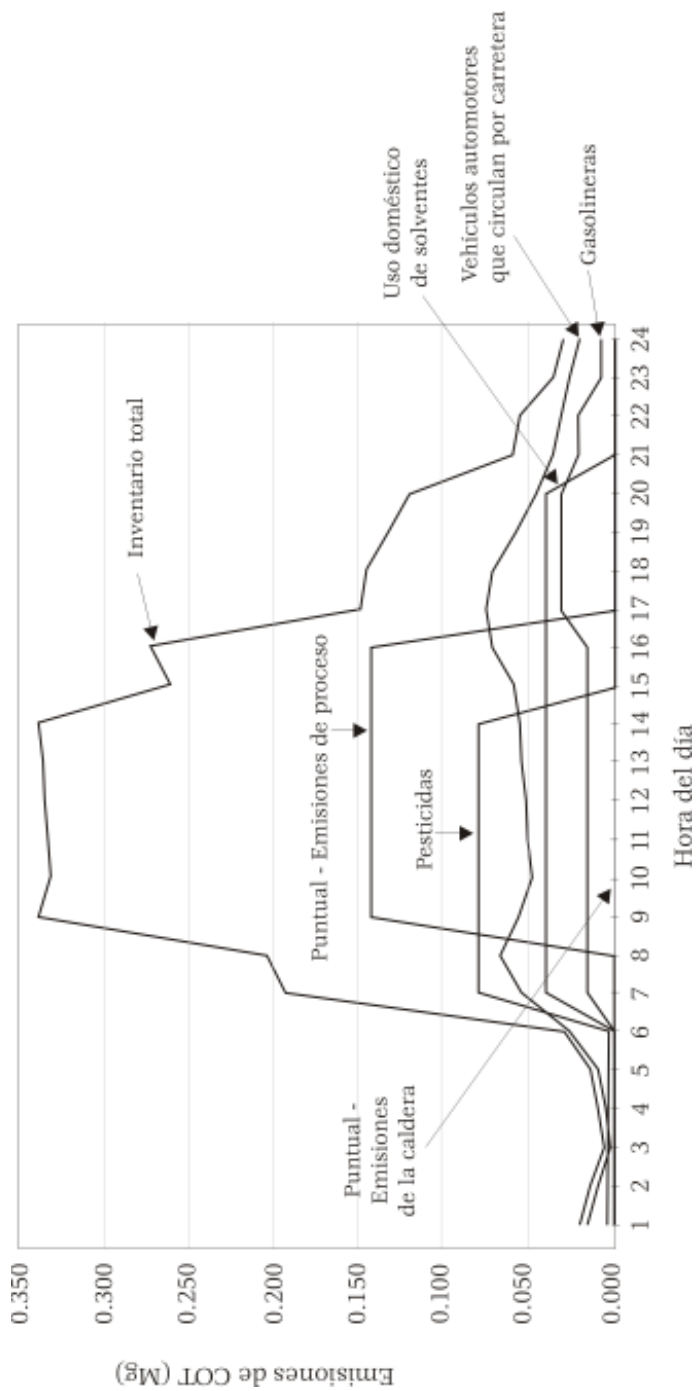
FUENTE DE EMISIÓN	COT (Mg/año)	CO (Mg/año)	NOx (Mg/año)
Industria (caldera)	200	600	400
Industria (recubrimiento de superficies)	300	N/A	N/A
Automóviles	400	800	600
Gasolineras	150	N/A	N/A
Uso de solventes en casas habitación	200	N/A	N/A
Aplicación de plaguicidas agrícolas	100	N/A	N/A

Mg/año = megagramos (10<sup>6</sup> gramos ó 1 tonelada métrica) por año

N/A = no aplicable

Ejemplo de un  
inventario de  
emisiones para  
Modelacion

FIGURA 14-4. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LAS EMISIONES DE COT EN UN DÍA ENTRE SEMANA DE VERANO,  
EN UNA COMUNIDAD HIPOTÉTICA CON SEIS FUENTES DE EMISIÓN





CUADRO 14-6. EJEMPLO: EMISIONES DE COT PARA LA HORA 12 DE UN DÍA  
DE LA SEMANA DE VERANO

CATEGORÍA DE FUENTE	EMISIONES (Mg/hr)
Puntual – Caldera	0.000
Puntual – Proceso	0.144
Vehículos que circulan por carreteras	0.054
Gasolineras	0.017
Uso doméstico de solventes	0.041
Plaguicidas	0.080
Total	0.336

*Inventario de  
emisiones para  
modelación*

La Figura 14.5 presenta la distribución temporal de las emisiones de COT, para un día entre semana, en verano y en invierno, para todo el dominio del inventario. La curva de verano es idéntica a la curva total de la Figura 14-4, sin embargo, la escala es diferente. Las curvas de verano e invierno siguen el mismo patrón desde la tarde hasta las primeras horas de la mañana, pero las emisiones de invierno son considerablemente mayores que las de verano. La principal razón de esta diferencia es que se supone que la caldera de la fábrica opera más intensamente durante el invierno, y que no opera en el verano.

La Figura 14.6 muestra la distribución espacial de las emisiones de COT, por celda, para un día de la semana en verano. Las barras sombreadas muestran la contribución relativa de cada tipo de fuente a las emisiones de toda el área de estudio. Las emisiones del proceso de recubrimiento de la fábrica son la fuente más significativa, localizada en la Celda B3. Asimismo, las gasolineras y los vehículos automotores en las Celdas A1 y A3 también son significativas. Si bien los plaguicidas son la única categoría de fuente emisora en las Celdas C1 y C2, su contribución podría ser significativa.

La distribución relativa de las emisiones totales en la Figura 14.6 sería diferente si se analizaran horas específicas. Asimismo, la distribución de emisiones sería diferente si se

Ejemplo de un  
inventario de  
emisiones para  
Modelacion

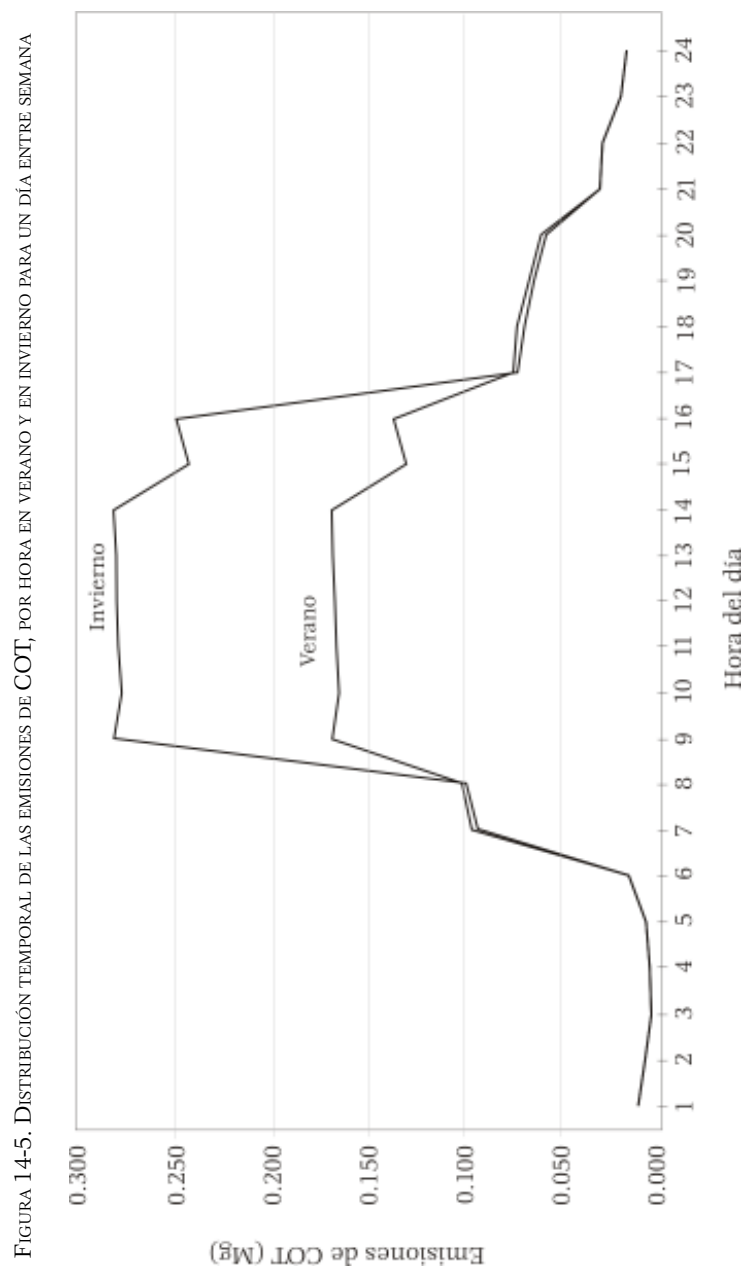
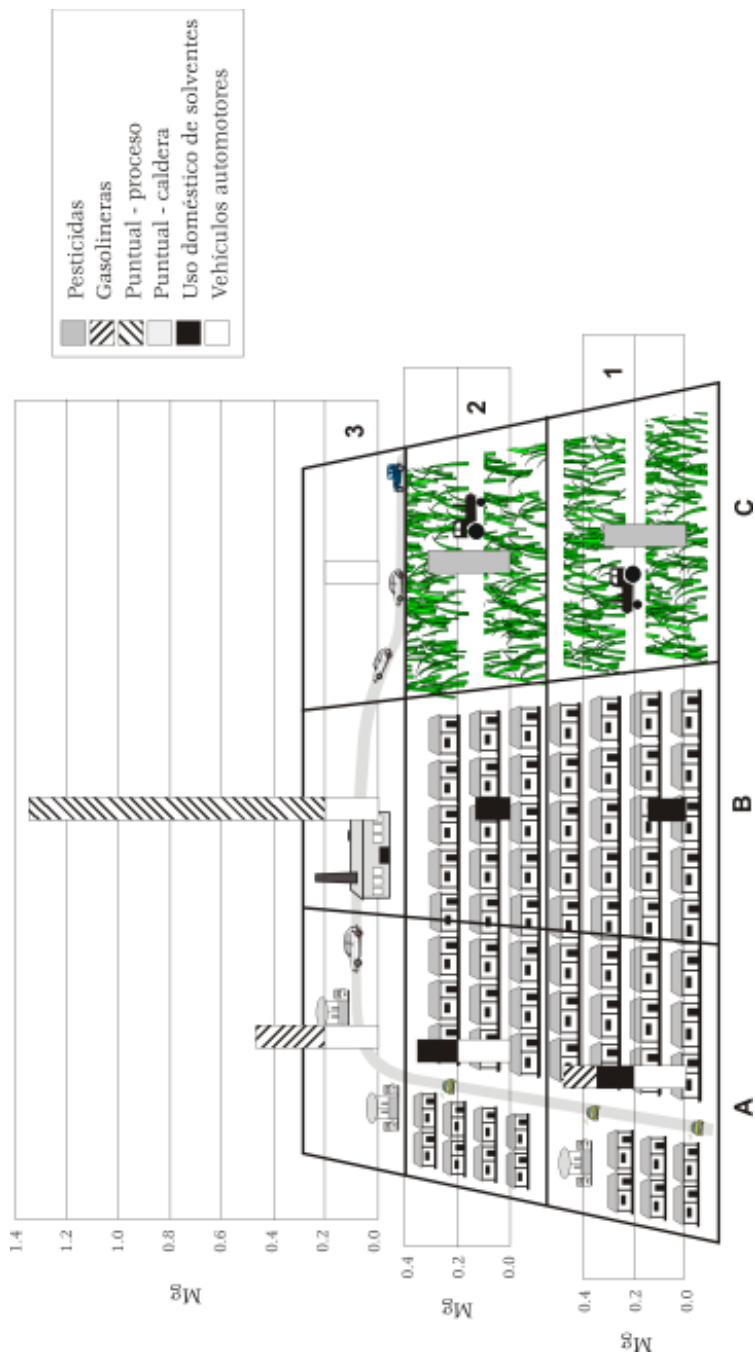


FIGURA 14.6. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS EMISIONES DE COT PARA UN DÍA DE LA SEMANA EN VERANO DEL MODELADO DE INVENTARIOS HIPOTÉTICOS



*Inventario de  
emisiones para  
modelación*

analizaran diferentes contaminantes, estaciones del año o días de la semana. Por ejemplo, si se examinara la distribución de CO en un día de verano o invierno, no habría emisiones ubicadas en las Celdas B1, B2, C1 y C2. Sólo aquellas celdas con fuentes de combustión (p.ej., vehículos automotores) tendrían emisiones de CO. De manera similar, el valor pico de las emisiones de COT en un día de invierno para la Celda B3 sería más pronunciado, respecto a otras celdas, debido a que la caldera de la fábrica estaría en operación, además del proceso de recubrimiento, que funciona todo el año. Finalmente, si se analizaran las emisiones de fin de semana, en lugar de las emisiones de los días de la semana, no habría un valor pico para las emisiones de COT en la Celda B3 con respecto a otras celdas, debido a que la fábrica no trabaja sábados ni domingos. Por lo tanto, los niveles de las emisiones de COT en esa celda serían comparables a los de las otras.

### 14.3. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL

El primer paso para el desarrollo de los datos de un inventario de modelación consiste en llevar a cabo la distribución temporal de las emisiones. Debido a que los modelos de calidad del aire tienen el objetivo de representar los procesos físicos y químicos reales que ocurren en un lapso específico de tiempo, es importante que la distribución temporal de las emisiones, que puede considerarse como la contabilidad de la variación de las emisiones en el tiempo, sea lo más precisa posible.

La distribución temporal más sencilla es la que corresponde a una fuente de emisión, en estado estable, cuya tasa de emisiones es constante en todo momento. En condiciones reales, sin embargo, las fuentes de emisión tienen distintos patrones de operación, por ejemplo, pueden operar sólo durante el invierno, no operar los domingos, o tener picos de actividad durante determinadas horas del día. Las distribuciones temporales permiten modelar correctamente la varia-

bilidad de las emisiones durante los periodos de modelación deseados, los cuales pueden variar dependiendo del propósito del inventario. Por ejemplo, algunos inventarios requieren sólo un promedio de las emisiones diarias para cada estación del año, mientras que otros utilizan más información, como las emisiones horarias, para poder alimentar un modelo de calidad del aire que considere episodios de contaminación por ozono u otros contaminantes.

En general, el punto de partida para determinar la distribución temporal del inventario de modelación son los datos de emisiones anuales. A partir de estos datos, la distribución temporal puede determinarse con base en *perfiles de distribución temporal*, que indican la distribución de emisiones en el periodo seleccionado (p.ej., estación, semana, día). Los datos de emisiones de emisiones anuales son desagregados primero con base en perfiles de distribución estacional (primavera, verano, otoño, invierno). Posteriormente, los perfiles de distribución semanal se utilizan para contabilizar las diferencias en los niveles de actividad típicos de los días de la semana, sábados y domingos. Finalmente, los perfiles de distribución por hora permiten estimar las diferencias por hora en las emisiones.

Los perfiles de distribución estacional, semanal y por hora con frecuencia están incluidos en los sistemas electrónicos de modelación de emisiones, con valores por omisión, que pueden usarse cuando se carece de perfiles reales de distribución de las emisiones. Sin embargo, para cada inventario de modelación a desarrollarse, debe determinarse si el uso de los perfiles de distribución por omisión es adecuado o bien resulta necesario desarrollar algunos perfiles de distribución específicos para el inventario.

También debe señalarse que en algunos casos se requerirán estimaciones de emisión específicas de un día para las categorías de fuentes de emisiones eventuales (p.ej., incendios forestales, quemas controladas, aplicación agrícola de plaguicidas, etc.).

*Inventario de  
emisiones para  
modelación*

#### 14.3.1. Perfiles de distribución estacional

El primer paso en el cálculo de la distribución temporal consiste en desglosar las emisiones anuales en cuatro subtotales de emisión estacionales, utilizando los perfiles estacionales. En algunos casos, los perfiles estacionales están disponibles, pero en otros, deben ser derivados de las emisiones o datos de actividad mensuales. Esto se calcula sumando la porción mensual de emisiones o datos de actividad de los tres meses correspondientes a una estación del año. Por convención, las estaciones se definen como:

- Primavera (marzo, abril, mayo)
- Verano (junio, julio, agosto)
- Otoño (septiembre, octubre, noviembre)
- Invierno (diciembre, enero, febrero).

Algunas fuentes arrojan emisiones a la misma tasa durante todo el año, mientras que otras tienen variaciones estacionales significativas. Por ejemplo, en el centro y sur de México, donde los cambios de clima no son muy drásticos, puede esperarse una variación estacional de emisiones menor que en la zona norte del país, donde los cambios estacionales son más pronunciados y existen sistemas de calefacción que funcionan exclusivamente en el invierno.

La Figura 14-7 muestra los perfiles de distribución temporal de dos de las fuentes del ejemplo de inventario de emisiones para modelación. El primer perfil muestra una fuente de emisión que es constante a lo largo del año (el proceso de recubrimiento de la fábrica); mientras que el segundo perfil muestra una fuente de emisión estacionalmente variable (la caldera de la fábrica utilizada para calefacción). La caldera emite cantidades significativas de contaminantes durante el invierno, mientras que en el verano no se registran emisiones debido a que el equipo no se utiliza en esta estación. Otros ejemplos de fuentes de emisión que varían con respecto a las estaciones del año incluyen a los vehículos automotores

(debido al posible incremento en el uso durante los periodos vacacionales y de descanso), y los equipos y quemas agrícolas cuyo uso depende de la época de siembra y cosecha.

La ecuación para convertir las distribuciones mensuales en distribuciones estacionales es la siguiente:

$$DT_{ei} = DT_{m1} + DT_{m2} + DT_{m3}$$

Donde:

$DT_{ei}$  = Distribución estacional para la estación «i»

$DT_{mj}$  = Distribución mensual para el mes 1,2,3

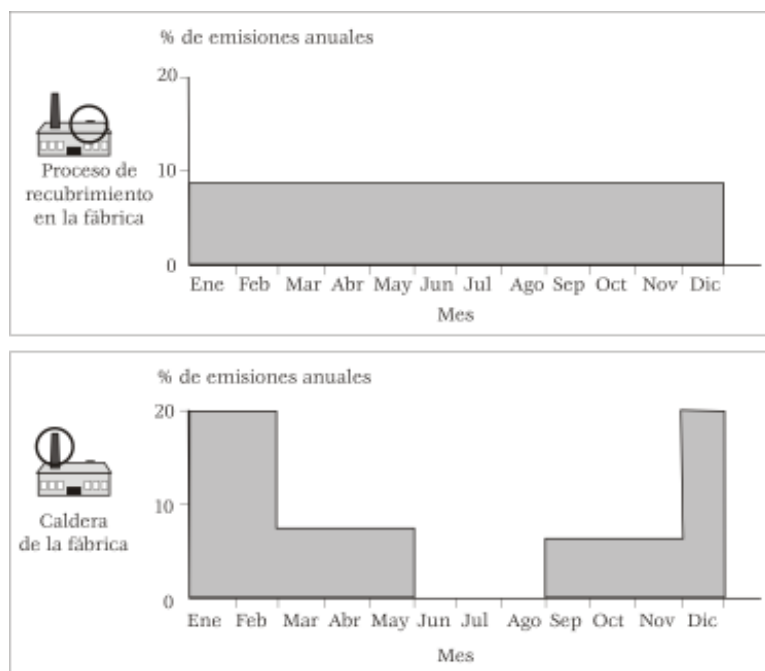
*Inventario de  
emisiones para  
modelación*

Independientemente de la variabilidad estacional, todas las distribuciones estacionales (o mensuales) deben sumar 1.00 (ó 100 por ciento) y debe verificarse la siguiente ecuación:

$$DT_{e1} + DT_{e2} + DT_{e3} + DT_{e4} = 1$$

FIGURA 14-7. EJEMPLOS DE LOS PERFILES DE DISTRIBUCIÓN TEMPORAL (CONSTANTE Y VARIABLE) CORRESPONDIENTES A DOS FUENTES DE EMISIONES DE UNA COMUNIDAD

HIPOTÉTICA



#### 14.3.2. Perfiles de distribución semanal

Después de que la distribución estacional ha sido establecida, las emisiones deben distribuirse en una base semanal (es decir, días entre semana, sábados y domingos), ya que para muchas fuentes las emisiones no son constantes a lo largo de la semana. Por ejemplo, la operación de muchos establecimientos industriales se limita a cinco o seis días hábiles. De manera similar, la actividad urbana y las emisiones de los vehículos automotores suele ser mas intensa entre semana que en fines de semana. A diferencia de los perfiles de distribución estacional, que suman 1.00 y son fáciles de estimar a partir de las distribuciones mensuales, la determinación de los perfiles semanales es más compleja. A continuación se describen los dos pasos necesarios para su desarrollo:

- El factor promedio diario ( $F_{pd}$ ) para cualquier estación del año es 0.011 de las emisiones estacionales (factor que corresponde a 100% dividido entre los 91 días de cada estación del año).
- El factor promedio diario se convierte en factor promedio de los días entre semana ( $F_{ps}$ ) multiplicándolo por la relación de la fracción diaria real de las emisiones entre semana ( $A_{ds}$ ) y la fracción promedio diaria de las emisiones semanales (es decir, 1 día dividido entre 7 días, o aproximadamente 0.1429). Los factores promedio para Sábado y Domingo ( $F_{sab}$ ;  $F_{dom}$ ) son estimados de manera similar sólo que el factor promedio diario es multiplicado por la relación de las fracciones reales de las emisiones semanales para Sábado y Domingo ( $A_{sab}$ ;  $A_{dom}$ ) y la fracción promedio diaria.

Las siguientes son las ecuaciones para convertir la distribución semanal en factores promedio para los días de la semana (lunes a viernes) y para días de fines de semana (sábados y domingos):

$$F_{ps} = F_{pd} \times (A_{ds}/0.1429)$$



$$F_{sab} = F_{pd} \times (A_{sab}/0.1429)$$

$$F_{dom} = F_{pd} \times (A_{dom}/0.1429)$$

Donde:

$F_{ps}$  = factor de día de la semana

$F_{sab}$  = factor de Sábado

$F_{dom}$  = factor de Domingo

$A_{ds}$  = actividad promedio de día de la semana

$A_{sab}$  = actividad de Sábado

$A_{dom}$  = actividad de Domingo

$F_{pd}$  = factor promedio diario (1.00/91 días por estación)

0.1429 = fracción promedio diario de las emisiones semanales

*Inventario de  
emisiones para  
modelación*

Por ejemplo, si suponemos que una categoría de fuente opera de lunes a viernes, con la misma actividad todos los días, y no trabaja sábados ni domingos, se tendría que las emisiones promedio de los días entre semana son del 1.1% de las emisiones estacionales totales y la fracción promedio diaria real de las emisiones es de 0.200 (es decir, 1.00 dividido entre 5 días hábiles), mientras que las fracciones reales de Sábado y Domingo de las emisiones semanales son de 0.000. El cálculo de los factores promedio para los días de la semana y para Sábado y Domingo, queda entonces de la siguiente manera:

$$F_{ps} = 1.1 \% \times (0.200/0.1429) = 1.54 \%$$

$$F_{sab} = 1.1 \% \times (0.000/0.1429) = 0.00 \%$$

$$F_{dom} = 1.1 \% \times (0.000/0.1429) = 0.00 \%$$

Los factores de distribución semanales pueden verificarse aplicando la siguiente ecuación (donde 65 es el número de días hábiles en una estación, y 13 es el número de sábados y domingos correspondientes):

$$(65 \times F_{ps}) + (13 \times F_{sab}) + (13 \times F_{dom}) = 1.00$$

$$(65 \times 0.0154) + (13 \times 0.0000) + (13 \times 0.0000) = 1.001 \approx 1.000$$

Si esta ecuación no se cumple, debe asumirse un error en el cálculo de los factores de distribución semanales.

#### 14.3.3. Perfiles de distribución por hora

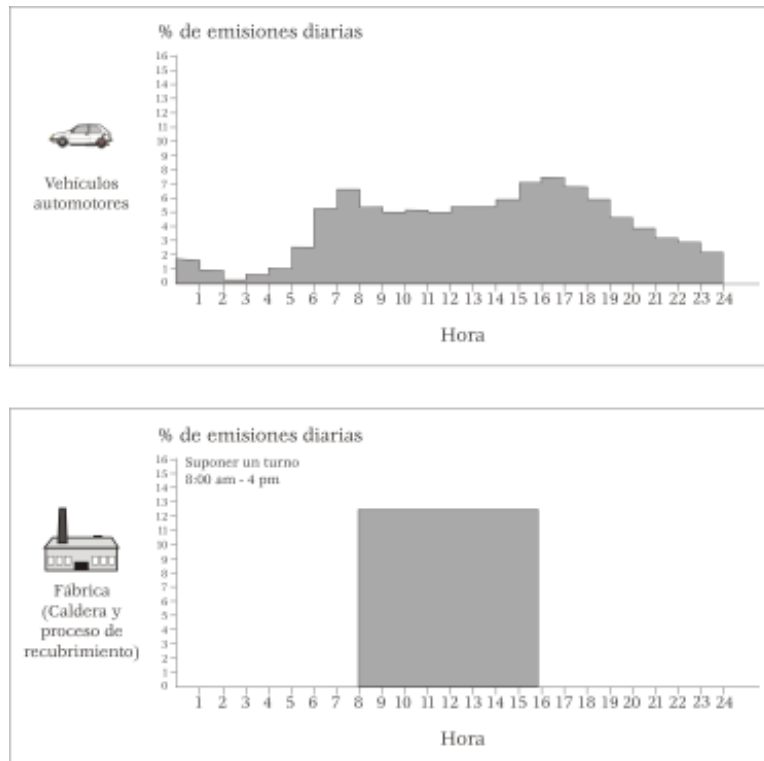
El paso final de la distribución temporal es el desglose de las emisiones diarias (es decir, promedio de días hábiles, sábados o domingos), en emisiones por hora. Con excepción de algunos establecimientos industriales que pueden operar al mismo nivel durante las 24 horas, la mayoría de las fuentes de emisión tendrán algún tipo de variación a lo largo del día. Por ejemplo, las emisiones de vehículos automotores típicamente tendrán valores pico diferentes durante los traslados matutino y vespertino, pero caerán a niveles muy bajos en la madrugada (es decir, 1 a 6:00 am). Las emisiones de algunos establecimientos industriales están limitadas a un turno de ocho horas. Los perfiles de distribución por hora para estos dos ejemplos se muestran en la Figura 14-8 e indican la fracción de las emisiones diarias que ocurren cada hora. Independientemente de la variabilidad horaria, las 24 fracciones en el perfil por hora, deben sumar 1.00 (ó 100 por ciento).

#### 14.3.4. Emisiones específicas por día

En la mayoría de los inventarios de modelación es posible estimar la distribución temporal de las emisiones anuales en periodos de tiempo progresivamente más pequeños. Sin embargo, pueden existir algunas situaciones en las que sea necesario determinar las emisiones horarias específicas de un día en particular, que pueden utilizarse para modelar episodios de altos niveles de ozono (u otros contaminantes).

Las emisiones específicas se precisan con mayor detalle que las emisiones estimadas con perfiles temporales por omisión. Las emisiones específicas por día se generan utilizando los datos de actividad recopilados para un día y hora específicos. En general, estas emisiones son estimadas solamente para fuentes puntuales con horarios de operación y parámetros conocidos, si bien también es factible estimarlas para ciertos tipos de fuentes de área eventuales (p.ej., quemas agrícolas controladas, aplicación de plaguicidas, etc.). Las emisiones

FIGURA 14-8. EJEMPLO DE LOS PERFILES DE DISTRIBUCIÓN TEMPORAL POR HORA CORRESPONDIENTES A DOS FUENTES DE EMISIONES DE UNA COMUNIDAD HIPOTÉTICA



*Inventario de  
emisiones para  
modelación*

de un día específico también pueden estimarse para eventos extraordinarios (p.ej., eventos deportivos, incendios, etc.).

#### 14.3.5. Consideraciones sobre el tipo de fuente

En la determinación de la distribución temporal de emisiones, existen algunos aspectos que deben ser considerados para las diferentes fuentes, entre los que destacan los siguientes:

##### *Fuentes puntuales*

De manera ideal, podrán asignarse perfiles temporales, a nivel de proceso, para todas las fuentes puntuales. Sin embar-

go, la disponibilidad de los datos y/o las limitaciones de recursos pueden obligar a que los perfiles temporales sean asignados en un nivel menos refinado (es decir, nivel de establecimiento). Con este fin, deben conocerse los horarios reales de operación de las fuentes puntuales, cuya información puede obtenerse a través de encuestas, y que tienden a ser diferentes entre semana y en fines de semana.

*Distribución  
temporal*

### *Fuentes de área*

Las subcategorías de fuentes de área generalmente tienen un perfil temporal por omisión asignado por las herramientas de modelación de emisiones. Sin embargo, la distribución temporal de los procesos de emisión puede variar para cada región (p.ej., las emisiones ocasionadas por actividades agrícolas son diferentes en cada región climática debido a los tipos de cultivo y prácticas agrícolas; el pavimento con asfalto a veces se prohíbe durante los meses de verano en algunas regiones, etc.). Los perfiles temporales deben reflejar estas condiciones, por lo que antes de utilizar perfiles temporales por omisión, éstos deben ser evaluados, con el objetivo de determinar si son adecuados para los objetivos de un inventario de emisiones para modelación.

### *Vehículos automotores*

Los vehículos automotores en general presentan variaciones temporales considerables. La distancia recorrida varía de manera significativa de una estación a otra o de un mes a otro. Además, dependiendo de la región del inventario, los patrones de recorrido en los días de la semana pueden ser distintos a los de fin semana y los niveles de actividad vehicular en los días feriados son diferentes a los días hábiles. Por esta razón, es fundamental que los perfiles de distribución temporal para vehículos automotores reflejen con precisión la actividad vehicular real para los periodos de tiempo de interés específicos.

### *Fuentes naturales*

Si se utilizan modelos computacionales (p.ej., PCBEIS [modelo de emisiones biogénicas de la US EPA]) (U.S. EPA, 1998) para desarrollar inventarios de emisiones biogénicas o de otras fuentes naturales, la distribución temporal podría no ser necesaria, dado que ya ha sido incorporada en los modelos.

#### *14.3.6. Ejemplo de cálculos de distribución temporal de emisiones*

*Inventario de  
emisiones para  
modelación*

Las distribuciones temporales correspondientes a las seis fuentes de la comunidad descrita en el ejemplo se muestran en la Figura 14-9 (perfiles mensuales), la Figura 14-10 (perfiles semanales) y la Figura 14-11 (perfiles diarios). Con base en la información mencionada deberán estimarse las emisiones para la Hora 8 de un día de la semana en el verano.

Los datos de los perfiles correspondientes a las figuras 14-9, 14-10 y 14-11 se incluyen en el Apéndice F. Cabe resaltar que estos datos sirven únicamente para ejemplificar, mas no deben utilizarse como un modelo de distribución temporal en el desarrollo de inventarios de emisiones para modelación. Como un ejemplo del cálculo de las emisiones por hora, se ha elegido la octava hora [entre 7 am y 8 am] en un día hábil promedio de verano para vehículos automotores. Dichos cálculos se detallan en los siguientes tres pasos:

- Paso 1. Distribución temporal mensual y estacional
- Paso 2. Distribución temporal semanal
- Paso 3. Distribución temporal por hora

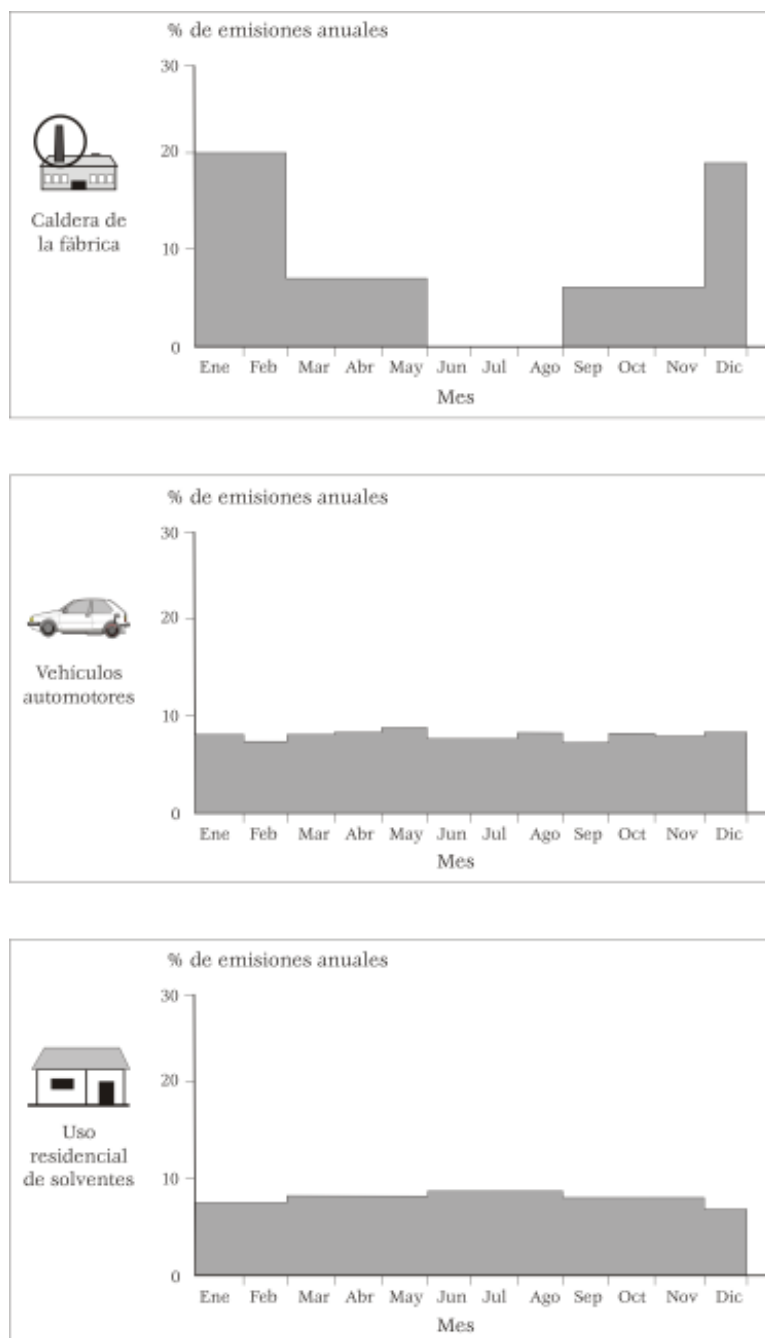
#### *Paso 1. Distribución temporal mensual y estacional*

Se ha estimado que, durante el año, la actividad de los vehículos se distribuye como se muestra en el cuadro 14-7.

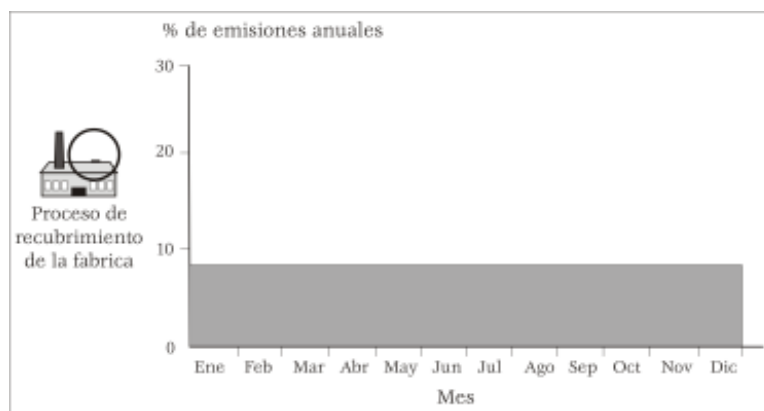
De la ecuación general para convertir las distribuciones temporales mensuales en distribuciones temporales estacionales, se tiene que las cuatro distribuciones tempora-

Distribución temporal

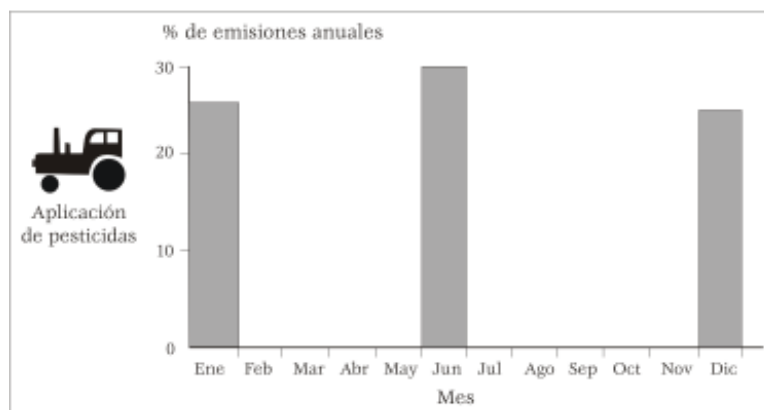
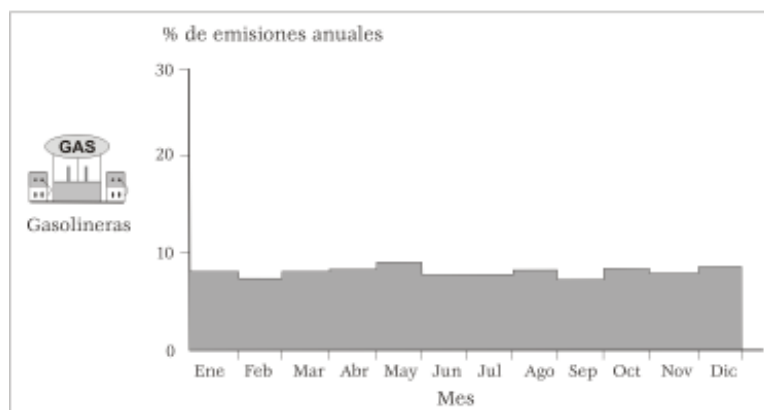
FIGURA 14-9. PERFILES DE DISTRIBUCIÓN TEMPORAL MENSUALES



CORRESPONDIENTES A FUENTES DE EMISIONES HIPOTÉTICAS

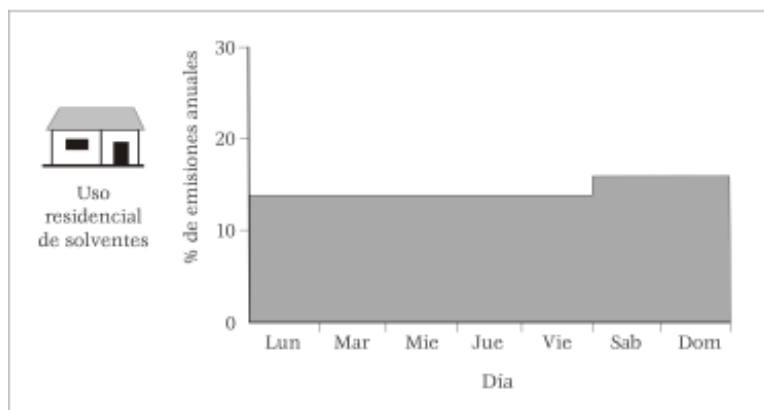
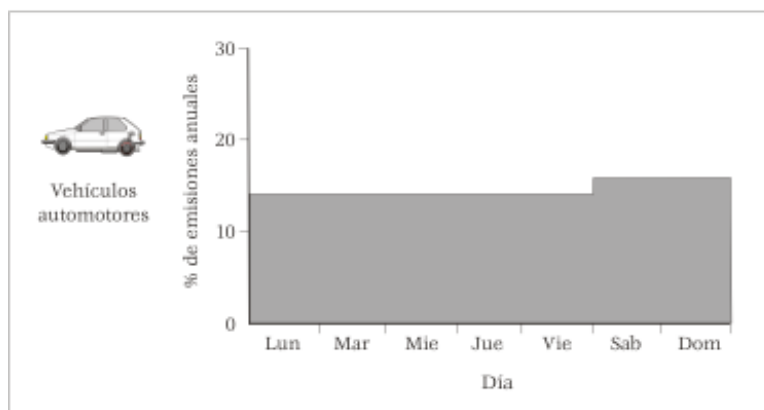
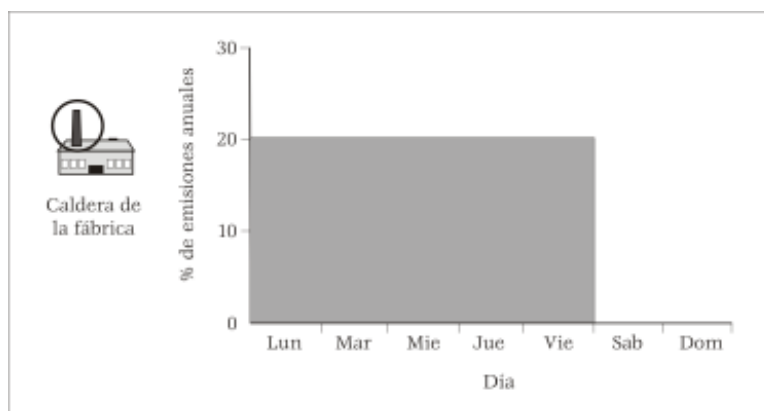


*Inventario de emisiones para modelación*



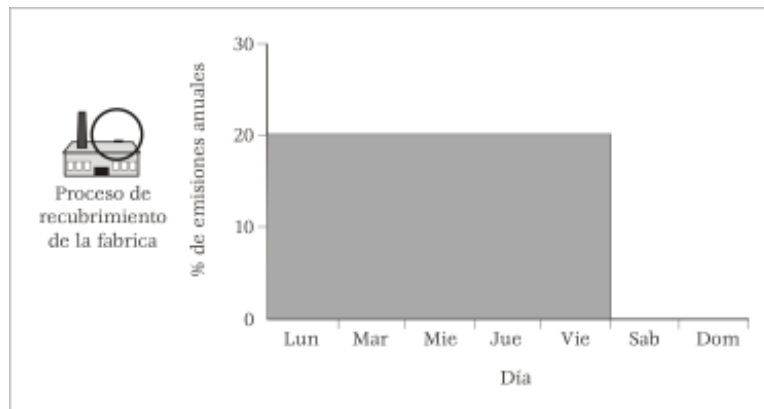
Distribución  
temporal

FIGURA 14-10. PERFILES DE DISTRIBUCIÓN TEMPORAL SEMANALES

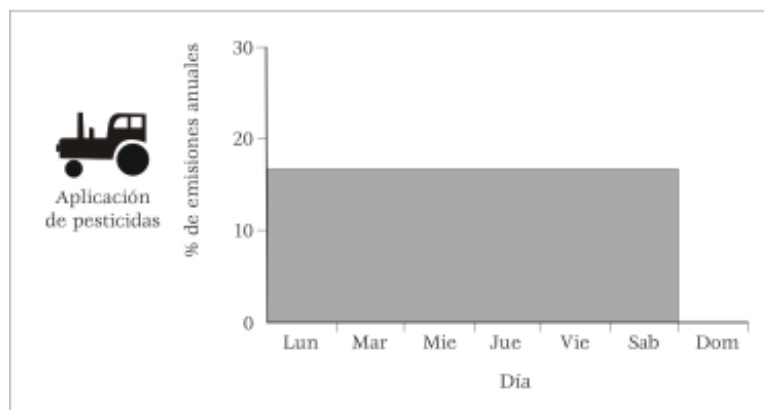
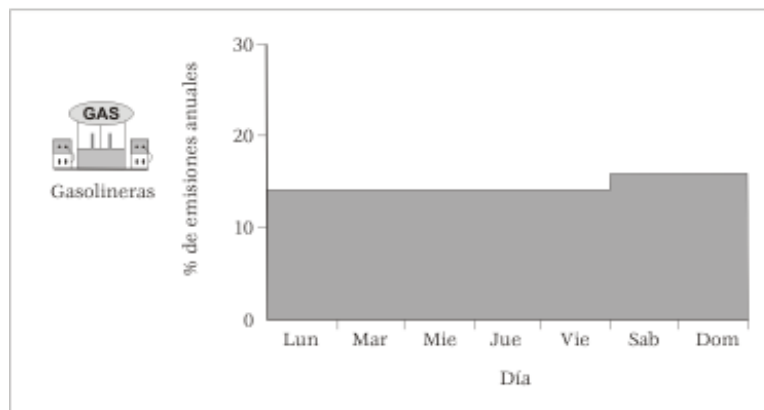




CORRESPONDIENTES A FUENTES DE EMISIONES HIPOTÉTICAS

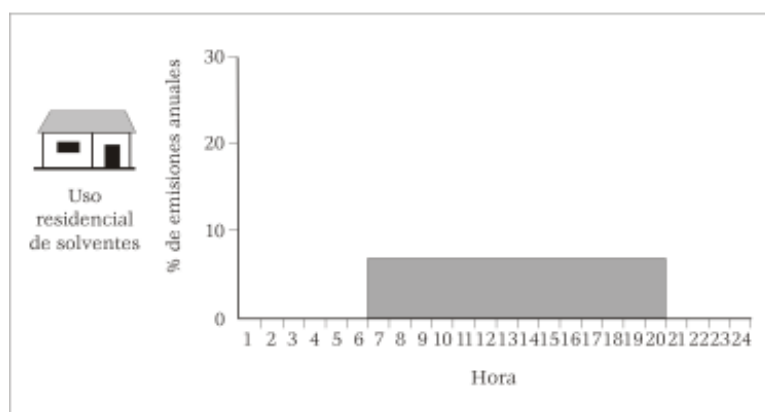
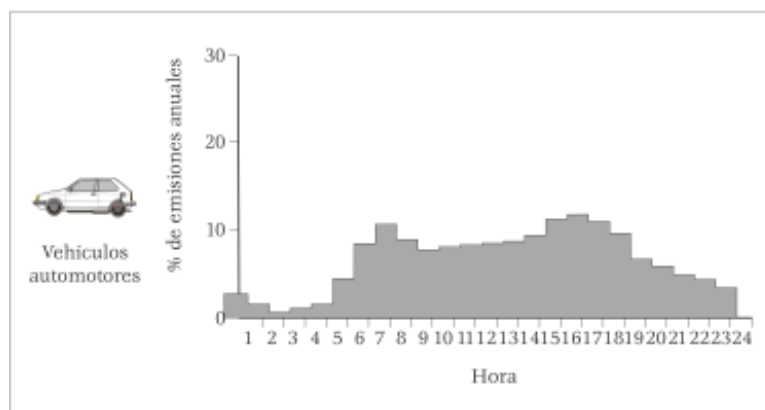
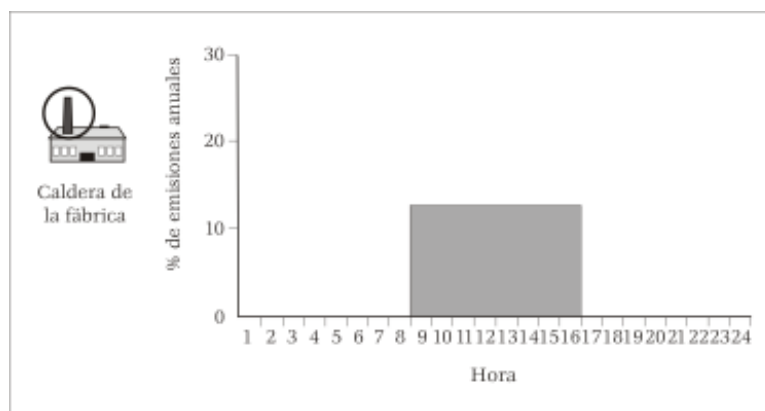


*Inventario de emisiones para modelación*

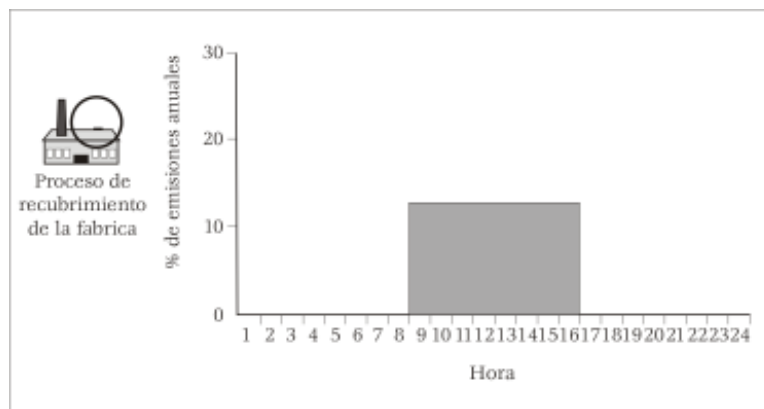


Distribución  
temporal

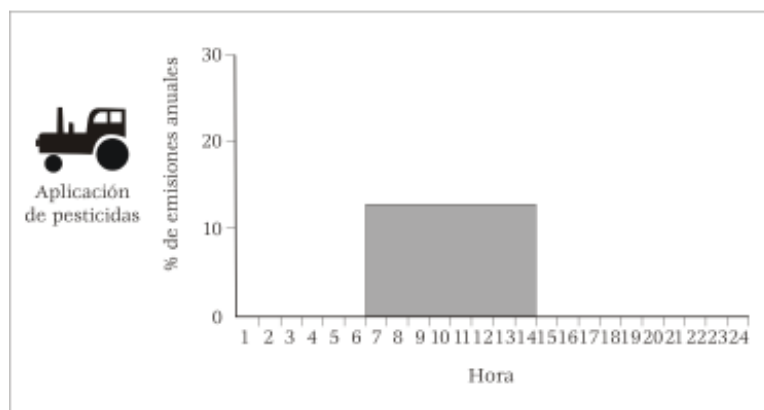
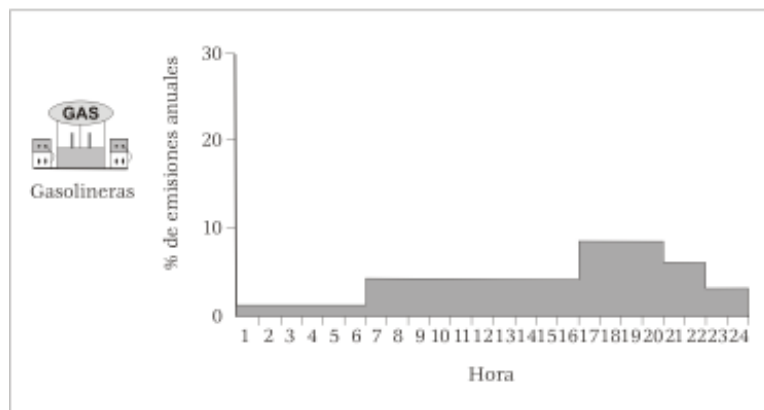
FIGURA 14-11. PERFILES DE DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DIARIOS



CORRESPONDIENTE A FUENTES DE EMISIONES HIPOTÉTICAS



*Inventario de emisiones para modelación*



les estacionales se calculan como se muestra a continuación (en este ejemplo, sólo se toma el dato de la distribución temporal estacional para el verano):

$$DT_{inv} = DT_{Dic} + DT_{Ene} + DT_{Feb} = 0.091 + 0.081 + 0.078 = 0.250$$

$$DT_{pri} = DT_{Mar} + DT_{Abr} + DT_{May} = 0.080 + 0.084 + 0.089 = 0.253$$

$$DT_{ver} = DT_{Jun} + DT_{Jul} + DT_{Ago} = 0.081 + 0.082 + 0.083 = 0.246$$

$$DT_{oto} = DT_{Sep} + DT_{Oct} + DT_{Nov} = 0.079 + 0.088 + 0.084 = 0.251$$

El cálculo para las distribuciones temporales estacionales puede ser revisado, como se muestra a continuación, para asegurar que fue ejecutado correctamente:

$$DT_{inv} + DT_{pri} + DT_{ver} + DT_{oto} = 0.250 + 0.253 + 0.246 + 0.251 = 1.000$$

Suponiendo emisiones anuales por vehículos automotores de 400 Mg/año de COT, 800 Mg/año de CO, y 600 Mg/año de NO<sub>x</sub> (como se definió previamente), las emisiones estacionales del verano se calculan de la siguiente manera:

$$E_{GOT,ver} = Anual_{GOT} \times DT_{ver} = 400 \text{ Mg/año} \times 0.246 = 98.4 \text{ Mg/año}$$

$$E_{CO,ver} = Anual_{CO} \times DT_{ver} = 800 \text{ Mg/año} \times 0.246 = 196.8 \text{ Mg/año}$$

$$E_{NOx,ver} = Anual_{NOx} \times DT_{ver} = 600 \text{ Mg/año} \times 0.246 = 147.6 \text{ Mg/año}$$

## Paso 2. Distribución temporal semanal

Se ha estimado que la distribución de la actividad semanal de los vehículos automotores se distribuye como se muestra en el cuadro 14-8.

De las ecuaciones generales para convertir la distribución temporal semanal en factores promedio para los días de la semana, sábados y domingos, se tiene que:

$$F_{ps} = F_{pd} \times (A_{ds}/0.1429) = 0.0110 \times (0.138/0.1429) = 0.0106 = 1.06\%$$

CUADRO 14-7. PERFIL DE DISTRIBUCIÓN TEMPORAL MENSUAL DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES

MES	FRACCIÓN DE LA ACTIVIDAD ANUAL
Enero	0.081
Febrero	0.078
Marzo	0.080
Abril	0.084
Mayo	0.089
Junio	0.081
Julio	0.082
Agosto	0.083
Septiembre	0.079
Octubre	0.088
Noviembre	0.084
Diciembre	0.091
Total	1.000

CUADRO 14-8. PERFIL DE DISTRIBUCIÓN TEMPORAL SEMANAL DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES

DÍA	FRACCIÓN DE LA ACTIVIDAD SEMANAL
Lunes	0.138
Martes	0.138
Miércoles	0.138
Jueves	0.138
Viernes	0.138
Sábado	0.155
Domingo	0.155
Total	1.000

CUADRO 14-9. PERFIL DE DISTRIBUCIÓN TEMPORAL POR HORA DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES

HORA	FRACCIÓN DE ACTIVIDAD DIARIA
1	0.016
2	0.010
3	0.003
4	0.006
5	0.010
6	0.026
7	0.053
8	0.064
9	0.055
10	0.048
11	0.050
12	0.052
13	0.054
14	0.055
15	0.059
16	0.070
17	0.074
18	0.070
19	0.058
20	0.046
21	0.037
22	0.033
23	0.028
24	0.022
Total	1.000

*Inventario de emisiones para modelación*



$$F_{\text{sab}} = F_{\text{pd}} \times (A_{\text{sab}}/0.1429) = 0.0110 \times (0.155/0.1429) = 0.0119 = 1.19\%$$

$$F_{\text{dom}} = F_{\text{pd}} \times (A_{\text{dom}}/0.1429) = 0.0110 \times (0.155/0.1429) = 0.0119 = 1.19\%$$

Donde:

$F_{\text{ps}}$  = factor de día de la semana

$F_{\text{sab}}$  = factor de Sábado

$F_{\text{dom}}$  = factor de Domingo

$A_{\text{ds}}$  = actividad promedio de día de la semana

$A_{\text{sab}}$  = actividad de Sábado

$A_{\text{dom}}$  = actividad de Domingo

$F_{\text{pd}}$  = factor promedio diario (1.00/91 días por estación)

0.1429 = fracción promedio diario de las emisiones semanales

Los cálculos de las distribuciones temporales semanales se verifican como se muestra a continuación, para asegurar que fueron ejecutados correctamente (donde el número de días de la semana en una estación es de 65, y el número de sábados y domingos correspondientes es de 13).

$$\begin{aligned} (65 \times F_{\text{ps}}) + (13 \times F_{\text{sab}}) + (13 \times F_{\text{dom}}) &= \\ &= (65 \times 0.0106) + (13 \times 0.0119) + (13 \times 0.0119) \\ &= 0.689 + 0.1547 + 0.1547 = 0.9984 \approx 1.00 \end{aligned}$$

Usando las emisiones de vehículos automotores calculadas para el verano (98.4 Mg/año de COT, 196.8 Mg/año de CO, y 147.6 Mg/año de NO<sub>x</sub>), y el factor de día de la semana calculado de 0.0106, las emisiones promedio para días de la semana en el verano se calculan de la siguiente manera:

$$E_{\text{COT,ver,ds}} = E_{\text{COT,ver}} \times F_{\text{ps}} = 98.4 \text{ Mg/año} \times 0.0106 = 1.043 \text{ Mg/día}$$

$$E_{\text{CO,ver,ds}} = E_{\text{CO,ver}} \times F_{\text{ps}} = 196.8 \text{ Mg/año} \times 0.0106 = 2.086 \text{ Mg/día}$$

$$E_{\text{NOx,ver,ds}} = E_{\text{NOx,ver}} \times F_{\text{ps}} = 147.6 \text{ Mg/año} \times 0.0106 = 1.565 \text{ Mg/día}$$

### *Paso 3. Distribución temporal por hora*

Se ha estimado que la actividad horaria de los vehículos automotores se distribuye como se muestra en el Cuadro 14-9.

Por convención, la Hora 1 se refiere a la primera hora del día (de la medianoche a la 01:00 AM); la Hora 2 se refiere a la segunda hora del día (de 01:00 AM a 02:00 AM), y así sucesivamente. Por lo tanto, la Hora 8 se refiere a la octava hora del día (de 07:00 AM a 08:00 AM).

Las emisiones horarias correspondientes a la Hora 8 para un día de la semana en la estación de verano, corresponden a lo siguiente:

$$E_{\text{COT,ver,ds,8}} = E_{\text{COT,ver,ds}} \times F_8 = 1.043 \text{ Mg/día} \times 0.064 = 0.067 \text{ Mg/hr}$$

$$E_{\text{CO,ver,ds,8}} = E_{\text{CO,ver,ds}} \times F_8 = 2.086 \text{ Mg/día} \times 0.064 = 0.134 \text{ Mg/hr}$$

$$E_{\text{NOx,ver,ds,8}} = E_{\text{NOx,ver,ds}} \times F_8 = 1.565 \text{ Mg/día} \times 0.064 = 0.100 \text{ Mg/hr}$$

*Inventario de  
emisiones para  
modelación*

Si bien los cálculos presentados en este ejemplo son prácticamente directos, debe señalarse que estos solo representan una categoría de fuente, durante una hora de un día, en una estación y un año específicos. Si se consideraran todas las estaciones del año, días, horas y categorías de fuentes, sería necesario ejecutar un gran número de cálculos, los cuales se incrementarían aún más si se consideraran los otros pasos del inventario para modelación (es decir, distribución espacial, especiación y proyecciones). Este gran volumen de cálculos requiere ser ejecutado a través de una computadora, y no manualmente, para reducir el tiempo de cálculo y el margen de error.

#### 14.4. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL

El segundo paso en el desarrollo de un inventario de modelación es la distribución espacial de las emisiones. Debido a que en los modelos de la calidad del aire se busca replicar los procesos físicos y químicos reales que se presentan en el dominio de un inventario, es importante que la ubicación física de las fuentes de emisión sea determinada con la mayor precisión posible. En una situación ideal, la

ubicación física de todas las emisiones se conocería con exactitud, sin embargo, en un inventario de modelación, la ubicación de las emisiones se aproxima de acuerdo a la propia subdivisión en celdas del dominio del inventario. En este sentido, siempre debe establecerse primero el dominio de modelación y su resolución espacial. La Figura 14-12 muestra el dominio del inventario de una comunidad (línea negra gruesa del perímetro), cuyas dimensiones son de 15 km por 15 km. El dominio de modelación para este ejemplo es un área rectangular que abarca todas las fuentes de emisión que se desea modelar. El dominio de modelación corresponde exactamente a los límites de la comunidad. Sin embargo, pueden asignarse mallas de modelación rectangulares a áreas con forma irregular.

#### 14.4.1. División espacial del dominio de un inventario de emisiones

El propósito del inventario de emisiones determinará el tamaño del dominio a ser utilizado. Por ejemplo, un inventario de contaminantes tóxicos del aire conducido para Ambos Nogales (Nogales, Sonora; y Nogales, Arizona) utilizó dominio relativamente pequeño (12 km por 19 km) (Radian, 1997). Dicho dominio fue determinado en congruencia con los límites del desarrollo urbano de ambas ciudades. En contraste, el inventario de emisiones desarrollado en apoyo a la *Grand Canyon Visibility and Transport Commission* (Comisión de Visibilidad y Transporte del Gran Cañón del Colorado) se extendió desde el sur de Canadá hasta el norte de México en la dirección Norte-Sur, y desde el Río Mississippi hasta el Océano Pacífico en la dirección Este-Oeste (Radian, 1995). En este caso se seleccionó un tamaño de dominio grande para manejar los problemas del transporte de contaminantes a larga distancia y sus impactos en la visibilidad de esta región. La selección del dominio puede ser influenciada por la topografía y/o meteorología locales. Por ejemplo, la topo-



El diagrama muestra un terreno rectangular dividido en tres secciones horizontales etiquetadas A, B y C. La sección A (inferior) contiene una carretera que serpentea con un coche y una camioneta, y una zona con edificios y una chimenea. La sección B (intermedia) está ocupada por una gran zona residencial con una cuadrícula de casas. La sección C (superior) contiene campos de cultivo con hileras de plantas verdes y una camioneta agrícola. Dimensiones y marcas: una flecha vertical a la izquierda indica 'Cuadrante del dominio'; una flecha horizontal a la derecha indica 'B 5 km'; una flecha horizontal superior indica 'C'; una flecha horizontal inferior indica 'A'; y una flecha vertical a la izquierda indica '3'. En la parte superior del diagrama, se encuentran las etiquetas 'Origen', '1', '2' y '5 km'.

257

grafía determina en muchos casos la selección del dominio de modelación. Además, la meteorología (p.ej., dirección de los vientos dominantes) puede ocasionar que el dominio del inventario de emisiones incluya determinadas fuentes consideradas relevantes en base a los procesos de dispersión de contaminantes.

El siguiente paso después de establecer la extensión del dominio consiste en determinar la resolución espacial, es decir, el tamaño de las celdas que lo conforman. Cada una de las nueve celdas que componen el dominio de la comunidad que se ilustra en la Figura 14-12, mide 5 km por 5 km. Las celdas son cuadradas (obviamente del mismo tamaño) en los modelos eulerianos que utilizan mallas o dominios de simulación fijas. Estos modelos tienen la capacidad de realizar anidamientos «nudging» que favorecen el cálculo de parámetros como las condiciones de frontera.

Los inventarios de emisiones de zonas metropolitanas extensas generalmente consideran celdas de 5 km por 5 km o mayores. En cambio, los inventarios para áreas metropolitanas relativamente más pequeñas pueden tener celdas de 1 km por 1 km o menores. El inventario de Ambos Nogales, por ejemplo, utilizó celdas de 500 m x 500 m dado que algunos de los monitores de la calidad del aire se encontraban muy cercanos entre sí, y se requería una resolución más fina para ubicarlos en celdas específicas. Por otro lado, el inventario del Gran Cañón usó celdas de 50 km por 50 km. En este caso, el uso de celdas más pequeñas habría requerido mayores recursos para el manejo de los datos. Es por esto que las ventajas y desventajas de los tamaños específicos de las celdas, deben ser analizadas con cuidado. De igual forma, si se van a emplear modelos tridimensionales de calidad del aire, será necesario definir la altura de las celdas, resolución vertical. Un modelo de dominio tridimensional puede utilizar de dos a cinco capas que representan diferentes alturas en la atmósfera, sin embargo, la mayoría de las emisiones se presentarán en la capa inferior, a nivel de piso.

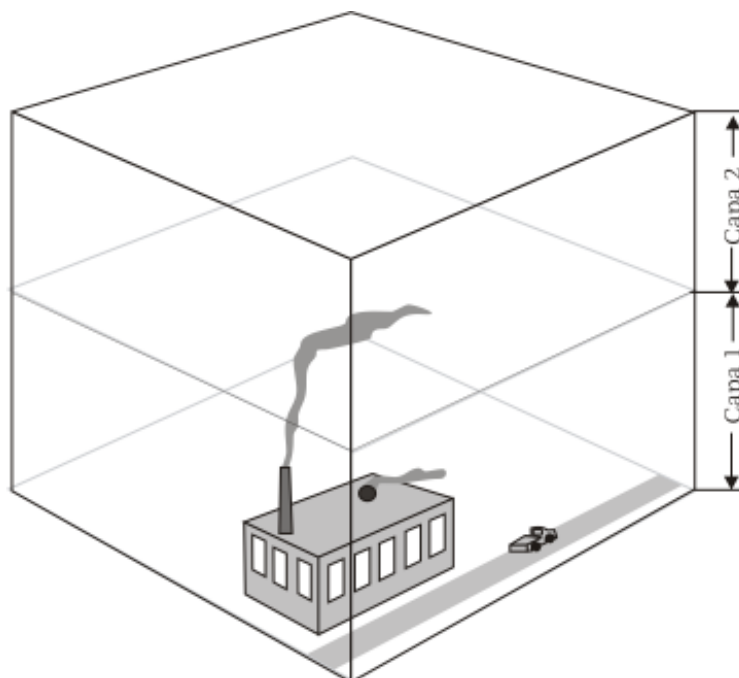
El paso final para establecer las características del dominio consiste en determinar el punto que servirá como origen de las coordenadas para denominar las celdas. Sin esta referencia, sería difícil ubicar, por ejemplo, «la octava celda en la sexta hilera». Se trata de ¿la sexta contando desde la parte superior o la inferior? ¿La octava celda de la derecha o de la izquierda? En general, por convención se ha adoptado a la esquina suroeste del dominio como el origen, y todas las celdas se numeran a partir de este punto. Las celdas se identifican de oeste a este (de izquierda a derecha), utilizando las letras del alfabeto, y de sur a norte (de abajo hacia arriba), con números. De esta forma, en la Figura 14-12, la «segunda celda en la tercer hilera», se refiere solamente a la celda B3.

Una vez definidas las dimensiones y la resolución del dominio del inventario, es posible estimar la distribución espacial de las emisiones, la cual puede referirse a la distribución horizontal y a la vertical. La distribución espacial horizontal se refiere a asignar las emisiones a la celda correspondiente, en tanto que la distribución espacial vertical se refiere a la asignación de las emisiones en las diferentes capas definidas de acuerdo a la altura. La distribución vertical está limitada a aquellas emisiones que son arrojadas desde una altura elevada con una velocidad de salida significativa.

Para efectos prácticos, la distribución vertical, sólo se considera cuando existen fuentes puntuales grandes con chimeneas elevadas. La Figura 14-13 muestra un ejemplo de distribución vertical de una fuente de emisiones industrial, donde las emisiones de la chimenea se elevan hasta la capa 2, lo que indica una velocidad de salida relativamente alta. En cambio, las emisiones de venteo en la parte superior del techo de la misma fuente puntual, permanecen dentro de la capa 1; con una velocidad de salida más baja. La Figura 14-13 también muestra emisiones de vehículos automotores que permanecen en la misma capa 1.

Distribución  
espacial

FIGURA 14-13. DISTRIBUCIÓN VERTICAL DE EMISIONES DE FUENTES PUNTUALES Y  
VEHÍCULOS AUTOMOTORES



#### 14.4.2. Consideraciones sobre el tipo de fuente

En la determinación de la distribución espacial de las emisiones, existen algunos aspectos que deben ser considerados para ciertos tipos de fuentes, entre los que destacan los siguientes:

##### *Fuentes puntuales*

Las fuentes puntuales son, por definición, fuentes de emisiones que tienen un punto de emisión específico e identificable, el cual debe registrarse con base en los datos de ubicación y parámetros de la chimenea. En general, se caracteriza la distribución espacial de las emisiones de fuentes puntuales mediante las coordenadas de proyección del Mercator Universal Transverso (UTM, por sus siglas en inglés). La

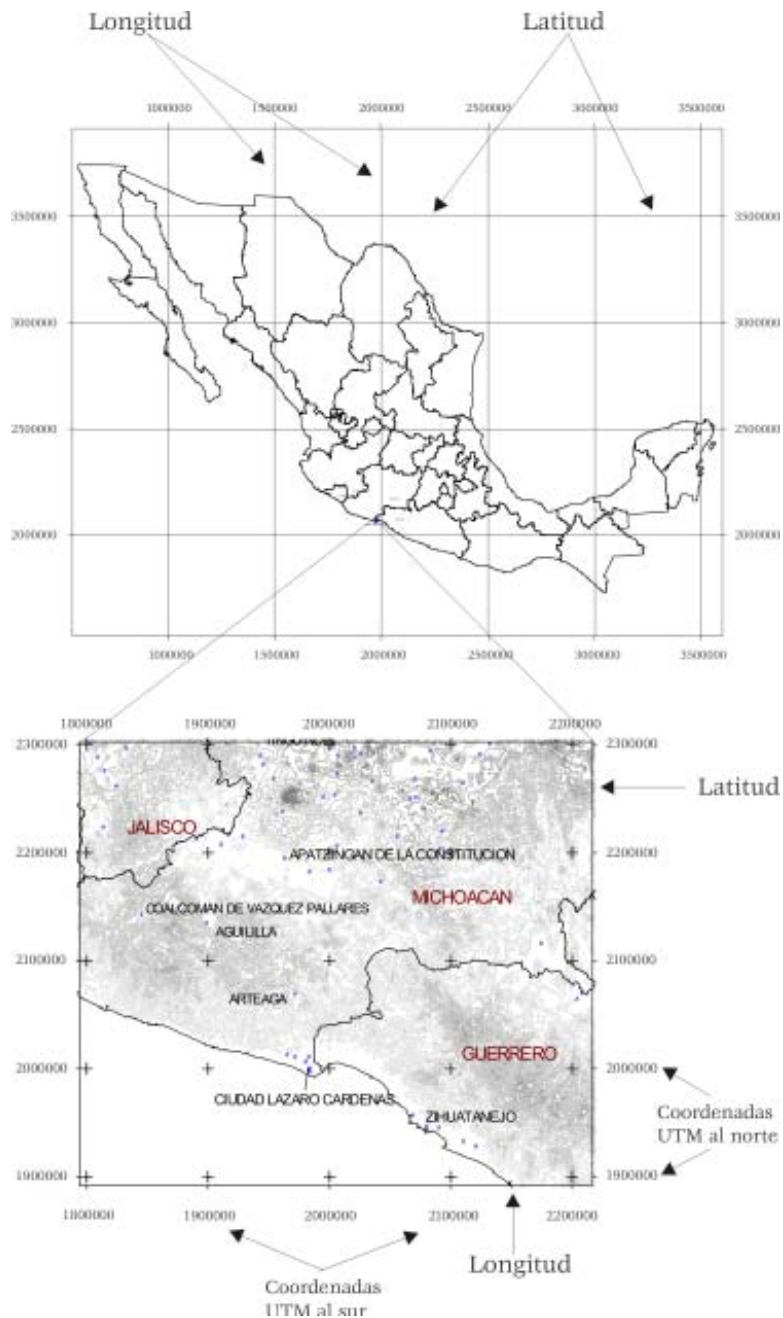
ubicación de las emisiones en coordenadas de latitud y longitud u otros sistemas de coordenadas geográficos debe ser transformada a coordenadas UTM. Esta transformación se realiza normalmente con una aplicación tipo SIG que cuente con esta herramienta (p.ej., *ArcInfo*<sup>™</sup>). La Figura 14-14 presenta un ejemplo de comparación de las coordenadas UTM y de latitud y longitud en la zona de Ciudad Lázaro Cárdenas, Michoacán. Algunos mapas pueden proporcionar las coordenadas UTM. Más recientemente, los sistemas de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés) se han convertido en un medio económico para identificar las coordenadas UTM. Idealmente, cada fuente puntual individual (p.ej., chimeneas, venteos, etc.) debe identificarse con precisión al nivel de equipo, y ubicarse en el dominio de modelación. Sin embargo, este nivel de detalle en ocasiones no está disponible. En tales casos, las emisiones se ubican en una base menos refinada (es decir, nivel de proceso o nivel de establecimiento), tal como se requiere actualmente en las instalaciones de jurisdicción federal a través de la COA.

*Inventario de  
emisiones para  
modelación*

La distribución espacial vertical de las emisiones de fuentes puntuales está determinada por los parámetros de chimenea (es decir, altura y diámetro de la chimenea, flujo volumétrico, velocidad de salida y temperatura de salida de los gases), los cuales son utilizados por los modelos de calidad del aire para estimar la altura de la pluma y la trayectoria de las emisiones. Las emisiones de chimeneas con velocidades y/o temperaturas elevadas de salida tenderán a elevarse a una mayor altitud que aquellas de chimeneas con velocidades y/o temperaturas de salida menores. Con el fin de incorporar estos datos en una modelación, es importante recopilar estos parámetros de chimenea cuando se estiman las emisiones de las fuentes puntuales. Esta información es de suma importancia, ya que la experiencia indica que es frecuente la obtención de resultados erróneos en la aplicación de modelos de calidad del aire por el uso de parámetros de entrada equivocados. Por ejemplo, en los EUA se ha estimado que aproxi-

Distribución  
espacial

FIGURA 14-14. COMPARACIÓN DE LAS COORDENADAS UTM, DE LATITUD Y LONGITUD EN LÁZARO CÁRDENAS, ESTADO DE MICHOACÁN



madamente del 20% al 30% de los parámetros de chimenea incluidos en inventarios de emisiones tienen comúnmente uno o más datos incorrectos (U.S. EPA, 1999b). Algunos ejemplos de parámetros de chimenea cuestionables incluyen alturas de más de 400 metros, velocidades de salida supersónicas y temperaturas del gas de salida más bajas que la temperatura ambiente.

### *Fuentes de área y naturales*

*Inventario de  
emisiones para  
modelación*

La principal diferencia entre las emisiones de fuentes puntuales y las emisiones de fuentes de área y naturales es que las primeras son emitidas desde una ubicación individual específica, mientras que las segundas lo hacen desde un gran número de ubicaciones dispersas. La identificación de todos los puntos de emisión asociados con las fuentes de emisión de área y naturales es poco práctica, si no imposible; por lo tanto, para estas fuentes se utiliza un método indirecto de distribución espacial. Este método incluye el uso de información auxiliar para la extrapolación, entre los que se incluye la población, vivienda, uso del suelo, etc. Se considera que esta información auxiliar para la extrapolación representa de manera aproximada la distribución espacial de las emisiones en todo el dominio de un inventario de emisiones.

Por ejemplo, típicamente se considera que la población es un factor de información auxiliar para extrapolar la distribución de las emisiones del uso de solventes al nivel del sector residencial, debido a que los usuarios de solventes es la población en general. Por otro lado, es probable que la población no sea un factor de información auxiliar adecuado para determinar la distribución de las emisiones agrícolas, debido a que no toda la población está relacionada con las actividades agrícolas. En el primer caso, si se tiene un dominio de inventario que contiene sólo cuatro celdas (p.ej., A, B, C, y D), puede suponerse que las emisiones de solvente a nivel consumidor están proporcionalmente relacionadas con la población. Por ejemplo, si se tiene una población que se distribuye

Distribución  
espacial

CUADRO 14-10. DATOS DE POBLACIÓN  
COMO PARÁMETRO DE INFORMACIÓN  
AUXILIAR PARA LA EXTRAPOLACIÓN DE  
EMISIONES DE SOLVENTES

CELDA	POBLACIÓN (NUM. DE HABITANTES)
A	103,800
B	26,900
C	57,200
D	71,500
Total	259,400

CUADRO 14-11. FACTORES PARA LA  
EXTRAPOLACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN  
ESPACIAL DE EMISIONES DE SOLVENTES  
DE CONSUMO GENERAL

CELDA	FACTOR PARA LA EXTRAPOLACIÓN
A	0.4002
B	0.1037
C	0.2205
D	0.2756
Total	1.0000

en las cuatro celdas conforme se indica en el Cuadro 14-10, entonces puede estimarse un factor para la extrapolación de las emisiones de solventes con base en la suposición anterior.

El factor de distribución espacial para la Celda A se calcula dividiendo la población para la Celda A entre la población total para las cuatro celdas ( $103,800/259,400 = 0.4002$ ). Los factores de distribución espacial para las otras tres celdas se calculan de la misma manera, con el resultado que se indica en el Cuadro 14-11.

Con el objetivo de determinar la distribución espacial de un inventario de emisiones completo, será necesario asignar un factor de información auxiliar para la extrapolación único a cada subcategoría de fuente de área. Debe señalarse que todas las emisiones de fuentes de área y naturales se suponen al nivel del piso y, por tanto, su distribución espacial está limitada a una distribución horizontal. Algunas fuentes de emisiones naturales (p.ej., emisiones biogénicas), con frecuencia pueden ser estimadas utilizando un modelo de emisiones (p.ej., PCBEIS), que a menudo incluye la distribución espacial en el proceso de cálculo. Tales modelos normalmente incluyen información sobre el uso del suelo y cobertura vegetal para estimar las emisiones con base en un área geográfica determinada.



### *Vehículos automotores, ferrocarriles y embarcaciones marítimas*

Si bien las fuentes móviles (incluyendo vehículos automotores y fuentes móviles que no circulan por carreteras) algunas veces son agrupadas con las fuentes de área en un inventario, su distribución espacial es diferente. De manera específica, la operación de muchas fuentes móviles está limitada a redes de transporte lineales (p.ej., los vehículos automotores se asocian con las redes carreteras, los ferrocarriles con los sistemas ferroviarios y las embarcaciones marítimas comerciales con rutas oceánicas específicas).

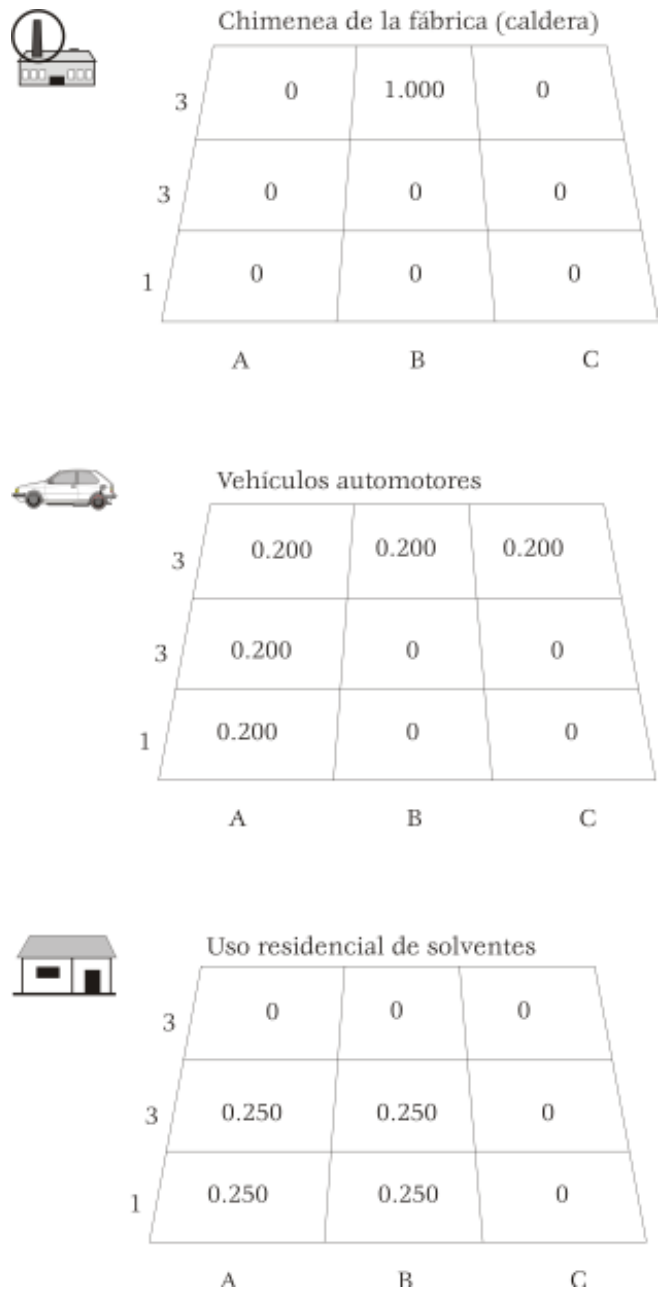
*Inventario de  
emisiones para  
modelación*

La actividad de los vehículos automotores que circulan por carretera (determinada a través de parámetros como kilómetros vehículo recorridos - *Vehicle Kilometers Traveled* (VKT, por sus siglas en inglés)-, número de viajes, arranques, etc.), puede estimarse con base en modelos de demanda de recorrido (*Travel Demand Model* - TDM, por sus siglas en inglés) u otros modelos de transporte. Estos modelos de transporte pueden ser utilizados para distribuir los datos de actividad (por ejemplo, VKT) en segmentos individuales de la red, ya que el inventario de emisiones para modelación requiere tener las emisiones asignadas a las coordenadas UTM específicas (para las fuentes puntuales) o a celdas específicas (para todas las demás fuentes, incluidas las vehiculares). En este sentido, las emisiones de vehículos automotores pueden distribuirse espacialmente en celdas específicas dependiendo de la actividad relevante que ocurre en dichas celdas.

Los datos de actividad o información auxiliar para la extrapolación pueden dividirse, de manera fraccional, en múltiples celdas con base en la fracción de la actividad dentro de cada celda. Esto es que, a cada una de las celdas de un segmento de camino que atraviese tres celdas y cuya actividad de vehículos automotores esté distribuida homogéneamente en toda su extensión, le será asignado un tercio de las emisiones totales del segmento.

FIGURA 14-15. INFORMACIÓN AUXILIAR PARA LA EXTRAPOLACIÓN DE DATOS

*Distribución espacial*



EN UN INVENTARIO DE EMISIONES PARA MODELACIÓN



Proceso de recubrimiento de la fabrica

3	0	1.00	0
3	0	0	0
1	0	0	0
	A	B	C

*Inventario de  
emisiones para  
modelación*



Gasolineras

3	0.667	0	0
3	0	0	0
1	0.333	0	0
	A	B	C



Uso de pesticidas agrícolas

3	0	0	0
3	0	0	0.500
1	0	0	0.500
	A	B	C

#### 14.4.3. Ejemplo de cálculos de distribución espacial de emisiones

La distribución espacial de emisiones se realiza una vez que se ha determinado información auxiliar para la extrapolación y se cuenta con una distribución de dichos datos correspondientes a todas las celdas del dominio del inventario de emisiones. Tomando como ejemplo el dominio del inventario de emisiones de la comunidad que se ilustra en la Figura 14-12, se requiere asignar información auxiliar para la extrapolación en las diferentes celdas para los distintos tipos de fuentes de emisión que el inventario considera. Dicha información auxiliar para la extrapolación se indica en la Figura 14-15, donde para cada tipo de fuente se asigna una distribución espacial de fracciones de actividad, cuya suma en el dominio del inventario debe ser igual a uno. Los valores otorgados representan la fracción de emisiones de cada celda respecto del dominio del inventario. Si en una celda no existen emisiones, la fracción correspondiente se indica con un cero. Debe observarse que este ejemplo no incluye coordenadas UTM ni otras coordenadas geográficas para la chimenea y venteo de la fábrica, dado que su ubicación se señala a través de su localización en la celda B3.

La base de datos correspondiente a las figuras 14-12 y 14-15 se incluyen en el Apéndice F. Cabe resaltar que estos datos sirven únicamente para ejemplificar, mas NO deben utilizarse en el desarrollo de inventarios de emisiones para modelación. Como un ejemplo del cálculo de la distribución espacial de las emisiones anuales, se ha considerado que vehículos automotores atraviesan el dominio del inventario, como se muestra en la Figura 14-12, y pasan por cinco celdas (A1, A2, A3, B3 y C3). En este caso la información auxiliar para la extrapolación puede aplicarse directamente a las emisiones anuales, los cuales se indican en la Figura 14-15, en las celdas donde se localizan vehículos automotores. Si suponemos que la distancia fraccional del segmento del camino y

la actividad de vehículos automotores está distribuida de manera homogénea entre estas cinco celdas, se tiene que el factor de información auxiliar para la extrapolación correspondiente a cada celda es del 20% de las emisiones totales. Por lo tanto, la ecuación para determinar la distribución espacial de las emisiones es la siguiente:

$$E_{xy} = \text{Anual} \times SS_{x,y}$$

Donde:

$E_{xy}$  = Emisiones anuales en la celda x, y (Mg/año)

Anual = Emisiones anuales para todo el dominio (Mg/año)

$SS_{x,y}$  = Fracción del factor de información auxiliar para la extrapolación para la celda x, y.

*Inventario de  
emisiones para  
modelación*

Con base en las emisiones previamente definidas en el Cuadro 14-11 y aplicando la ecuación descrita, las emisiones de COT, CO y  $\text{NO}_x$  para los vehículos automotores en la Celda A1 se calculan como sigue:

$$E_{\text{COT},A1} = \text{Anual}_{\text{COT}} \times SS_{A1} = 400\text{Mg/año} \times 0.200 = 80\text{Mg/año}$$

$$E_{\text{CO},A1} = \text{Anual}_{\text{CO}} \times SS_{A1} = 800\text{Mg/año} \times 0.200 = 160\text{Mg/año}$$

$$E_{\text{NO}_x,A1} = \text{Anual}_{\text{NO}_x} \times SS_{A1} = 600\text{Mg/año} \times 0.200 = 120\text{Mg/año}$$

La distribución de las emisiones totales en las otras cuatro celdas que consideran vehículos automotores (es decir, Celdas A2, A3, B3 y C3) se realiza con cálculos similares, aplicando la correspondiente fracción del factor de información auxiliar para la extrapolación.

#### 14.5. ESPECIACIÓN QUÍMICA

El tercer paso en el desarrollo de inventarios para modelación es la especiación química, que consiste en desagregar los contaminantes del inventario (p.ej., COT,  $\text{NO}_x$ ) en sustancias o especies químicas individuales (p.ej., tolueno,  $\text{NO}_2$ ) o grupos de especies químicas. La necesidad de la especiación es deter-

minada por el propósito del inventario. Por ejemplo, los modelos fotoquímicos de calidad del aire, los inventarios de contaminantes tóxicos del aire, los modelos de balance de masa química y los modelos de visibilidad requieren una especiación detallada. Esta sección describe los diferentes procedimientos de especiación para diversos contaminantes y tipos de fuente.

Dependiendo de su propósito, un inventario de emisiones particular puede incluir COT,  $\text{NO}_x$ , óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ), CO, partículas suspendidas totales (PST), partículas de diámetro inferior o igual a 10 micras ( $\text{PM}_{10}$ ), o amoníaco ( $\text{NH}_3$ ). Sin embargo, el inventario para modelación puede requerir que estas emisiones sean expresadas en términos de otros contaminantes. Por ejemplo, en la mayoría de los modelos fotoquímicos es necesario que las emisiones de hidrocarburos se expresen en términos de grupos de actividad determinados o «clases» de compuestos. Asimismo, algunos modelos pueden requerir que las emisiones de  $\text{NO}_x$  sean especificadas como NO y  $\text{NO}_2$ . Por otro lado, también podría ser necesario que las partículas o material particulado (PM) se desglosen en varias fracciones de tamaño, tales como  $\text{PM}_{10}$  y partículas de diámetro inferior o igual a 2.5 micras ( $\text{PM}_{2.5}$ ).

Los inventarios para modelación pueden desarrollarse utilizando una especiación discreta (p.ej., para contaminantes tóxicos del aire), o una especiación agrupada (p.ej., para modelos fotoquímicos). En general, el mecanismo de especiación pertinente depende del propósito del inventario y se determina por el modelo de calidad del aire que se quiere aplicar. Como una referencia, pueden considerarse las guías de la EPA al respecto de los dos métodos de especiación más comunes (U. S. EPA, 1999b):

- *Especiación Discreta*: se refiere al desglose de las emisiones de un contaminante particular en compuestos químicos o clasificaciones de tamaño individuales. Por ejemplo, las emisiones de COT de los escapes de vehículos automotores pueden estar integradas por 50 o más compuestos orgánicos identificados (p.ej., benceno, hexano,

formaldehído). La especiación discreta utiliza perfiles de especiación que contienen fracciones de peso para cada compuesto químico.

- *Especiación de Modelo Agrupado*: se refiere al desglose de las emisiones para un contaminante en grupos de componentes que representan numerosos compuestos discretos. Estos grupos incluyen diversas especies afines. En el caso de COT, las especies de modelo agrupado se desarrollan con factores de separación que son específicos para el tipo de mecanismo químico empleado por el modelo fotoquímico a ser utilizado ver Cuadro 14-12.

#### 14.5.1. Perfiles de especiación para COT y PM

Existen perfiles de especiación discreta para las emisiones de COT y PM provenientes de diversos tipos de fuentes, si bien cabe señalar que, previo a su aplicación, podría ser necesario ajustar las emisiones para tomar en cuenta cualquier componente que no haya sido incluido en el inventario de emisiones. Por ejemplo, los GOR pueden ser ajustados como COT (conversión GOR a COT). Este ajuste es necesario porque los factores de emisión para ciertas categorías de fuentes excluyen al metano y formaldehído y, por lo tanto, representan sólo los componentes reactivos, o GOR; sin embargo, la mayoría de los perfiles de especiación se aplican bajo el supuesto de que las emisiones representan los COT.

Como se explica con detalle en el capítulo 5, las sustancias químicas que se consideran fotoquímicamente reactivas se denominan GOR. Por definición, los GOR son un subconjunto de los COT; fotoquímicamente activos, integrados por hidrocarburos que pueden contribuir a la formación de *smog*. En algunos casos, los GOR también son conocidos como COVs. Los factores de emisión publicados en el AP-42 de la EPA (U. S. EPA, 1995) se presentan tanto como COT como GOR/COV. Otras definiciones de hidrocarburos que ocasionalmente aparecen en la literatura de calidad del aire y de los factores de emisión incluyen: gases orgánicos no metánicos (NMOG), hidrocarburos

no metánicos (NMHC), hidrocarburos totales (THC), e hidrocarburos (HC), tal como se ilustra en la Figura 5-1 (ver capítulo 5).

La información sobre especiación química y distribución de tamaño de partículas está disponible a través de la base de datos SPECIATE de la EPA, que contiene los perfiles de especiación para COT y PM para más de 300 tipos de fuentes. Los perfiles de especiación mencionados representan la base de información necesaria para estimar la distribución de las emisiones COT o PM totales de una fuente particular en compuestos individuales (en el caso de COT), o en elementos y tamaños de fracción (para PM). Este desglose ha sido desarrollado para utilizarse en algunos modelos fotoquímicos y modelos de receptores (principalmente para PM). Cabe señalar que estos perfiles no fueron desarrollados y su uso no se recomienda para la especiación de emisiones para inventarios de contaminantes tóxicos del aire. Por otra parte, el Sistema de Recuperación de Datos de Información de Factores de la EPA -FIRE- (*Factor Information Retrieval Data System*) contiene los factores de emisión recomendados para contaminantes criterio y para contaminantes tóxicos del aire.

CUADRO 14-12. ESPECIES ORGÁNICAS CONSIDERADAS EN MODELOS FOTOQUÍMICOS  
TIPO CB-IV

ESPECIES ORGÁNICAS	ID DE LASE ESPECIES ORGÁNICAS
Olefinas	OLE
Parafinas	PAR
Tolueno	TOL
Xileno	XYL
Formaldehído	FORM
Aldehídos de alto peso molecular	ALD2
Etileno	ETH
Metanol	MEOH
Etanol	ETOH
Isopreno	ISOP
No Reactivo	NR



Los datos de especiación también pueden ser generados para aplicaciones específicas de un sitio, o por otras entidades normativas. Por ejemplo, el Consejo de Recursos del Aire de California –CARB- (*California Air Resources Board*), ha compilado perfiles de especiación para COT y PM (ARB, 1991a; ARB, 1991b), y mantiene una iniciativa permanente para actualizar los datos de las fracciones de tamaño y la composición química de los perfiles de PM, para una gran variedad de categorías de fuentes de emisión. Recientemente, CARB ha desarrollado perfiles COT para el escape y evaporación de vehículos automotores, escapes de maquinaria estacionaria, escapes diesel y escapes de motores de turbina en aeronaves.

*Inventario de  
emisiones para  
modelación*

#### *14.5.2. Grupos de reactividad fotoquímica*

La especiación de sustancias químicas en grupos de reactividad es muy importante en los modelos fotoquímicos de calidad del aire, debido a que algunas especies de GOTs son mucho más reactivas que otras, lo cual se refleja en los mecanismos utilizados por los modelos. Si bien se ha desarrollado una gran cantidad de mecanismos químicos, actualmente los dos más utilizados en los modelos fotoquímicos son los siguientes:

- *Carbon Bond IV* - CB-IV (Enlace de Carbono IV)
- *California Statewide Air Pollution Research Center*-SAPRC- (Centro de Investigación de la Contaminación del Aire del Estado de California)

El mecanismo CB-IV requiere que las emisiones de COT sean desagregadas en emisiones de especies agrupadas con base en la estructura de los enlaces de carbono. En cambio, en el mecanismo SAPRC, los compuestos son agrupados con base en su reactividad relativa con el radical hidroxilo ( $\text{OH}^\cdot$ ). En los cuadros 14-12 y 14-13, se enlistan los grupos e identificadores de las distintas especies químicas en modelos de tipo CB-IV y SAPRC.

CUADRO 14-13. ESPECIES ORGÁNICAS CONSIDERADAS EN MODELOS FOTOQUÍMICOS  
DE TIPO SAPRC

Distribución espacial	Especies Orgánicas	ID de las Especies Orgánicas
	Formaldehído	HCHO
	Aldehídos superiores	CCHO
	Cetonas	MEK
	Alquil-nitritos	RNO3
	Nitratos de peroxiacil (PAN) Análogos	PAN
	Fenoles	CRES
	Glioxal	GLY
	Metil glioxal	MGLY
	Fragmentación aromática no caracte- rizada Producto #1	AFG1
	Fragmentación aromática no caracte- rizada producto #2	AFG2

Otros mecanismos de modelos fotoquímicos son el *Regional Acid Deposition Model Mechanism*-RADM2- (Mecanismo de modelación de Depositación Ácida Regional) y el *Regional Atmospheric Chemistry Mechanism* –RACM- (Mecanismo de modelación de Química Atmosférica Regional). Estos mecanismos de modelación se utilizan en el modelo de calidad del aire a escala regional MCCM, desarrollado por el *Fraunhofer-Institut für Atmosphärische Umweltforschung* –IFU- de Alemania (Instituto Fraunhofer de Investigación Ambiental Atmosférica).

La distribución de las emisiones por especies químicas se determina con base en factores de separación (*split factors*), que representan la cantidad (en moles) por gramo (mol/gr) de COT de los distintos grupos de especies químicas considerados en los modelos. Para cada fuente o categoría de fuente que emite COT, deben definirse dos o más porcentajes (sumando un total de 100 por ciento), cada uno correspondiente a la fracción de COT que representa la emisión de cada especie o grupo de especies químicas del modelo.

#### 14.5.3 .Especiación de NO<sub>x</sub>

Algunos modelos fotoquímicos suponen que todos los NO<sub>x</sub> son emitidos en forma de NO, que es la forma predominante de óxidos de nitrógeno emitida por los procesos de combustión. Sin embargo, para los modelos que requieren una diferenciación entre NO y NO<sub>2</sub>, deben aplicarse factores de separación. Para cada fuente o categoría de fuente que emite NO<sub>x</sub>, deben definirse dos porcentajes (que sumen un total de 100 por ciento): uno correspondiente a la fracción de NO<sub>x</sub> emitida como NO, y el otro correspondiente a la fracción emitida como NO<sub>2</sub>. De ahí la importancia de que los inventarios de emisiones para modelación indiquen la forma en que se reportan los NO<sub>x</sub>. Las emisiones de NO<sub>x</sub> comúnmente se expresan «como NO<sub>2</sub>», lo que significa que un peso molecular de 46 se atribuye tanto al NO como al NO<sub>2</sub>, aunque el verdadero peso molecular del NO es de 30. El valor real para las emisiones de NO por peso es de 30/46 (ó 0.65) veces el valor del NO reportado «como NO<sub>2</sub>.»

*Inventario de  
emisiones para  
modelación*

Actualmente existen pocas referencias que definan los factores de separación para desglosar los NO<sub>x</sub> en NO y NO<sub>2</sub> (Milligan et al., 1997). Como regla general, se supone que el 97 por ciento (por peso como NO<sub>2</sub>) de los NO<sub>x</sub> emitidos en calderas corresponde a NO. Los factores de separación por omisión para todas las fuentes (incluyendo vehículos automotores) con frecuencia se dan como 90% en peso de NO (como NO<sub>2</sub>), y 10% por peso de NO<sub>2</sub>.

#### 14.5.4. Distribución del tamaño de PM

La información base sobre la distribución del tamaño de las partículas suspendidas que se utiliza en los inventarios de emisiones para modelación de PM<sub>10</sub> ó PM<sub>2.5</sub> y compuestos relacionados con la visibilidad, está disponible a través de la base de datos SPECIATE de la EPA. También pueden obtenerse datos de la distribución de tamaño de partículas suspendidas de varias fuentes de emisión en el *California Emission*

*Inventory Development and Reporting System* –CEIDARS– (Sistema de Desarrollo y Reporte de Inventarios de Emisiones de California). Con base en dicha información de distribución de tamaño de partículas, las emisiones de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  pueden estimarse multiplicando las emisiones PM totales por la fracción de masa del tamaño de partícula correspondiente.

Una porción potencialmente significativa de las partículas finas (es decir,  $PM_{2.5}$ ) está integrada por carbono elemental (Cele) y carbono orgánico (Corg). Estos dos tipos de partículas son especialmente importantes para los inventarios de modelación relacionados con la visibilidad, debido a sus propiedades de dispersión y extinción de la luz. Algunas fuentes de información sobre especiación de Cele y Corg son la base de datos SPECIATE de la EPA, los perfiles de especiación de COV y PM de CARB, y el inventario para modelación de emisiones de Cele/Corg desarrollado para la Cuenca Atmosférica de la Costa del Sur de California (*California's South Coast Air Basin*) por el Instituto de Tecnología de California (*California Institute of Technology*) (Hildemann et al., 1991).

#### 14.5.5. Otros contaminantes

Si bien la especiación es de particular importancia tratándose de hidrocarburos,  $NO_x$  y PM, en algunos casos también puede ser relevante en los  $SO_x$  cuando estos compuestos participan en el smog fotoquímico o en la formación de aerosoles. Típicamente, los óxidos de azufre son emitidos como bióxido de azufre ( $SO_2$ ). El  $SO_2$  emitido puede oxidarse como trióxido de azufre ( $SO_3$ ), y posteriormente como ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) o aerosoles sulfatados ( $SO_4^{2-}$ ). Sin embargo, las emisiones de  $SO_x$  en general se reportan en una base  $SO_2$ . Algunos modelos fotoquímicos como el *Urban Airshed Model* –UAM– (Modelo de Cuenca Atmosférica Urbana) requieren emisiones de  $SO_x$  especiadas, que se distinguen como  $SO_2$  y  $SO_4^{2-}$ . En contraste, la especiación no es un aspecto importante para los dos otros contaminantes que son inventariados con mayor frecuencia: CO y  $NH_3$ .

#### 14.5.6. Consideraciones sobre el tipo de fuente

Al realizar la distribución de especies químicas de las emisiones deben considerarse las características exclusivas de cada tipo de fuente. La *Texas Natural Resource Conservation Commission* –TNRCC– (Comisión para la Conservación de los Recursos Naturales de Texas) ha resumido los siguientes aspectos relevantes en la especiación de emisiones de los diversos tipos de fuentes (TNRCC, 1999):

- *Fuentes Puntuales*: Para identificar con precisión las sustancias químicas en las emisiones de fuentes puntuales, son necesarios estudios de caracterización para cada proceso y/o equipo. Dado que, en general esto no es económicamente factible, se utiliza un perfil de especiación para cada Código de Clasificación de Fuentes (SCC). Los perfiles SCC específicos son necesarios debido a que cada proceso emite diferentes combinaciones de sustancias.
- *Fuentes de Área*: De manera similar a las fuentes puntuales, la especiación química consiste en asignar una proporción de diferentes sustancias a diferentes actividades. Por ejemplo, las emisiones de cortadoras de pasto se caracterizan con un determinado perfil químico, mientras que las emisiones de tintorerías o pavimentación asfáltica de caminos se asocian con otros perfiles.
- *Vehículos Automotores*: Debido a que la composición química de las emisiones vehiculares difiere entre las diversas clases de vehículos (p.ej., automóviles vs. unidades diesel de 18 ruedas), se utilizan perfiles de especiación química distintos para los diferentes tipos de vehículos. De manera similar, cada tipo de vehículo puede emitir hidrocarburos de diferentes puntos (p.ej., vapores del tanque de gasolina vs. escape), de manera tal que la composición química de cada punto de emisión también debe identificarse.
- *Fuentes Naturales*: La composición de especies de fuentes biogénicas puede variar significativamente, debido a que los distintos tipos de vegetación emiten cantidades y diversos COVs con amplias diferencias.

*Inventario de  
emisiones para  
modelación*

#### 14.5.7. Ejemplo de cálculos de especiación de emisiones

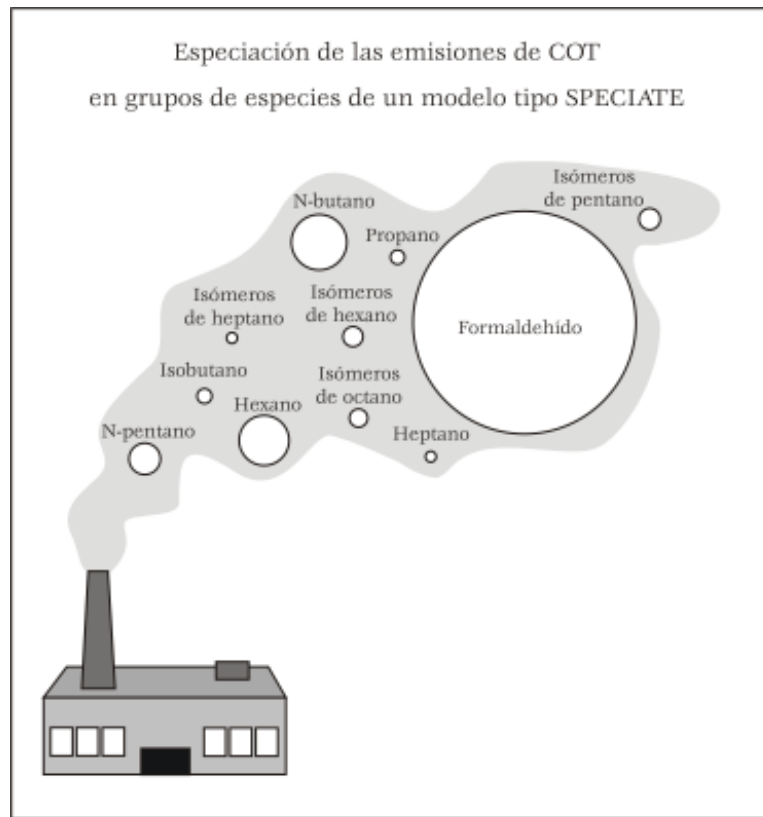
Una vez que se ha definido la fuente de emisión y se cuenta con datos de distribución temporal y espacial de sus emisiones, puede realizarse la distribución por especies químicas. Esta distribución se lleva a cabo en dos pasos: primero, se identifica el perfil de especies químicas, y segundo, se distribuyen los grupos de especies químicas de las emisiones en función del mecanismo de modelación a implementarse.

Este ejemplo corresponde a las emisiones de COT de una caldera industrial como la que se incluye en el ejemplo de inventario de emisiones para modelación de una comunidad hipotética. En este caso, se aplican los cálculos de especiación directamente a los datos de emisiones anuales de la fuente en cuestión.

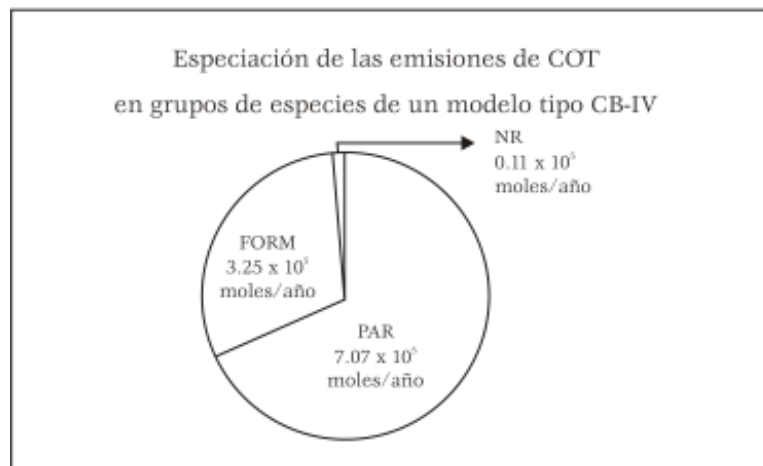
Primero, a fin de identificar el perfil de especies y las especies COT discretas que corresponden a una caldera industrial, puede utilizarse la base de datos SPECIATE. Considerando que una caldera industrial está clasificada como SCC 10500105 (Calderas de Combustión Externa–Calentadores de Espacios–Industrial–Aceite Destilado), el número de perfil asociado con esta categoría de fuente es el 0002 de la base de datos SPECIATE. Dicho perfil, al igual que los correspondientes a las otras fuentes de emisión de COT del ejemplo, se incluyen en el Apéndice G.

En este caso, sin embargo, el cálculo de distribución de especies químicas se realizará con base en la especiación de COT en grupos químicos correspondientes a un modelo tipo CB-IV. La Figura 14-16 muestra las diferencias entre la distribución de especies en especies individuales y en especies de modelo agrupado. Conforme a una distribución de especies basada en especies de modelo agrupado, las emisiones de COT son asignadas a categorías de especies químicas agrupadas del mecanismo CB-IV, utilizando los factores de separación del Sistema de Procesamiento de Emisiones UAM (EPS 2.0).

FIGURA 14-16. ESPECIACIÓN DE EMISIONES DE UNA FUENTE PUNTUAL



*Inventario de  
emisiones para  
modelación*



En un segundo paso, las emisiones de cada grupo de especies químicas pueden estimarse con la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones} = \text{Emisiones COT} \times \text{FS}_i / \text{Divisor}_i$$

Donde:

$\text{Emisiones}_i$  = Emisiones de especies de modelo agrupado I  
( $10^6$  moles/año)

COT = Emisiones de COT (Mg/año)

$\text{FS}_i$  = Factor de separación para especies de modelo agrupado I (g-mole/g)

$\text{Divisor}_i$  = Factor de conversión secundario para especies de modelo agrupado I.

Las emisiones anuales de COT de la caldera ascienden a 200 Mg/año. Las emisiones de las especies de modelo agrupado del CB-IV se calculan utilizando la ecuación anterior, lo que arroja los resultados que se indican en el Cuadro 14-14.

CUADRO 14-14. DISTRIBUCIÓN POR GRUPOS DE LAS EMISIONES DE COT  
PROVENIENTES DE UNA CALDERA INDUSTRIAL DE ACUERDO A ESPECIES  
DE MODELO AGRUPADO CB-IV

GRUPO DE ESPECIES	$\text{SF}_i$ (g-mole/g)	$\text{Divisor}_i$	Emisiones* ( $10^6$ moles/año)
FORM	0.016233333	1	3.25
NR	0.000545455	1	0.11
PAR	0.035361204	1	7.07

\* Cabe señalar que las emisiones calculadas con la especiación de modelo agrupado (es decir, para modelado fotoquímico), generalmente se presentan en una base molar, más que en una base de peso. Como resultado, las emisiones en este ejemplo de cálculo se presentan en una base molar.



Con base en los resultados anteriores, puede establecerse que las emisiones de GOT provenientes de la caldera se distribuyen de la siguiente manera:

Parafinas:  $7.07 \times 10^6$  moles/año

Formaldehído:  $3.25 \times 10^6$  moles/año

GOT no reactivos:  $0.11 \times 10^6$  moles/año

*Inventario de  
emisiones para  
modelación*



## PROYECCIONES DE UN INVENTARIO DE EMISIONES

# 15

La proyección de emisiones se refiere a la extrapolación de los datos de un inventario de emisiones para predecir emisiones futuras, a partir de los niveles de actividad y de las medidas de control de emisiones esperadas en el futuro. Las proyecciones de un inventario de emisiones se pueden utilizar para planear medidas adicionales de control de la contaminación del aire, analizar el impacto de nuevas fuentes de emisiones, modelar la calidad del aire en el futuro, y evaluar la efectividad de las estrategias de gestión de la calidad del aire. Para realizar la proyección de emisiones a un horizonte futuro deseado, debe partirse de un inventario de emisiones de línea de base lo mas confiable posible, que represente una imagen en el tiempo de las emisiones ocurridas durante un determinado año base. La proyección de emisiones involucra un esfuerzo para cuantificar los efectos del crecimiento económico y de las medidas de prevención y control de la contaminación en las emisiones de las diferentes fuentes en el futuro. Dado que con las proyecciones se busca cuantificar elementos de un futuro incierto, siempre existe un nivel de incertidumbre asociado, que puede minimizarse utilizando factores de crecimiento y factores de control específicos por fuente.

La proyección de emisiones no se considera formalmente como un paso más en el desarrollo de un inventario para modelación. En general, los pasos típicos del desarrollo de

un inventario de emisiones para modelación se limitan a la distribución temporal, distribución espacial y especiación de emisiones, tal como se describe en el capítulo previo. De hecho, los datos de un inventario de emisiones para modelación, por lo regular, no se utilizan para realizar proyecciones, sino que siempre se parte del principio de proyección para los datos originales de emisiones anuales de un inventario de año base. Una vez que las emisiones anuales del año base son proyectadas a un escenario futuro deseado, pueden realizarse los cálculos correspondientes de distribución temporal, espacial y de especiación, para crear un inventario para modelación de las emisiones proyectadas.

A continuación se describen los elementos necesarios a considerar en la proyección de emisiones, además de ejemplificar su aplicación con una muestra de los cálculos pertinentes:

- Factores de Crecimiento
- Factores de Control
- Consideraciones del Tipo de Fuente

### 15.1. FACTORES DE CRECIMIENTO

El primer componente de la proyección de emisiones es el crecimiento asociado a la economía y al desarrollo de la infraestructura urbana e industrial. El ritmo de crecimiento se expresa en términos de cambio porcentual anual o cambio porcentual para un determinado número de años. Usualmente, los factores de crecimiento empleados en la proyección de emisiones se basan en las proyecciones de crecimiento industrial, poblacional y del transporte, así como en los cambios en el uso del suelo. Generalmente no se requiere desarrollar proyecciones de crecimiento de estos factores socioeconómicos ya que pueden obtenerse de las proyecciones realizadas por entidades como el INEGI, el Banco de México, las Secretarías de Economía y de Hacienda así como por instituciones de investigación o del sector privado. Sin

embargo, al utilizar datos de proyecciones demográficas y económicas, debe tenerse cuidado de que las mismas no contengan desviaciones inherentes que provoquen una representación equivocada del crecimiento de las emisiones de contaminantes.

Para fuentes puntuales y algunas fuentes de área, con frecuencia se utilizan las proyecciones del crecimiento industrial para proyectar emisiones. En este sentido, existen cuatro indicadores básicos del crecimiento económico industrial que pueden usarse, los cuales son: empleo, ingresos, valor agregado y rendimiento de la producción:

*Proyecciones de  
un inventario  
de emisiones*

- *Empleo:* Las proyecciones basadas en empleo son generalmente las más accesibles. Sin embargo, no incorporan las eficiencias de producción debidas a mejoras tecnológicas.
- *Ingresos:* Los ingresos incorporan los efectos de la eficiencia de producción que podrían no ser aparentes en las proyecciones de empleo. Por ejemplo, una industria particular podría tener un incremento de 15% en sus ingresos, aunque el empleo aumentara sólo 3%.
- *Valor Agregado:* El valor agregado se determina por el valor de los productos de una empresa, una vez descontados el valor de la materia prima y de mano de obra dedicados a la producción. El valor agregado se considera un indicador de la actividad industrial que incorpora tanto la eficiencia como el volumen de la producción.
- *Rendimiento de la Producción:* El rendimiento de la producción probablemente es el indicador económico que guarda mayor correlación con las emisiones, dado que representa con mayor precisión el nivel de empleo, la disponibilidad de recursos, el crecimiento de capital y el uso de la tecnología. Adicionalmente, el rendimiento de la producción es una medición directa de la actividad industrial mientras que el empleo, los ingresos y el valor agregado son datos económicos auxiliares para la estimación que pueden o no representar con precisión el volumen de la actividad industrial. Desafortunadamente, la información

sobre el rendimiento de la producción no puede obtenerse con facilidad y casi no existen estadísticas al respecto, por lo que en general no es posible aplicar esta información para la proyección de emisiones.

De igual manera, para algunos tipos de fuentes de área (p. e., recubrimiento de superficies arquitectónicas, artes gráficas, uso de solventes comercial o doméstico, etc.) puede utilizarse el crecimiento poblacional como un indicador del crecimiento de las emisiones. Estas fuentes de área corresponden a aquellas que se estiman utilizando factores de emisión *per cápita*, es decir, basado en censos.

En el caso de vehículos automotores, por su parte, deben aplicarse indicadores de crecimiento del transporte para proyectar emisiones. En general, a medida en que la población de un área metropolitana crece, la actividad promedio de los vehículos automotores (es decir, VKT) también se incrementa, regularmente a una tasa superior que la del crecimiento poblacional. Esto se debe a que el crecimiento ocurre en los límites del área metropolitana, lo que normalmente requiere que en promedio la población realice un recorrido vehicular mayor que si el crecimiento se diera en el centro del área metropolitana.

Los cambios en el uso del suelo son considerados algunas veces en la estimación de los factores de crecimiento, sobre todo en el caso de las fuentes biogénicas y algunas fuentes de área, que se ven directamente afectadas por estos cambios. En general, las fuentes biogénicas deben mantenerse constantes entre el inventario de línea de base y sus proyecciones, a menos que existan usos de suelo que alteren significativamente la naturaleza biológica del área (es decir, transformación de un bosque en un gran centro comercial o desarrollo residencial).

La proyección de emisiones se basa en el índice de crecimiento de la actividad indicadora seleccionada, y generalmente se expresará como un número positivo. Sin embargo,

es posible la existencia de tasas de crecimiento negativas (p.e., la transición de industrias primarias como la agricultura, a industrias de manufactura o de alta tecnología puede ocasionar que la tasa de crecimiento agrícola sea negativa).

Las ecuaciones básicas para proyectar las emisiones son las siguientes:

Periodo anual: 
$$E_{proy} = E_{base} \times \left(1 + \frac{\%_{anl}}{100}\right)$$

Períodos multianuales: 
$$E_{proy} = E_{base} \times \left(1 + \frac{\%_{per}}{100}\right)^y$$

*Proyecciones de  
un inventario  
de emisiones*

Donde:

$E_{proy}$  = Emisiones proyectadas para un periodo de uno año o varios años (Mg/año)

$E_{base}$  = Emisiones del año base (Mg/año)

$\%_{anl}$  = Crecimiento anual (%)

$y$  = Número de años entre el año base y el año proyectado

$\%_{per}$  = Crecimiento anual promedio en el periodo

## 15.2. FACTORES DE CONTROL

Además de los factores de crecimiento, el control de emisiones es el otro componente importante en la proyección de inventarios de emisiones. Los factores de control generalmente se expresan como un porcentaje de las emisiones controladas con respecto a las no controladas. El inventario de emisiones de línea base debe incluir la información de cualquier equipo de control en funcionamiento, así como las normas vigentes. Las emisiones de línea base, sin embargo, no incluyen los efectos de las normas o regulaciones que se encuentren en fase de instrumentación, los cuales deben considerarse en las proyecciones de emisiones para años futuros. Si bien la reducción de emisiones producto de nuevas normas o programas de control de la contaminación en determinadas fuentes no ha ocurrido en el año base, es necesario

hacer estimaciones razonables de las reducciones esperadas cuando la regulación asociada o la instrumentación de programas se inicien.

La ecuación básica para ponderar los factores de control en

$$E_c = E_{nc} \times \left(1 - \frac{EC}{100}\right)$$

las proyecciones de inventarios de emisiones es la siguiente:

Donde:

$E_c$  = Emisiones controladas (Mg/año)

$E_{nc}$  = Emisiones no controladas (Mg/año)

$EC$  = Eficiencia de control (%).

En la estimación de la eficiencia de control considerada en la ecuación anterior, es importante ponderar las expectativas de control, ya que la experiencia en el desarrollo de inventarios para modelación ha demostrado que la efectividad en el control de emisiones suele ser menor que la esperada. Para tal efecto, deben introducirse parámetros de efectividad de la regla (ER) y penetración de la regla (PR) en los cálculos de proyecciones futuras (para consultar la definición de ambos ver el capítulo 4). La ER refleja la capacidad relativa de las normas o programas para lograr la reducción esperada en las emisiones como consecuencia de su cumplimiento e instrumentación. Por lo tanto, las normas, reglamentos y programas que se cumplen en forma absoluta, por todas las fuentes de emisión, tendrían una ER de 100%. Sin embargo, en la realidad existen incumplimientos a las normas y retrasos en la instrumentación de programas que es necesario determinar cuantitativamente. Con frecuencia, es difícil cuantificar el valor real de ER, el cual depende de numerosos factores, incluyendo el tipo de las regulaciones en marcha así como de los procedimientos de cumplimiento y del propio desempeño de las fuentes de emisiones con relación al marco regulatorio y a sus propios objetivos de protección ambiental. En los EUA, la EPA utiliza un valor por omisión de ER de 80%, pero siem-



pre es recomendable estimar valores de ER específicos para cada lugar y cada categoría de las fuentes de emisión.

La PR, por su parte, es una medida del grado en el que una norma comprende las emisiones de todas las fuentes de emisión dentro de una misma categoría. En los casos en los que la norma incluye todas las fuentes dentro de una categoría, debe utilizarse una PR con valor de 100%. Sin embargo, si la normatividad sólo es aplicable para ciertas fuentes, como grandes establecimientos, o para instalaciones con características determinadas (por ejemplo, que excedan ciertas cantidades de emisión, que su operación exceda un número determinado de horas anuales, que utilice determinados tipos de combustible y tamaños de equipo, etc.), el valor de la PR debe estimarse en su porcentaje correspondiente.

*Proyecciones de  
un inventario  
de emisiones*

Una vez que se establecen ER y PR, la ecuación básica para la estimación de emisiones controladas se expresa como:

$$E_c = E_{nc} \times \left( 1 - \frac{EC}{100} \times ER \times PR \right)$$

Donde:

$E_c$  = Emisiones controladas (Mg/año)

$E_{nc}$  = Emisiones no controladas (Mg/año)

$EC$  = Eficiencia de control (%)

$ER$  = Efectividad de la regla

$PR$  = Penetración de la regla.

En general, las proyecciones de inventarios de emisiones incorporan tanto factores de crecimiento como de control, con lo que la ecuación básica para la proyección de emisiones se expresa como:

$$E_{proy} = E_{nc} \times \left( 1 - \frac{EC}{100} \times ER \times PR \right) \times \left( 1 + \frac{\%_{anl}}{100} \right)^y$$

### 15.3. CONSIDERACIONES SOBRE EL TIPO DE FUENTE

Dado que la proyección de inventarios de emisiones se realiza a partir de datos de de emisión anuales, deben revisarse algunas consideraciones específicas sobre el tipo de fuente.

En primer término debe considerarse que algunas fuentes puntuales cuentan con permisos de operación o licencias ambientales emitidos por autoridades de gobierno, los cuales especifican los límites de emisión diarios o anuales así como condiciones para la operación de diversos equipos, mismos que deben tomarse en cuenta en la proyección de los datos de emisiones. Otra consideración importante son los posibles efectos de la compensación, intercambio y comercialización de emisiones, así como de otras estrategias de control basadas en el mercado, las cuales se espera jueguen un papel más importante en la gestión de la calidad del aire en el futuro próximo.

En cuanto a las fuentes de vehículos automotores es importante que las normas que entraran en vigor en años futuros para vehículos nuevos y en circulación puedan ser consideradas como parte de los factores de control de emisiones en años futuros. Por ejemplo, los límites de emisiones de vehículos nuevos, los programas de verificación, inspección y mantenimiento (I/M) y las reformulaciones de los combustibles, tendrán un efecto significativo en las emisiones de años futuros. Estos controles pueden ser incluidos en los archivos de entrada de un sistema de estimación de emisiones como el MOBILE de la EPA, pero siempre debe ponerse atención a la flota vehicular que será afectada por estos controles.

#### 15.4. EJEMPLO DE PROYECCIÓN

Con el objetivo de ilustrar la proyección de emisiones a años futuros, en este ejemplo se aplican factores de crecimiento y de control a las emisiones anuales de una categoría de fuente. El ejemplo consiste en la proyección de las emisiones de la categoría de uso residencial de solventes descritas en el ejemplo del capítulo previo, desde el año base 1999 hasta el año 2010.

Las emisiones anuales del año base de esta categoría se han estimado en 200 Mg/año. Las emisiones del uso residencial de solventes típicamente se incrementan utilizando las proyecciones poblacionales; la cual se estima crecerá a una tasa promedio anual de 2.3%. Una regulación que limita

la cantidad de COT contenidos en productos personales (una parte de la categoría del uso residencial de solventes), ha sido implementada en el año 2003. Esta regulación reduce el contenido de COT en 50%. Sin embargo, debido a problemas esperados durante la implementación, se considera que inicialmente la Efectividad de la Regla será baja: 10% en el primer año de la regulación (2003), con un incremento del 10% para cada año subsecuente hasta un máximo del 80% en el octavo año (2010). Las emisiones del uso de productos personales integran el 35% de las emisiones totales del uso residencial de solventes.

*Proyecciones de  
un inventario  
de emisiones*

Si sólo se consideran los factores de crecimiento, las emisiones del uso doméstico de solventes se incrementarían a 256.8 Mg/año en el año 2010, como se muestra en la Curva A de la Figura 15-1. El cálculo de la proyección, considerando sólo el factor de crecimiento, hasta el año 2005, es como sigue:

$$E_{proy} = E_{base} \times \left( 1 + \frac{\%_{per}}{100} \right)^y$$

$$E_{2005} = E_{1999} \times \left( 1 + \frac{2.3}{100} \right)^{2005-1999}$$

$$E_{2005} = (200Mg / año) \times (1.023)^6$$

$$E_{2005} = 229.2Mg / año$$

Si sólo se consideran los factores de control, las emisiones del uso doméstico de solventes se reducirían a 172.0 Mg/año en el año 2010, como se muestra en la Curva C de la Figura 15-1. El cálculo de la proyección, considerando sólo el factor de control, hasta el año 2005 es como sigue:

$$E_c = E_{nc} \times \left( 1 - \frac{EC}{100} \times ER \times PR \right)$$

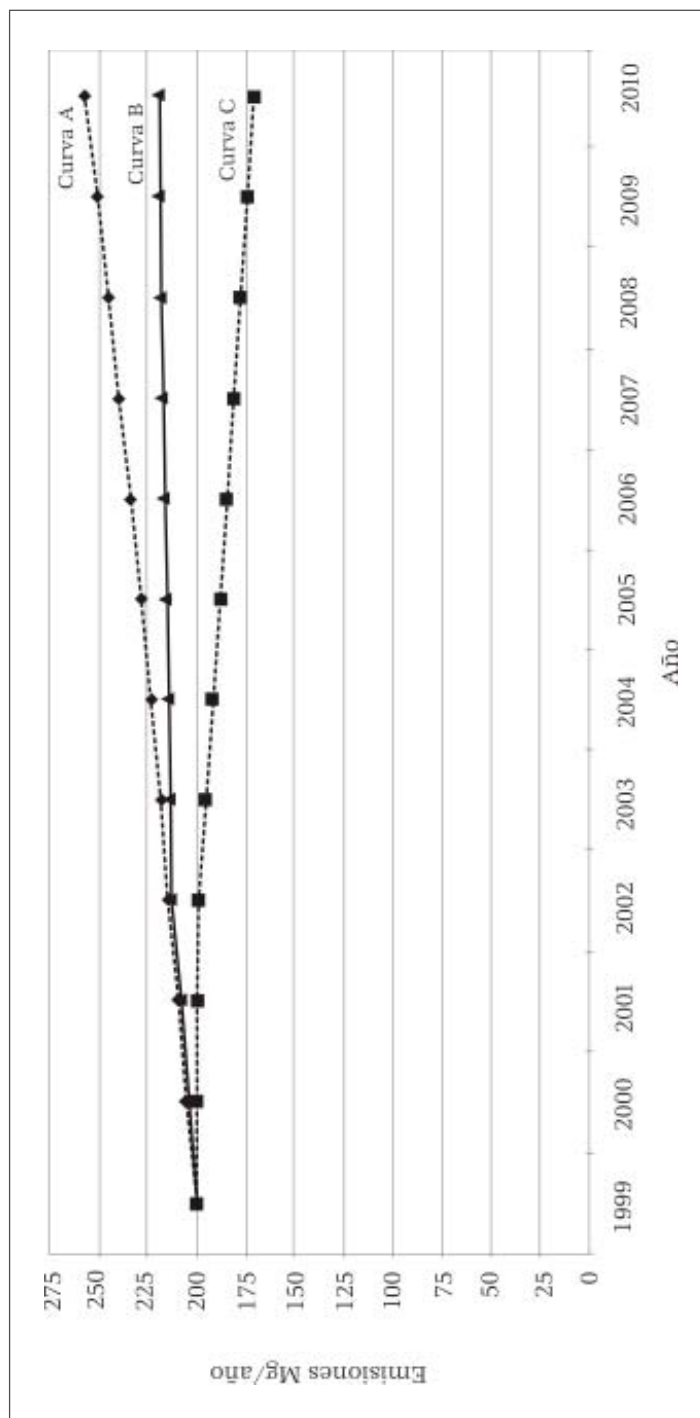
$$E_{2005} = E_{2005} \times \left( 1 - \frac{50}{100} \times 0.3 \times 0.35 \right)$$

$$E_{2005} = (200Mg / año) \times (1 - 0.0525)$$

$$E_{2005} = 189.5Mg / año$$

Ejemplo de  
proyecciones

FIG. 15.1.1. EJEMPLO DE PROYECCIONES DE EMISIONES DEL USO DOMÉSTICO DE SOLVENTES DE UNA COMUNIDAD HIPOTÉTICA



Si ambos factores de crecimiento y control se consideran en conjunto, las emisiones del uso doméstico de solventes se incrementarían a 220.9 Mg/año en el año 2010, como se muestra en la Curva B de la Figura 15-1. Debe señalarse que estas emisiones son 14% menores que si los límites para el contenido de COT en productos personales de consumo no hubieran sido instrumentados. El cálculo de la proyección del crecimiento y controles hasta el año 2005 es:

*Proyecciones de  
un inventario  
de emisiones*

$$E_{proy} = E_{nc} \times \left(1 - \frac{EC}{100} \times ER \times PR\right) \times \left(1 + \frac{\%_{anl}}{100}\right)^y$$

$$E_{proy} = (200Mg / año) \times \left(1 - \frac{50}{100} \times 0.3 \times 0.35\right) \times \left(1 + \frac{2.3}{100}\right)^6$$

$$E_{proy} = (200Mg / año) \times 0.9475 \times 1.1462 = 217.2Mg / año$$

Este ejemplo ilustra que las proyecciones de emisiones en años futuros pueden ser influenciadas de manera significativa por el crecimiento de la población y la economía, a pesar de las medidas de control instrumentadas. Como se muestra en el ejemplo, los efectos del crecimiento pueden inhibir reducciones en las emisiones generadas por los controles. Si bien la reducción de emisiones para productos personales de consumo debido a los límites de contenido límite COT es significativa (es decir, 50%), el efecto general de ésta dentro de toda la categoría de uso doméstico de solventes es mucho menor, debido a la lenta implementación de ocho años, y al estrecho alcance de la medida dentro de la categoría de fuentes de emisión considerada (es decir, sólo el 35% de la categoría de uso doméstico de solventes fue afectado).

Un caso real que muestra la influencia del crecimiento en las emisiones de años futuros lo constituyen las emisiones de los vehículos automotores en los EUA, que representan la mayor planta vehicular de un país en el globo terraqueo. Los avances tecnológicos han reducido las emisiones de los vehí-

culos automotores (en una base por millas), en un orden de magnitud o más, en comparación con hace 20 ó 30 años. Sin embargo, los factores de crecimiento, como el recorrido vehicular promedio, han inhibido la reducción de emisiones lograda por las nuevas tecnologías.

*Ejemplo de  
proyecciones*

## BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

---

40 CFR 60, 1992. U.S. Code of Federal Regulations. Title 40, Part 60, Appendix A. DeLuchi, M.A., 1993. «*Emissions from the Production, Storage, and Transport of Crude Oil and Gasoline.*» *J. Air Waste Manage Association*. 43:1486-1495.

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

ARB, 1991a. *Air Resources Board Speciation Manual: Identification of Volatile Organic Compound Species Profiles*, Second Edition. California Air Resources Board, Emission Inventory Branch, Sacramento, California. August.

ARB, 1991b. *Air Resources Board Speciation Manual: Identification of Particulate Matter Species Profiles*, Second Edition. California Air Resources Board, Emission Inventory Branch, Sacramento, California. August.

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

Beidler, A., J.G. Wilkinson, and R.A. Wayland, 1996, «*The Emissions Modeling System (EMS- 95) and the Flexible Regional Emissions Data System (FREDs): A Comparison of Emissions Modeling Tools.*» In: *The Emission Inventory: Key*

to Planning, Permits, Compliance and Reporting. Proceedings of a Specialty Conference sponsored by the Air & Waste Management Association, New Orleans, Louisiana, September 4-6, 1996. pp. 807-818.

Babcock, L. R. *Land Use Aspects of Air Quality Management*. Printed texts of the videotaped series. University of Illinois at Chicago.

Benjey, W.G. and N.M. Moghari, 1995. «*Functionality of an Integrated Emission Preprocessing System for Air Quality Modeling: The Models-3 Emission Processor*» In: *The Emissions Inventory: Programs and Progress*. Proceedings of a Specialty Conference sponsored by the Air & Waste Management Association, Research Triangle Park, North Carolina, October 11-13, 1995. pp. 463-474.

Bruckman, L, 1993. «*Overview of the Enhanced Geocoded Emissions Modeling and Projections (Enhanced GEMAP) System*» In: *Regional Photochemical Measurement and Modeling Studies. Volume 2*. Proceedings of an International Specialty Conference sponsored by the Air & Waste Management Association, San Diego, California, November 8-12, 1993. pp. 562-578.

Bruckman, L. and W.R. Oliver, 1993. «*Development of the Enhanced Geocoded Emissions Modeling and Projections (Enhanced GEMAP) System*» In: *The Emission Inventory: Perception and Reality*. Proceedings of an International Specialty Conference sponsored by the Air & Waste Management Association, Pasadena, California, October 18-20, 1993. pp. 810-824.

CFR, 1997. U.S. EPA definition of VOC. 40 *Code of Federal Regulations* (CFR) 51.100(s). Latest amendment: Federal Register, Vol. 62, No. 164. August 25, 1997. pp. 4490-44903.

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

Chow, J.C., J.G. Watson, D.H. Lowenthal, P.A. Solmon, K.L. Magliano, S.D. Ziman, and L.W. Richards, 1992. «PM10



Source Apportionment in California's San Joaquin Valley,» *Atmospheric Environment* 26A:3335-3354.

Cochran, W., 1977. *Sampling Techniques*. John Wiley and Sons.

DDF, 1995. *Elaboración de Factores de Emisión per capita para La Ciudad de Mexico*. Abril, 1995.

De Soete, G., 1989. *Updated Evaluation of Nitrous Oxide Emissions from Industrial Fossil Fuel Combustion*. Report to the European Atomic Energy Community. Institute Francais du Petrole, Ref. 37-559.

Bibliografía  
y referencias

Dickson, R.J. and W.R. Oliver, 1991. «Emissions Models for Regional Air Quality Studies.» *Environmental Science and Technology*, Volume 25, pp. 1533-1535.

Dickson, R.J., V.M. Sadeghi, J.G. Wilkinson, P.K. Brooks, and S.J. Strasser, 1992. «Development of a New Emissions Modeling System» In: *Emission Inventory Issues*. Proceedings of an International Specialty Conference sponsored by the Air & Waste Management Association, Durham, North Carolina, October 19-22, 1992. pp. 511-524.

Dickson, R.J., V.M. Sadeghi, L.J. Markovich, and E.L. Dickson, 1993. «Emissions Modeling Results for the San Joaquin Valley/ Auspex Regional Modeling Adaptation Project.» In: *Regional Photochemical Measurement and Modeling Studies. Volume 2*. Proceedings of an International Specialty Conference sponsored by the Air & Waste Management Association, San Diego, California, November 8-12, 1993. pp. 506-528.

Dickson, R.J., W.R. Oliver, E.L. Dickson, and V.M. Sadeghi, 1994. «Emissions Inventory Results for Estimating Visual Air Quality in the Golden Circle.» In: *Aerosols and Atmospheric Optics: Radiative Balance and Visual Air Quality. Volume A*. Proceedings of an International Specialty Conference sponsored by the Air & Waste Management Association and American Geophysical Union, Snowbird, Utah, September 26-30, 1994. pp. 603-619.

Economopoulos, A.P., 1993. *Assessment of sources of Air, Water, and Land Pollution - A Guide to Rapid Source Inventory*

*Techniques and their use in Formulating Environmental Control Strategies*. Report prepared for World Health Organization, Geneva.

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

Espinosa, M.E., V.H. Páramo, and J. Sarmiento, 1996. *Mobile Sources Inventories in Mexico*, Paper 96-RA108A.02. Presented at the 89th Annual Meeting of the Air & Waste Management Association, Nashville, Tennessee. June.

García Díaz, R. 1991. *Manual de Formulas de Ingeniería*. Segunda Edición. Limusa Noriega Editores. México, D.F.

GDF, 2004. *Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana Valle de México 2002* (Preliminar). Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. México, D.F.

Gilbert, R., 1987. *Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring*. Van Nostrand Reinhold Company, NY. 1987.

Hildemann, L.M., G.R. Markowski, and G.R. Cass, 1991. «Chemical Composition of Emissions from Urban Sources of Fine Organic Aerosol.» *Environmental Science and Technology*, Volume 25, pp. 744-759.

Holman and Collins, 1979. *Development of Questionnaires for Various Emissions Inventory Uses*. EPA-450/3-78-122. U.S. EPA Research Triangle Park, North Carolina. L

INE, 1996. *Instrumentos Económicos y Medio Ambiente*. Instituto Nacional de Ecología SEMARNAP. México D.F.

INE, 1997. *Primer Informe Sobre la Calidad del Aire en Ciudades Mexicanas 1996*. Instituto Nacional de Ecología. México D.F.

INE, 1997. *Estudio de caso del Registro de Emisiones y Transferencia de contaminantes en el estado de Querétaro*. Instituto Nacional de Ecología. México D.F.

INE, 1997. *Programa de Gestión Ambiental de Sustancias Tóxicas de Atención Prioritaria*. Instituto Nacional de Ecología. Instituto Nacional de Ecología. México D.F.

INE, 1997. *Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes. Propuesta Ejecutiva Nacional*. Instituto Nacional de Ecología. México D.F.

INE, 1997. *Sistema Integrado de Regulación y Gestión Ambiental de la Industria*. Instituto Nacional de Ecología. México D.F.

INE, 1998. *Segundo Informe Sobre la Calidad del Aire en Ciudades Mexicanas 1997*. Instituto Nacional de Ecología. México D. F.

INE, 1999. *Tercer Informe Sobre la Calidad del Aire en Ciudades Mexicanas 1998*. Instituto Nacional de Ecología. México D. F.

INE, 1999. *Informe Nacional de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC) 1997-1998*. Instituto Nacional de Ecología. México D.F.

INE-SEMARNAT, 2001. *Segundo Informe Nacional de Emisiones y Transferencia de Contaminantes 1998-1999*. Instituto Nacional de Ecología. México D.F.

INE-SEMARNAT, 2002. *Manual técnico de verificación vehicular. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*, Instituto Nacional de Ecología. México D.F.

IPCC, 1997. *Greenhouse Gas Inventory Reference Manual*. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 3. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) and the International Energy Agency (IEA). United Kingdom.

IPCC, 1997. *Greenhouse Gas Inventory Reporting Instructions*. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 1. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) and the International Energy Agency (IEA). United Kingdom.

IPCC, 1997. *Greenhouse Gas Inventory Workbook*. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 2. Intergovernmental Panel on Climate Change

Bibliografía  
y referencias

(IPCC), the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) and the International Energy Agency (IEA). United Kingdom.

Janssen, M., 1996 «*Modeling the OTAG Inventory: Problems and Solutions to Modeling National Emissions Inventories*» In: *The Emission Inventory: Key to Planning, Permits Compliance and Reporting*. Proceedings of a Specialty Conference sponsored by the Air & Waste Management Association, New Orleans, Louisiana, September 4-6, 1996. pp. 780-787.

Janssen, M., 1998. «*Recent Improvements and Enhancement to the EMS-95 Model*» In: *Emission Inventory: Living in a Global Environment*. Proceedings of a Specialty Conference sponsored by the Air & Waste Management Association, New Orleans, Louisiana, December 8- 10, 1998. pp. 1005-1012.

Koerber, M., 1992. «*The Development of a Regional Emissions Inventory for the Lake Michigan Ozone Study*» In: *Emission Inventory Issues*. Proceedings of an International Specialty Conference sponsored by the Air & Waste Management Association, Durham, North Carolina, October 19-22, 1992. pp. 525-536.

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (y disposiciones complementarias). Vigésima Edición Actualizada. 2001. Colección Leyes y Códigos de México. Editorial Porrúa. México, D.F.

Mayenkar, K.K., R.J. Dickson, P.K. Brooks, and S.J. Strasser, 1992. «Development of a New Model for Estimating the Release of Biogenic Emissions.» In: *Emission Inventory Issues*. Proceedings of an International Specialty Conference sponsored by the Air & Waste Management Association, Durham, North Carolina, October 19-22, 1992. pp. 403-421.

Milligan, R.J., et al., 1997. *Review of NOx Emission Factors for Stationary Combustion Sources*, EPA-450/4-79-021, U.S. Environmental Protection Agency. September.

Oliver, W.R., S.L. Heisler, P. Hyde, and F.E. Keene, 1998. «Incorporating Uncertainties into the Emissions Inventory for

Phoenix, Arizona.» In: *Bridging International Boundaries*. Proceedings of the 91st Annual Meeting and Exhibition of the Air & Waste Management Association, San Diego, California, June 14-18, 1998. CD-ROM.

OMB, 1987. *Standard Industrial Classification Manual – 1987*. Executive Office of the President, Office of Management and Budget, Washington, D.C.

OMB, 1997. *North American Industry Classification System. United States, 1997*. Executive Office of the President, Office of Management and Budget, Washington, D.C.

Bibliografía  
y referencias

Pierce, T.W., B.K. Lamb, and A.R. Van Meter, 1990. *Development of a Biogenic Emissions Inventory System for Regional Scale Air Pollution Models*, Paper 90094.3. Presented at the 83rd Annual Meeting of the Air and Waste Management Association, Pittsburgh, Pennsylvania, June 24-29.

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

Radian, 1993. *Draft GEMAP System Documentation*. Prepared for the Lake Michigan Air Directors Consortium by Radian Corporation, Sacramento, California. May.

Radian, 1995. *Grand Canyon Visibility Transport Commission (GCVTC) Inventory Database*. Prepared for the Emissions Subcommittee of the Grand Canyon Visibility Transport Commission and Project VARED – Electric Power Research Institute by Radian Corporation, Sacramento, California. February.

Radian, 1997. *Development of the Hazardous Air Pollutant Emissions Inventory for Ambos Nogales*. Prepared for the Arizona Department of Environmental Quality by Radian International, Sacramento, California. July.

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

Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Departamento del Distrito Federal, Gobierno del Estado

de México y Secretaría de Salud. 1996 Segunda impresión. *Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000*. México, D.F.

Scheff, P.A., R.A. Wadden, D.M. Kenski, and J. Chang, 1984. *Receptor Model Evaluation of the SEMOS Ambient NMOC Measurements*, Paper 84-72.3. Presented at the 77th Annual Meeting of the Air Pollution Control Association, San Francisco, California. June.

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

TNRCC, 1999. Processing Air Pollution Emissions Data. Texas Natural Resources Conservation Commission, Austin, Texas. Internet address <http://www.tnrcc.state.tx.us/air/aqp/emissproc.html>.

U.S. Census, 1999. North American Industry Classification System webpage. United States Census Bureau, Washington, D.C. Internet address <http://www.census.gov/epcd/www/naicshtml>.

U.S. EPA, 1988. *Control of Open Fugitive Dust Sources*. EPA-450/3-88-008.

U.S. EPA, 1990. *The User's Manual for the PM10 Open Fugitive Dust Source Computer Model Package*.

U.S. EPA, 1991a. *Nonroad Engine and Vehicle Emission Study Report*. November 1991. EPA- 21A-2001.

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

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

U.S. EPA, 1991b. *Procedures for the Preparation of Emission Inventories for Carbon Monoxide and Precursors of Ozone, Volume I: General Guidance for Stationary Sources*. May 1991. EPA-450/4-91-016.

U.S. EPA, 1992. *Fugitive Dust Background Document and Technical Information Document for Best Available Control Measures*. September 1992. EPA-450/2-92-004.

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

U.S. EPA, 1994. *Air Emissions Models for Waste and Wastewater*. U.S. EPA Contract No. 68D10118. November 1994.

U.S. EPA, 1995. *Compilation of Air Pollution Emission Factors (AP-42) - Volume I: Stationary Point and Area Sources*, Fifth Edition. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Carolina. January. Internet address - <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42.html>.

U.S. EPA, 1995a. *Compilation of Air Pollutant Emission Factors - Volume I: Stationary Point and Area Sources, Fifth Edition and Supplement A, AP-42*, U.S. Environmental Protection Agency. Research Triangle Park, North Carolina. January 1995.

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

U.S. EPA, 1996. TANKS Software Program, Version 3.0. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards. Research Triangle Park, North Carolina. February 1996.

U.S. EPA, 1998. *Biogenic Emissions Inventory System - Personal Computer Version, Version 2.3*. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Atmospheric Sciences Modeling Division, Research Triangle Park, North Carolina. November 30. Internet address

<http://www.epa.gov/ttn/chief/software.html#pcbeis>

U.S. EPA, 1999a. *Description of Emissions Modeling System*. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Atmospheric Sciences Modeling Division, Research Triangle Park, North Carolina. Internet address <http://www.epa.gov/asmdnerl/ems95.html>.

U.S. EPA, 1999b. *Emissions Inventory Guidance for Implementation of Ozone and Particulate Matter National Ambient Air Quality Standards [NAAQS] and Regional Haze Regulations*. EPA-454/R-99-006. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Carolina. April. Internet address <http://www.epa.gov/ttn/chief/txt/eidocfnl.pdf>.

U.S. EPA, 1999c. *SPECIATE Database*, Version 3.0. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Carolina. October 15. Internet address <http://www.epa.gov/ttn/chief/software.html#speciate>.

U.S. EPA, 1999d. *Factor Information Retrieval Data System (FIRE)*, Version 6.22. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Carolina. October 4. Internet address <http://www.epa.gov/ttn/chief/fire.html>

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

WMO, 1992. *Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1991*. WMO/UNEP, WMO Global Ozone Research and Monitoring Project, Report No. 25, Geneva, Austria.



APÉNDICE A.  
REGLAMENTO DE LA LGEEPA EN MATERIA DE  
REGISTRO DE EMISIONES Y TRANSFERENCIA  
DE CONTAMINANTES Y REFORMAS  
AL REGLAMENTO DE LA LGEEPA EN MATERIA  
DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA  
CONTAMINACIÓN DE LA ATMÓSFERA.

---

*Apéndice A.  
Reglamento de  
la LGEEPA en  
materia de  
RETCy  
reformas al  
reglamento en  
la LGEEPA en  
materia de  
PCCA*

Decreto por el que se expide el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes y se adiciona y reforma el reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Presidencia de la República.

Vicente Fox Quesada, Presidente de los Estados Unidos Mexicanos, en ejercicio de la facultad que me confiere el artículo 89, fracción I, de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y con fundamento en los artículos 13 y 32 Bis de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal y 109 Bis, 111 fracción II, 111 Bis, 159 Bis y 159 Bis 4, fracción IV de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, he tenido a bien expedir el siguiente:

Decreto por el que se expide el reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes y se adiciona y reforma el reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente

en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera.

ARTÍCULO PRIMERO: Se expide el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes, para quedar como sigue:

## CAPÍTULO I. DISPOSICIONES GENERALES

ARTÍCULO 1º. El presente ordenamiento es de observancia general en todo el territorio nacional y en las zonas en donde la Nación ejerce su soberanía y jurisdicción, tiene por objeto reglamentar la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en lo que se refiere al Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes.

ARTÍCULO 2º. La aplicación de este Reglamento corresponde al Ejecutivo Federal, por conducto de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, sin perjuicio de las atribuciones que correspondan a otras dependencias del Ejecutivo Federal.

ARTÍCULO 3º. Sin perjuicio de las definiciones que establezcan otros ordenamientos jurídicos, para los efectos del presente Reglamento, se considerarán las definiciones contenidas en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, así como las siguientes:

I. Base de datos: Conjunto de información almacenada en forma ordenada y lógica en un sistema de cómputo, para la cual se diseñan y estructuran aplicaciones especiales, así como de seguridad e integridad de la misma;

II. Cédula: Cédula de Operación Anual, instrumento de reporte y recopilación de información de emisiones y transferencia de contaminantes al aire, agua, suelo y subsuelo, materiales y residuos peligrosos, empleado para la actualización de la Base de datos del Registro;

III. Centro Integral de Servicios: Área de recepción de trámites de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales;

IV. Delegaciones Federales y Coordinaciones Regionales: Las que la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales tenga establecidas en su Reglamento Interior;

V. Emisión: Sustancia en cualquier estado físico liberada de forma directa o indirecta al aire, agua, suelo y subsuelo;

VI. Error de concepto: Toda alteración o variación del sentido de la información contenida en la Cédula;

VII. Error material: Cuando se escriban letras, palabras o números por otros, sin alterar el sentido de la información contenida en la Cédula;

VIII. Establecimiento sujeto a reporte: Toda instalación que de acuerdo con la Ley y este Reglamento, deba reportar sus emisiones y transferencia de contaminantes generados por sus actividades industriales;

IX. Ley: Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente;

X. Reciclaje: Transformación de los residuos a través de distintos procesos que permiten restituir su valor económico, evitando así su disposición final, siempre y cuando esta restitución favorezca un ahorro de energía y materias primas sin perjuicio para la salud, los ecosistemas o sus elementos;

XI. Registro: El Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes que se integra con la información de los establecimientos sujetos a reporte sobre sus emisiones y transferencia de contaminantes al aire, agua, suelo y subsuelo, materiales y residuos, así como de aquellas sustancias que determinen las autoridades competentes, el cual será operado y administrado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, a través de la unidad administrativa correspondiente;

XII. Reutilización: El empleo de un material o residuo previamente usado, sin que medie un proceso de transformación;

XIII. Secretaría: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales;

XIV. Sustancias sujetas a reporte de competencia federal: Elementos o compuestos químicos, que conforme a los crite-

*Apéndice A.  
Reglamento de  
la LGEEPA en  
materia de  
RETCy  
reformas al  
reglamento en  
la LGEEPA en  
materia de  
PCCA*

rios de persistencia ambiental, bioacumulación, toxicidad, teratogenicidad, mutagenicidad o carcinogenicidad y, en general, por sus efectos adversos al medio ambiente, sean emitidos o transferidos por los establecimientos sujetos a reporte de competencia federal y deban ser integrados a la Base de datos de acuerdo con las especificaciones y umbrales establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas;

XV. Transferencia: Traslado de sustancias sujetas a reporte a un sitio que se encuentra físicamente separado del establecimiento que las generó, con finalidades de reutilización, reciclaje, obtención de energía, tratamiento o confinamiento; incluyendo descargas de agua a cuerpos receptores que sean aguas nacionales y manejo de residuos peligrosos, salvo su almacenamiento;

XVI. Umbral de reporte: Cantidad mínima a partir de la cual, los establecimientos sujetos a reporte de competencia federal deberán reportar las emisiones y transferencias de las sustancias, de conformidad con lo que se establezca en la Norma Oficial Mexicana correspondiente.

## CAPÍTULO II. DEL REGISTRO DE EMISIONES Y TRANSFERENCIA DE CONTAMINANTES

### *Sección I. De la integración y actualización del registro*

ARTÍCULO 4o. La información de la Base de datos del Registro se integrará con los datos y documentos contenidos en las autorizaciones, cédulas, informes, reportes, licencias, permisos y concesiones que en materia ambiental se tramiten ante la Secretaría, o ante la autoridad competente del Gobierno del Distrito Federal, de los Estados y, en su caso, de los Municipios.

ARTÍCULO 5o. La información que se integre a la Base de datos del Registro que presenten los establecimientos sujetos a reporte de competencia federal, será actualizada con los datos correspondientes a sus emisiones, transferencias de contaminantes y sustancias sujetas a reporte de competencia federal.

ARTÍCULO 6o. La Base de datos del Registro se actualizará con la información que presenten las personas físicas y morales responsables del establecimiento sujeto a reporte, ante la Secretaría o la autoridad competente del Gobierno del Distrito Federal, de los Estados y, de los Municipios, en la cual, se integrarán los datos desagregados por sustancia y por fuente.

ARTÍCULO 7o. Para el caso de la información de competencia del Gobierno del Distrito Federal, de los Estados y, en su caso, de los Municipios, la Secretaría celebrará convenios de coordinación con la autoridad competente en las materias que regula este Reglamento, a fin de propiciar que las Bases de datos que generen puedan ser integradas al Registro.

En estos convenios se podrán determinar las directrices y principios técnicos, que permitan uniformar y homologar la información para la integración de las Bases de datos de sus respectivas competencias, así como los mecanismos de coordinación para actualizar la información anualmente.

ARTÍCULO 8o. La Secretaría podrá celebrar acuerdos de colaboración con otras dependencias y entidades de la administración pública, para incorporar información que apoye la integración de la Base de datos del Registro.

## *Sección II. De la conformación de la información federal a la base de datos*

ARTÍCULO 9o. Se consideran establecimientos sujetos a reporte de competencia federal, los señalados en el segundo párrafo del artículo 111 Bis de la Ley, los generadores de residuos peligrosos en términos de las disposiciones aplicables, así como aquellos que descarguen aguas residuales en cuerpos receptores que sean aguas nacionales.

Artículo 10. Para actualizar la Base de datos del Registro, los establecimientos sujetos a reporte de competencia federal, deberán presentar la información sobre sus emisiones y transferencia de contaminantes al aire, agua, suelo y subsuelo, materiales y residuos peligrosos, conforme a lo señalado en el artículo 19 y 20 del presente reglamento, así como de aque-

*Apéndice A.  
Reglamento de  
la LGEEPA en  
materia de  
RETC y  
reformas al  
reglamento en  
la LGEEPA en  
materia de  
PCCA*

llas sustancias que determine la Secretaría como sujetas a reporte en la Norma Oficial Mexicana correspondiente.

La información a que se refiere el párrafo anterior se proporcionará a través de la Cédula, la cual contendrá la siguiente información:

I. Datos de identificación y firma del promovente, nombre de la persona física, o denominación o razón social de la empresa, registro federal de contribuyentes, y domicilio u otros medios para oír y recibir notificaciones;

II. Datos de identificación del establecimiento sujeto a reporte de competencia federal, los cuales incluirán su domicilio y ubicación geográfica, expresada en Coordenadas Geográficas o Universal Transversa de Mercator;

III. Datos administrativos, en los cuales se expresarán: fecha de inicio de operaciones, participación de capital, Cámara a la cual se encuentra afiliado, en su caso, datos de la Compañía Matriz o Corporativo al cual pertenece, número de personal empleado, y periodos de trabajo;

IV. La información técnica general del establecimiento, en la cual se incluirá el diagrama de operación y funcionamiento que describirá el proceso productivo desde la entrada del insumo y su transformación, hasta que se produzca la emisión, descarga, generación de residuos peligrosos o transferencia total o parcial de contaminantes, así como los datos de insumos, productos, subproductos y consumo energético empleados;

V. La relativa a las emisiones de contaminantes a la atmósfera, en la cual se incluirán las características de la maquinaria, equipo o actividad que las genere, describiendo el punto de generación y el tipo de emisión, así como las características de las chimeneas y ductos de descarga de dichas emisiones. En el caso de contaminantes atmosféricos cuya emisión esté regulada en Normas Oficiales Mexicanas, deberán reportarse además los resultados de los muestreos y análisis realizados conforme a dichas normas. La información a que se refiere esta fracción se reportará también por contaminante;

VI. La respectiva al aprovechamiento de agua, registro de descargas y transferencia de contaminantes y sustancias al agua, en la cual se reportarán las fuentes de extracción de agua, los datos generales de las descargas, incluyendo las realizadas a cuerpos receptores y alcantarillado, así como las características de dichas descargas;

VII. La inherente a la generación y transferencia de residuos peligrosos, la cual contendrá el número de registro del generador los datos de generación y transferencia de residuos peligrosos, incluyendo los relativos a su almacenamiento dentro del establecimiento, así como a su tratamiento y disposición final;

VIII. La concerniente a la emisión y transferencia de aquellas sustancias que determine la Secretaría como sujetas a reporte en la Norma Oficial Mexicana correspondiente, así como los datos relacionados a su producción, elaboración o uso;

IX. La referente para aquellas emisiones o transferencias derivadas de accidentes, contingencias, fugas o derrames, inicio de operaciones y paros programados, misma que deberá ser reportada por cada evento que se haya tenido, incluyendo la combustión a cielo abierto, y

X. La relativa a la prevención y manejo de la contaminación, en la cual se describirán las actividades de prevención realizadas en la fuente y su área de aplicación, así como las de reutilización, reciclaje, obtención de energía, tratamiento, control o disposición final de las sustancias a que se refiere la fracción VIII del presente artículo.

ARTÍCULO 11. La Cédula deberá presentarse a la Secretaría dentro del periodo comprendido entre el 1o. de enero al 30 de abril de cada año, en el formato que dicha autoridad determine, debiendo reportarse el periodo de operaciones realizadas por el establecimiento sujeto a reporte de competencia federal, del 1o. de enero al 31 de diciembre del año inmediato anterior.

ARTÍCULO 12. El establecimiento sujeto a reporte de competencia federal presentará ante la Secretaría la Cédula por cualquiera de los siguientes medios:

*Apéndice A.  
Reglamento de  
la LGEEPA en  
materia de  
RETCy  
reformas al  
reglamento en  
la LGEEPA en  
materia de  
PCCA*

I. En formato impreso, al cual se deberá anexar un disco magnético que contenga el archivo electrónico de dicha Cédula;

II. En archivo electrónico, contenida en un disco magnético, anexando la impresión que contenga lo establecido en la fracción I del artículo 10; o

III. A través del portal electrónico que se establezca para su recepción.

Los establecimientos sujetos a reporte de competencia federal que presenten la Cédula conforme a las fracciones I y II, deberán acudir para tal efecto a alguno de los siguientes lugares: Centro Integral de Servicios, Delegaciones Federales o Coordinaciones Regionales de la Secretaría.

La Secretaría a través de su portal electrónico, del Centro Integral de Servicios, de sus Delegaciones Federales y Coordinaciones Regionales, pondrá a disposición de los interesados los formatos a que se refiere el presente artículo para su libre reproducción.

Artículo 13. Las Cédulas que se reciban por conducto de las Delegaciones Federales o Coordinaciones Regionales de la Secretaría, deberán remitirse al Registro, dentro de los 40 días hábiles siguientes a la fecha de su recepción.

Dentro de este periodo, las Delegaciones Federales y Coordinaciones Regionales contarán con un plazo de 20 días hábiles para revisar que la información contenida en la Cédula se encuentre debidamente requisitada, en caso contrario, se requerirá al promovente para que complemente, rectifique, aclare o confirme la información presentada dentro de un plazo que no excederá de 15 días hábiles contados a partir de su notificación, la cual se formulará en los términos de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo.

En caso de que el promovente no desahogue el requerimiento a que se refiere el párrafo anterior, se tendrá por no presentada la Cédula. Cuando dicha Cédula no sea presentada o ésta contenga datos falsos se aplicarán las sanciones administrativas correspondientes establecidas en la Ley, sin perjuicio



cio de las sanciones penales a que haya lugar. En todo caso, se tomará en consideración la gravedad de la infracción.

Cuando el promovente detecte que el formato no está debidamente requisitado, deberá presentar en un plazo no mayor a 15 días hábiles contados a partir de la entrega de la Cédula, la documentación que subsane los datos faltantes o, en su caso, los errores materiales o de concepto. Una vez concluida la revisión, la Secretaría integrará a la Base de datos del Registro la información contenida en la Cédula tal y como sea presentada por los promoventes, quienes serán responsables de su veracidad.

*Apéndice A.  
Reglamento de  
la LGEEPA en  
materia de  
RETC y  
reformas al  
reglamento en  
la LGEEPA en  
materia de  
PCCA*

### *Sección III. De la operación del registro*

ARTÍCULO 14. Las Cédulas recibidas en el Registro por medio impreso o electrónico, a través del Centro Integral de Servicios, así como las Cédulas que sean remitidas por las Delegaciones Federales, y las Coordinaciones Regionales, se ordenarán conforme a los datos de identificación del establecimiento.

Al integrar las Cédulas a la Base de datos se asentará la fecha, nombre, firma o clave de identificación electrónica del servidor público que realice la integración.

ARTÍCULO 15. La Cédula deberá contar en cada caso con la firma autógrafa o electrónica del representante legal del establecimiento sujeto a reporte, para lo cual el promovente deberá acreditar su personalidad al momento de iniciar el trámite de registro.

Artículo 16. Previo a la presentación de la Cédula a través del portal electrónico, el promovente o su representante legal, deberán solicitar a la Secretaría un certificado de identificación para obtener la firma electrónica, conforme a los lineamientos que para tal efecto se establezcan y que se publiquen en el Diario Oficial de la Federación.

Cuando la Cédula sea presentada a través del portal, la Secretaría generará el acuse de recibo electrónico correspondiente.

ARTÍCULO 17. Para la organización y conservación de los archivos documentales y electrónicos, que contengan la información presentada por los establecimientos sujetos a reporte, se estará a lo dispuesto por los lineamientos y criterios que establecen la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública Gubernamental, su Reglamento y demás disposiciones que de ella deriven.

#### *Sección IV. De los lineamientos técnicos del registro*

ARTÍCULO 18. Las sustancias sujetas a reporte de competencia federal, los umbrales de reporte y los criterios técnicos y procedimientos para incluir y excluir sustancias serán determinados en la Norma Oficial Mexicana correspondiente, la cual contemplará sustancias y contaminantes del aire, agua, suelo y subsuelo, materiales y residuos peligrosos, así como compuestos orgánicos persistentes, gases de efecto invernadero y sustancias agotadoras de la capa de ozono.

ARTÍCULO 19. Las emisiones y transferencias de contaminantes y sustancias sujetas a reporte de competencia federal que estén reguladas por Normas Oficiales Mexicanas, deberán medirse utilizando los métodos, equipos, procedimientos de muestreo y reporte especificados en las Normas Oficiales Mexicanas, y las Normas Mexicanas que sean referidas en estas últimas, de acuerdo a lo que establece la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y su Reglamento.

ARTÍCULO 20. Para efectos del presente Reglamento, las emisiones y transferencia de contaminantes y sustancias sujetas a reporte de competencia federal, que no estén reguladas por Normas Oficiales Mexicanas o cuya medición esté exenta, pueden estimarse a través de metodologías comúnmente utilizadas, tales como la aplicación de factores de emisión, estimación mediante datos históricos, balance de materiales, cálculos de ingeniería o modelos matemáticos.

ARTÍCULO 21. Los establecimientos sujetos a reporte de competencia federal deberán conservar durante un periodo de cinco años, a partir de la presentación de cada Cédula, las memo-

rias de cálculo y las mediciones relacionadas con las metodologías señaladas en los artículos 19 y 20 del presente Reglamento; dicha información estará a disposición de la Secretaría en el momento que la requiera.

ARTÍCULO 22. Los Organismos Empresariales, las Cámaras, las Asociaciones Industriales, Instituciones Educativas y de Investigación, los Colegios y Asociaciones Profesionales, Organizaciones No Gubernamentales y expertos en la materia, podrán participar con la Secretaría en el desarrollo de metodologías de medición y estimación de emisiones y transferencia de contaminantes y sustancias cuando dichas metodologías y estimaciones no se encuentren previstas en Normas Oficiales Mexicanas.

*Apéndice A.  
Reglamento de  
la LGEEPA en  
materia de  
RETCy  
reformas al  
reglamento en  
la LGEEPA en  
materia de  
PCCA*

### CAPÍTULO III. DE LA ORGANIZACIÓN DEL REGISTRO

ARTÍCULO 23. El Registro estará a cargo de la Secretaría y será operado por el titular de la unidad administrativa que corresponda conforme a lo establecido en su Reglamento Interior, quien para la integración de la información a la Base de Datos se auxiliará de los servidores públicos adscritos a dicha unidad administrativa.

ARTÍCULO 24. Los servidores públicos que integren la información a la Base de datos se encargarán de:

I. Revisar e inscribir la información de emisiones y transferencia de contaminantes, y sustancias sujetas a reporte de competencia federal contenidas en la Cédula y concentrarla en los archivos que para tal efecto se destinen;

II. Integrar al Registro las Bases de datos que proporcionen el Gobierno del Distrito Federal, los Estados y en su caso, los Municipios;

III. Mantenerla actualizada, de acuerdo a la información que proporcionen los establecimientos sujetos a reporte, conforme a los procedimientos establecidos en este Reglamento, y

IV. Sistematizar la información estadística sobre los datos inscritos y contenidos en la Base de datos.

#### CAPÍTULO IV. DE LA DIFUSIÓN DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN LA BASE DE DATOS DEL REGISTRO

ARTÍCULO 25. La información ambiental de carácter público de la Base de datos del Registro, es la siguiente:

I. Nombre de la persona física, denominación o razón social del establecimiento sujeto a reporte;

II. Emisiones y transferencias de sustancias y contaminantes, conforme a lo establecido en el primer párrafo del artículo 10 del presente Reglamento, y

III. Localización geográfica del establecimiento sujeto a reporte.

La información a que hace mención este artículo será integrada al Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales, de conformidad con el artículo 159 Bis de la Ley.

ARTÍCULO 26. La Secretaría publicará un Informe Anual el cual se difundirá por medios electrónicos o impresos y será únicamente con fines de información y consulta.

La Secretaría dará a conocer una versión preliminar del Informe Anual en un periodo no mayor a 60 días naturales antes de la publicación definitiva de dicho Informe, a efecto de que los establecimientos sujetos a reporte revisen que la información preliminar coincida con lo reportado a la Secretaría. En caso de haber discrepancia, los interesados podrán solicitar por escrito, en un plazo no mayor a 30 días naturales a partir de la publicación de la versión preliminar del informe las aclaraciones a que haya lugar.

ARTÍCULO 27. Cualquier interesado que desee obtener información relativa a la Base de datos del Registro, deberá presentar su solicitud por escrito ante la Secretaría, conforme al procedimiento previsto en la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública Gubernamental.

ARTÍCULO 28. La Secretaría negará la información solicitada si se encuentra en alguno de los supuestos contenidos en el artículo 159 Bis 4 de la Ley, o si ésta es considerada de carácter

reservado o confidencial de conformidad con lo dispuesto por la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública Gubernamental y su Reglamento, debiendo en cualquier caso señalar las razones que motivaron su negativa.

ARTÍCULO 29. Los servidores públicos encargados de la integración de la información a la Base de Datos del Registro, serán sujetos de sanción administrativa cuando:

I. Por negligencia, no se inscriba a la Base de datos del Registro en tiempo la información proporcionada por los establecimientos sujetos a reporte de competencia federal, y

II. Por negligencia, dolo o mala fe, se altere total o parcialmente la información, se cometan inexactitudes u omisiones en la captura de la información y que por ello se causen daños y perjuicios a terceros.

Los servidores públicos a que se refiere el presente artículo serán responsables del manejo de la información a que tengan acceso con motivo de la operación del Registro y en su caso, serán sancionados conforme a lo establecido en la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública Gubernamental y la Ley Federal de Responsabilidades Administrativas de los Servidores Públicos, sin perjuicio de la responsabilidad civil y penal a que haya lugar.

*Apéndice A.  
Reglamento de  
la LGEEPA en  
materia de  
RETC y  
reformas al  
reglamento en  
la LGEEPA en  
materia de  
PCCA*

## CAPÍTULO V. DE LA INSPECCIÓN, VIGILANCIA Y SANCIONES ADMINISTRATIVAS

ARTÍCULO 30. La Secretaría, por conducto de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, realizará actos de inspección y vigilancia en los establecimientos sujetos a reporte de competencia federal para verificar la información proporcionada a la Secretaría, así como su entrega en tiempo y forma. Cuando del procedimiento de inspección y vigilancia se desprendan infracciones a la normatividad ambiental, la Secretaría por conducto de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, procederá conforme a lo establecido en la Ley y las disposiciones que de ella deriven.

ARTÍCULO 31. La inspección y vigilancia se llevará a cabo por personal autorizado a través de:

- I. Requerimiento de informes, datos o documentos, y
- II. Visitas de inspección a instalaciones sujetas a reporte de competencia federal.

ARTÍCULO 32. Quienes sean requeridos por la Secretaría para proporcionar informes, datos o documentos tendrán la obligación de hacerlo dentro de un plazo no mayor a 15 días hábiles, contados a partir del día siguiente al de la fecha de su notificación. En caso de no entregar lo requerido por la Secretaría en el plazo indicado, serán acreedores a las sanciones correspondientes.

ARTÍCULO SEGUNDO: Se adiciona el ARTÍCULO 17 Bis y se reforma el ARTÍCULO 21 del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera, publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 25 de noviembre de 1988, para quedar como sigue:

ARTÍCULO 17 Bis. Para los efectos del presente Reglamento, se consideran subsectores específicos pertenecientes a cada uno de los sectores industriales señalados en el ARTÍCULO 111 Bis de la Ley, como fuentes fijas de jurisdicción Federal los siguientes:

- A) Industria del Petróleo y Petroquímica
  - I. Extracción de petróleo y gas natural;
  - II. Refinación de petróleo;
  - III. Petroquímica básica; incluye procesamiento de cualquier tipo de gas;
  - IV. Fabricación de petroquímicos secundarios;
  - V. Transportación de petróleo crudo por ductos; incluye operación de las instalaciones;
  - VI. Transportación de gas natural y otros tipos de gases por ductos; incluye operación de las instalaciones; excluye la distribución de gas por ducto a consumidores;
  - VII. Almacenamiento y distribución de productos derivados del petróleo; excluye distribuidores a usuarios finales;

VIII . Transportación de petroquímicos por ductos; incluye la operación de las instalaciones, y

IX. Transportación de petróleo refinado por ductos; incluye la operación de las instalaciones.

B) Industria Química

I. Fabricación de ácidos, bases y sales orgánicas;

II. Fabricación de ácidos, bases y sales inorgánicas;

III. Fabricación de colorantes y pigmentos; incluye orgánicos e inorgánicos, sólo cuando se producen como sustancias básicas;

IV. Fabricación de gases industriales;

V. Fabricación de aguarrás y brea;

VI. Fabricación de materias primas para medicamentos;

VII. Fabricación de fertilizantes químicos; sólo incluye su producción mediante reacciones químicas o biológicas;

VIII. Fabricación de plaguicidas y otros químicos agrícolas; incluye productos orgánicos e inorgánicos a partir de mezclas;

IX. Fabricación de resinas sintéticas; incluye plastificantes;

X. Fabricación de hule sintético; incluye el recubrimiento de piezas cuando se produce el hule;

XI. Fabricación de fibras y filamentos sintéticos y artificiales; sólo si involucra reacción química;

XII. Fabricación de farmacéuticos y medicamentos; no incluye empaçado y etiquetado;

XIII. Fabricación de materias primas para perfumes y cosméticos;

XIV. Fabricación de jabones y detergentes; sólo si se producen las sustancias básicas; incluye otros productos químicos de limpieza corporal; no incluye la microindustria;

XV. Fabricación de adhesivos y selladores; sólo base solvente;

XVI. Fabricación de cerillos;

XVII. Fabricación de películas, placas y papel sensible para fotografía;

*Apéndice A.  
Reglamento de  
la LGEEPA en  
materia de  
RETC y  
reformas al  
reglamento en  
la LGEEPA en  
materia de  
PCCA*

XVIII. Fabricación de explosivos; no incluye fuegos artificiales;

XIX. Fabricación de limpiadores y pulimentos; sólo si se producen las sustancias básicas; no incluye la microindustria;

XX. Fabricación de aceites esenciales;

XXI. Fabricación de grasas, aceites lubricantes y aditivos; incluye mezclas;

XXII. Fabricación de artículos de hule; sólo si se elabora el hule;

XXIII. Fabricación de productos de espumas de poliestireno expandible; sólo si se elabora el poliestireno; no incluye microindustria;

XXIV. Fabricación de productos de espumas uretánicas; sólo si se fabrican las sustancias básicas; no incluye la microindustria;

XXV. Galvanoplastia; en piezas metálicas; no incluye joyería;

XXVI. Fabricación de productos moldeados con diversas resinas; no incluye la microindustria ni artesanías;

XXVII. Fabricación de sustancias químicas cuando existe reacción química; excluye mezclas sin reacción química;

XXVIII. Fabricación de aceites y grasas cuando en su fabricación existe reacción química o extracción con solventes; no incluye la microindustria ni artesanías;

XXIX. Fabricación de materias primas para fabricar plaguicidas;

XXX. Anodizado de Aluminio, y

XXXI. Fabricación de productos químicos para aseo en general; sólo con reacción química a base solvente.

#### C) Industria de Pinturas y Tintas

I. Fabricación de todo tipo de pinturas, recubrimientos e impermeabilizantes; excluye productos base agua, y

II. Fabricación de tintas para impresión y escritura.

#### D) Industria Metalúrgica

I. Minería de hierro; sólo incluye beneficio;



- II. Minería de oro; sólo incluye beneficio;
- III. Minería de mercurio y antimonio; sólo incluye beneficio;
- IV. Minería de zinc y plomo; sólo incluye beneficio;
- V. Minería de cobre y níquel; sólo incluye beneficio;
- VI. Minería de manganeso; sólo incluye beneficio;
- VII. Minería de plata; sólo incluye beneficio;
- VIII. Minería de otros minerales metálicos no ferrosos; sólo incluye beneficio;
- IX. Fabricación de coque y otros derivados del carbón mineral;
- X. Laminación primaria de hierro y acero; incluye ferroaleaciones, aceros comunes y especiales y desbastes primarios;
- XI. Laminación secundaria de hierro y acero; sólo incluye productos obtenidos mediante procesos térmicos o de fundición;
- XII. Fabricación de tubos y postes de hierro y acero; sólo mediante procesos térmicos o de fundición;
- XIII. Afinación y refinación de otros metales no ferrosos; incluye fundición, extrusión o estiraje;
- XIV. Laminación de otros metales no ferrosos; sólo mediante procesos térmicos o de fundición;
- XV. Afinación y refinación de cobre; así como sus aleaciones; incluye fundición, extrusión o estiraje;
- XVI. Laminación de cobre y sus aleaciones; sólo mediante procesos térmicos o de fundición;
- XVII. Afinación y laminación de aluminio; incluye fundición, extrusión o estiraje;
- XVIII. Fabricación de soldaduras de metales no ferrosos;
- XIX. Fundición y moldeo de piezas de hierro y acero;
- XX. Fabricación de herramientas de mano; sólo mediante procesos térmicos o de fundición; no incluye la microindustria;
- XXI. Fundición de chatarra de fierro, de aluminio, de bronce, de plomo y de otros materiales metálicos;
- XXII. Fabricación y ensamble de maquinaria y equipo para diversos usos industriales, cuando incluye tratamiento térmico o de fundición;

*Apéndice A.  
Reglamento de  
la LGEEPA en  
materia de  
RETC y  
reformas al  
reglamento en  
la LGEEPA en  
materia de  
PCCA*

XXIII. Fabricación de trofeos y medallas cuando incluya fundición como proceso principal;

XXIV. Tratamiento térmico de piezas metálicas con combustibles fósiles; no incluye la microindustria ni artesanías;

XXV. Fundición y moldeo de piezas de metales no ferrosos;

XXVI. Fabricación de maquinaria agrícola y de ganadería; sólo si incluye procesos térmicos o de fundición;

XXVII. Fabricación de acumuladores y pilas eléctricas, y

XXVIII. Acuñación de monedas; incluye monedas conmemorativas.

#### E) Industria Automotriz

I. Fabricación de llantas y cámaras nuevas;

II. Fabricación de motores a gasolina y diesel de uso industrial; sólo mediante procesos térmicos o de fundición;

III. Fabricación de maquinaria para transportar y levantar; si incluye procesos térmicos o de fundición;

IV. Fabricación de automóviles y camiones; incluye tractocamiones y similares;

V. Fabricación de motores automotrices a gasolina o diesel;

VI. Fabricación de partes para el sistema de transmisión automotriz; si incluye procesos térmicos o de fundición;

VII. Fabricación de partes para el sistema de suspensión y dirección; si incluye procesos térmicos o de fundición;

VIII. Fabricación de partes para el sistema de frenos automotriz; sólo mediante procesos térmicos o de fundición;

IX. Fabricación de otras autopartes; si incluye procesos térmicos o de fundición, y

X. Fabricación de motocicletas; incluye cuádrimotos y similares.

#### F) Industria de la Celulosa y el Papel

I. Fabricación de celulosa;

II. Fabricación de papel;

III. Fabricación de cartón y cartoncillo; si involucra operaciones térmicas; no incluye la microindustria;

IV. Fabricación de papeles recubiertos y sus productos;

incluye otros acabados cuando se fabrica la celulosa o el papel, y

V. Fabricación de otros artículos celulósicos; cuando se fabrica la celulosa o el papel.

G) Industria Cementera y Calera

I. Fabricación de cemento;

II. Fabricación de cal, y

III. Fabricación de yeso y sus productos; sólo incluye estos últimos cuando se elabora el yeso.

H) Industria del asbesto

I. Fabricación de asbesto cemento y sus productos; incluye láminas, tinacos, tuberías y conexiones de asbesto cemento y tela de hilo de asbesto;

II. Autopartes para transportes fabricados con asbesto; incluye clutch, frenos y juntas, cuando se elabora la pasta de asbesto;

III. Fabricación de ropa de protección para fuego y calor, y

IV. Fabricación de otros productos que usen asbesto para su elaboración, cuando se elabora la pasta de asbesto.

I) Industria del Vidrio

I. Fabricación de vidrio plano, liso y labrado; incluye sus productos sólo cuando se elabora el vidrio;

II. Fabricación de espejos, lunas y similares; sólo cuando se elabora el vidrio;

III. Fabricación de fibra y lana de vidrio; incluye sus productos cuando se elabora la fibra o lana de vidrio; no incluye microindustria;

IV. Fabricación de botellas, envases y similares de vidrio; sólo cuando se elabora el vidrio; no incluye la microindustria;

V. Fabricación de artículos de vidrio refractario de uso doméstico;

VI. Fabricación artesanal de artículos de vidrio; sólo cuando involucra equipos de calentamiento directo; no incluye la microindustria;

*Apéndice A.  
Reglamento de  
la LGEEPA en  
materia de  
RETC y  
reformas al  
reglamento en  
la LGEEPA en  
materia de  
PCCA*

VII. Fabricación de otros artículos de vidrio o cristal; sólo cuando se elabora el vidrio;

VIII. Fabricación de artículos de vidrio refractario de uso industrial; incluye artículos para uso técnico;

IX. Fabricación de vitrales; sólo cuando se elabora el vidrio o se recicla; no incluye la microindustria, y

X. Fabricación de productos de vidrio reciclado; sólo con procesos térmicos, no incluye artesanías.

#### J) Generación de Energía Eléctrica

I. Generación de energía eléctrica; incluyendo las instalaciones que usan cualquier tipo de combustibles fósiles: líquidos, sólidos o gaseosos, y

II. Generación de energía eléctrica por procedimientos no convencionales contaminantes; se excluyen las núcleo eléctricas.

#### K) Tratamiento de residuos peligrosos

I. Tratamiento de residuos biológico-infecciosos;

II. Tratamiento físico de residuos peligrosos;

III. Tratamiento químico de residuos peligrosos;

IV. Tratamiento biológico de residuos peligrosos;

V. Tratamiento térmico de residuos peligrosos;

VI. Tratamiento de residuos peligrosos para uso como combustibles alternos;

VII. Tratamiento in situ de residuos peligrosos;

VIII. Centros integrales de manejo de residuos peligrosos, y

IX. Otros tratamientos.

ARTÍCULO 21. Los responsables de fuentes fijas de jurisdicción federal que cuenten con licencia otorgada por la Secretaría, deberán presentar ante ésta, una Cédula de Operación Anual dentro del periodo comprendido entre el primero 1o. de enero y el 30 de abril de cada año, los interesados deberán utilizar la Cédula de Operación Anual a que se refiere el artículo 10 del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes.

## TRANSITORIOS

ARTÍCULO PRIMERO. El presente Decreto entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

ARTÍCULO SEGUNDO. El formato e instructivo de la Cédula de Operación Anual se publicará en un plazo no mayor a 90 días posteriores a la entrada en vigor del presente Decreto.

ARTÍCULO TERCERO. La lista de sustancias sujetas a reporte de competencia federal será determinada en el Acuerdo que emita el Titular de la Secretaría, mismo que tendrá una vigencia no mayor a dos años hasta en tanto se expida la Norma Oficial Mexicana correspondiente.

ARTÍCULO CUARTO. La Secretaría emitirá a través de Acuerdos los lineamientos para la recepción de trámites por medios electrónicos en un plazo no mayor de ocho meses a partir de la entrada en vigor del presente Decreto.

ARTÍCULO QUINTO. Para el número de identificación a que hacen referencia los artículos 10 y 14 del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes, la Secretaría asignará a los establecimientos sujetos a reporte de competencia federal un Número de Registro Ambiental, hasta en tanto sea publicado en el Diario Oficial de la Federación el Acuerdo Secretarial para establecer el número único de identificación.

ARTÍCULO SEXTO. En tanto se expide el Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, el informe de movimiento de residuos peligrosos a que se refiere el artículo 8, fracción XI, del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Residuos Peligrosos, se presentará en el formato de la Cédula de Operación Anual descrito en el artículo 10 del Reglamento previsto en el diverso primero del presente Decreto.

ARTÍCULO SÉPTIMO. Las acciones previstas en este Reglamento, deberán llevarse a cabo conforme a las disposiciones pre-

*Apéndice A.  
Reglamento de  
la LGEEPA en  
materia de  
RETC y  
reformas al  
reglamento en  
la LGEEPA en  
materia de  
PCCA*

supuestarias vigentes y con cargo al presupuesto autorizado a la Secretaría.

Dado en la Residencia Oficial del Poder Ejecutivo Federal, en la Ciudad de México, D.F., a los dos días del mes de junio de dos mil cuatro.- Vicente Fox Quesada.- Rúbrica.- El Secretario de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Alberto Cárdenas Jiménez.- Rúbrica.

## APÉNDICE B. HIDROCARBUROS NO REACTIVOS

### HIDROCARBUROS NO REACTIVOS LISTADOS POR LA U.S. EPA

Sustancia Química	Sinónimo o fórmula condensada
Metano	CH <sub>4</sub>
Etano	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>
cloruro de metileno	diclorometano
1,1,1-tricloroetano	metilcloroformo
1,1,2-tricloro 1,2,2-trifluoroetano	CFC-113
Triclorofluorometano	CFC-11
Diclorodifluorometano	CFC-12
Clorodifluorometano	HCFC-22
Trifluorometano	HFC-23
1,2-dicloro 1,1,2,2-tetrafluoroetano	CFC-114
Cloropentafluoroetano	CFC-115
1,1,1-trifluoro 2,2-dicloroetano	HCFC-123
1,1,1,2-tetrafluoroetano	HFC-134a
1,1-dicloro 1-fluoroetano	HCFC-141b
1-cloro 1,1-difluoroetano	HCFC-142b
2-cloro 1,1,1,2-tetrafluoroetano	HCFC-124
Pentafluoroetano	HFC-125
1,1,2,2-tetrafluoroetano	HFC-134
1,1,1-trifluoroetano	HFC-143a
1,1-difluoroetano	HFC-152a
paraclorobenzotrifluoruro	PCBTf
Siloxanos cíclicos, ramificados o lineares completamente metilados	
Acetona	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CO
percloroetileno	tetracloroetileno

HIROCARBUROS NO REACTIVOS LISTADOS POR LA U.S. EPA (CONTINUACIÓN)

Sustancia Química	Sinónimo o fórmula condensada
3,3-dicloro-1,1,1,2,2-pentafluoropropano	HCFC-225ca
1,3-dicloro-1,1,2,2,3-pentafluoropropano	HCFC-225cb
1,1,1,2,3,4,4,5,5,5-decafluoropentano	HFC-43-10mee
difluorometano	HFC-32
Etilfluoruro	HFC-161
1,1,1,3,3,3-hexafluoropropano	HFC-236fa
1,1,2,2,3-pentafluoropropano	HFC-245ca
1,1,2,3,3-pentafluoropropano	HFC-245ea
1,1,1,2,3-pentafluoropropano	HFC-245eb
1,1,1,3,3-pentafluoropropano	HFC-245fa
1,1,1,2,3,3-hexafluoropropano	HFC-236ea
1,1,1,3,3-pentafluorobutano	HFC-365mfc
clorofluorometano	HCFC-31
1-cloro 1-fluoroetano	HCFC-151a
1,2-dicloro 1,1,2-trifluoroetano	HCFC-123a
1,1,1,2,2,3,3,4,4-nonafluoro-4-metoxi-butano	$C_4F_9OCH_3$
2-(difluorometoximetil) 1,1,1,2,3,3,3-heptafluoropropano	$(CF_3)_2CFCF_2OCH_3$
1-etoxi 1,1,2,2,3,3,4,4,4-nonafluorobutano	$C_4F_9OC_2H_5$
2-(etoxidifluorometil) 1,1,1,2,3,3,3-heptafluoropropano	$(CF_3)_2CFCF_2OC_2H_5$

Compuestos perfluorocarbonados que pertenezcan a estas clases:

- (i) alcanos cíclicos, ramificados o lineares completamente fluorinados
- (ii) Eteres cíclicos, ramificados o lineares completamente fluorinados sin insaturaciones
- (iii) Aminas cíclicas, ramificadas o lineares completamente fluorinadas sin insaturaciones
- (iv) Sulfuros que contengan perfluorocarbonos sin insaturaciones y enlaces sulfuro sólo a carbono y flúor.

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



# APÉNDICE C. CONTAMINANTES TÓXICOS DEL AIRE

## CONTAMINANTES TÓXICOS DEL AIRE EN LOS ESTADOS UNIDOS

(DE ACUERDO A *CLEAN AIR ACT* – *SECTION 112(B)*)

NÚMERO CAS	NOMBRE QUÍMICO
79-34-5	1,1,2,2-Tetracloroetano
79-00-5	1,1,2-Tricloroetano
57-14-7	1,1-Dimetilhidracina
120-82-1	1,2,4-Triclorobenceno
96-12-8	1,2-Dibromo- 3-Cloropropano
122-66-7	1,2-Difenilhidracina
106-88-7	1,2-Epoxibutano
75-55-8	1,2-Propilenimina (2 Metilaziridina)
106-99-0	1,3-Butadieno
542-75-6	1,3-Dicloropropeno
1120-71-4	1,3-Propano sultona
106-46-7	1,4-Diclorobenceno
123-91-1	1,4-Dioxano (1,4 Dietilenooxido)
540-84-1	2,2,4-Trimetilpentano
1746-01-6	2,3,7,8-Tetraclorodibenzo p dioxina
95-95-4	2,4,5-Triclorofenol
88-06-2	2,4,6-Triclorofenol
94-75-7	2,4-D (incluyendo sales y ésteres)
51-28-5	2,4-Dinitrofenol
121-14-2	2,4-Dinitrotolueno
584-84-9	2,4-Diisocianato de Tolueno
53-96-3	2-Acetilaminofloreño
532-27-4	2-Cloroacetofenona

CONTAMINANTES TÓXICOS DEL AIRE EN LOS ESTADOS UNIDOS

(DE ACUERDO A *CLEAN AIR ACT* - *SECTION 112(B)*)

(CONTINUACIÓN)

Apéndice C.  
Contaminantes  
tóxicos del aire

NÚMERO CAS	NOMBRE QUÍMICO
79-46-9	2-Nitropropano
91-94-1	3,3'-Diclorobencidina
119-93-7	3,3'-Dimetilbencidina
119-90-4	3,3'-Dimetoxibencidina
101-14-4	4,4'-Metileno bis (2 Cloroanilina)
101-77-9	4,4'-Metilenodianilina
101-68-8	4,4'-Metilenodifenil diisocianato (MDI)
N/A	4,6 Dinitro o cresol (incluyendo sales)
92-67-1	4 Aminobifenil
60-11-7	4-Dimetilaminoazobenceno
92-93-3	4 Nitrobifenilo
100-02-7	4 Nitrofenol
75-07-0	Acetaldehido
60-35-5	Acetamida
108-05-4	Acetato de vinilo
98-86-2	Acetofenona
75-05-8	Acetonitrilo
79-10-7	Acido acrílico
7647-01-0	Acido clorhídrico (Cloruro de Hidrógeno [sólo gas])
79-11-8	Acido cloroacético
79-06-1	Acrilamida
107-13-1	Acrilonitrilo
107-02-8	Acroleina
107-05-1	Alil cloruro
85-44-9	Anhídrico Ftalico
108-31-6	Anhídrido Maléico
62-53-3	Anilina
1332-21-4	Asbestos
71-43-2	Benceno (incluyendo el benceno de la gasolina)
92-87-5	Bencidina
100-44-7	Bencil cloruro

CONTAMINANTES TÓXICOS DEL AIRE EN LOS ESTADOS UNIDOS

(DE ACUERDO A *CLEAN AIR ACT* – *SECTION 112(B)*)

(CONTINUACIÓN)

NÚMERO CAS	NOMBRE QUÍMICO
98-07-7	Benzotricloruro
57-57-8	beta Propiolactona
92-52-4	Bifenil
1336-36-3	Bifenilos Policlorados (Arocloros)
117-81-7	Bis (2-etihexil)ftalato (DEHP)
542-88-1	Bis (clorometil) eter
75-25-2	Bromoformo
593-60-2	Bromuro de Vinilo
105-60-2	Caprolactam
133-06-2	Captan
63-25-2	Carbaril
463-58-1	Carbonil sulfuro
120-80-9	Catecol
156-62-7	Cinamida de calcio
133-90-4	Cloramben
57-74-9	Clordano
7782-50-5	Cloro
108-90-7	Clorobenceno
510-15-6	Clorobencilato
67-66-3	Cloroformo
107-30-2	Clorometil metil eter
126-99-8	Cloropreno
75-09-2	Cloruro de Metileno (Diclorometano)
75-35-4	Cloruro de Vinilideno (1,1-Dicloroetileno)
75-01-4	Cloruro de Vinilo
N/A	Compuestos de Antimonio <sup>a</sup>
N/A	Compuestos de Arsénico <sup>a</sup> (inorgánicos incluyendo arsina)
N/A	Compuestos de Berilio <sup>a</sup>
N/A	Compuestos de Cadmio <sup>a</sup>
N/A	Compuestos de Cianuro <sup>a,b</sup>

*Apéndice C.  
Contaminantes  
tóxicos del aire*

CONTAMINANTES TÓXICOS DEL AIRE EN LOS ESTADOS UNIDOS  
(DE ACUERDO A *CLEAN AIR ACT* - *SECTION 112(B)*)  
(CONTINUACIÓN)

NÚMERO CAS	NOMBRE QUÍMICO
N/A	Compuestos de Cobalto <sup>a</sup>
N/A	Compuestos de Cromo <sup>a</sup>
N/A	Compuestos de Manganeso <sup>a</sup>
N/A	Compuestos de Mercurio <sup>a</sup>
N/A	Compuestos de Níquel <sup>a</sup>
N/A	Compuestos de Plomo <sup>a</sup>
N/A	Compuestos de Selenio <sup>a</sup>
1319-77-3	Cresol/Acido cresílico (mezcla de isómeros)
98-82-8	Cumeno
72-55-9	DDE
334-88-3	Diazometano
132-64-9	Dibenzofurano
106-93-4	Dibromuro de Etileno (Dibromoetano)
84-74-2	Dibutil ftalato
111-44-4	Dicloroetil eter (Bis[2-Cloroetil]eter)
107-06-2	Dicloruro de Etileno (1,2-Dicloroetano)
75-34-3	Dicloruro de Etilideno (1,1-Dicloroetano)
78-87-5	Dicloruro de Propileno (1,2-Dicloropropano)
62-73-7	Diclorvos
111-42-2	Dietanolamina
64-67-5	Dietil sulfato
822-06-0	Diisocianato de Hexametileno
131-11-3	Dimetil ftalato
77-78-1	Dimetil sulfato
79-44-7	Dimetilcarbamoil cloruro
68-12-2	Dimetilformamida
75-15-0	Disulfuro de carbono
N/A	Emisiones de Hornos de Coque
106-89-8	Epiclorohidrina (1-cloro 2,3-epoxipropano)
100-42-5	Estireno
N/A	Eteres de Glicol <sup>c</sup>

CONTAMINANTES TÓXICOS DEL AIRE EN LOS ESTADOS UNIDOS

(DE ACUERDO A *CLEAN AIR ACT – SECTION 112(B)*)

(CONTINUACIÓN)

NÚMERO CAS	NOMBRE QUÍMICO
140-88-5	Etil acrilato
100-41-4	Etil benceno
51-79-6	Etil carbamato (Uretano)
75-00-3	Etil cloruro (Cloroetano)
107-21-1	Etilenglicol
151-56-4	Etilenimina (Aziridina)
108-95-2	Fenol
N/A	Fibras minerales finas <sup>d</sup>
7664-39-3	Fluoruro de Hidrógeno (Acido Hidrofluorídrico)
50-00-0	Formaldehido
7803-51-2	Fosfina
7723-14-0	Fósforo
75-44-5	Fosgeno
76-44-8	Heptacloro
118-74-1	Hexaclorobenceno
87-68-3	Hexaclorobutadieno
77-47-4	Hexaclorociclopentadieno
67-72-1	Hexacloroetano
680-31-9	Hexametilfosforamida
110-54-3	Hexano
302-01-2	Hidracina
123-31-9	Hidroquinona
78-59-1	Isoforono
N/A	Lindano (todos los isómeros)
N/A	Materia Orgánica Policíclica <sup>e</sup>
108-39-4	m Cresol
67-56-1	Metanol
74-83-9	Metil bromuro (Bromometano)
71-55-6	Metil Cloroformo (1,1,1-Tricloroetano)
74-87-3	Metil cloruro (Clorometano)
78-93-3	Metil etil cetona (2-Butanona)

*Apéndice C.  
Contaminantes  
tóxicos del aire*

CONTAMINANTES TÓXICOS DEL AIRE EN LOS ESTADOS UNIDOS

(DE ACUERDO A *CLEAN AIR ACT* - *SECTION 112(B)*)

(CONTINUACIÓN)

*Apéndice C.  
Contaminantes  
tóxicos del aire*

NÚMERO CAS	NOMBRE QUÍMICO
60-34-4	Metil hidracina
108-10-1	Metil isobutil cetona (Hexona)
624-83-9	Metil isocianato
80-62-6	Metil metacrilato
1634-04-4	Metil ter-butil eter
74-88-4	Metil yoduro (Iodometano)
72-43-5	Metoxicloro
108-38-3	m Xileno
121-69-7	N,N-Dimetilanilina
91-20-3	Naftaleno
98-95-3	Nitrobenceno
62-75-9	N-Nitrosodimetilamina
59-89-2	N-Nitrosomorfolina
684-93-5	N-Nitroso - N-metilurea
90-04-0	o-Anisidina
95-48-7	o-Cresol
95-53-4	o-Toluidina
96-09-3	Oxido de Estireno
75-21-8	Oxido de Etileno
75-56-9	Oxido de Propileno
95-47-6	o-Xileno
56-38-2	Parathion
106-44-5	p-Cresol
87-86-5	Pentaclorofenol
82-68-8	Pentacloronitrobenceno (Quintobenceno)
106-50-3	p-Fenilenediamina
123-38-6	Propionaldehido
114-26-1	Propoxur (Baygon)
106-42-3	p-Xileno
91-22-5	Quinolina
106-51-4	Quinona (p-Benzoquinona)

CONTAMINANTES TÓXICOS DEL AIRE EN LOS ESTADOS UNIDOS

(DE ACUERDO A *CLEAN AIR ACT* – *SECTION 112(B)*)

(CONTINUACIÓN)

NÚMERO CAS	NOMBRE QUÍMICO
N/A	Radionúclidos (incuyendo Radón) <sup>f</sup>
127-18-4	Tetracloroetileno (Percloroetileno)
56-23-5	Tetracloruro de carbono
7550-45-0	Tetracloruro de Titanio
96-45-7	Tiourea de Etileno
108-88-3	Tolueno
95-80-7	Tolueno-2,4-diamina
8001-35-2	Toxafeno (camfene clorado)
79-01-6	Tricloroetileno
121-44-8	Trietilamina
1582-09-8	Trifluralina
1330-20-7	Xileno (mezcla de isómeros)

Apéndice C.  
Contaminantes  
tóxicos del aire

- a) Para todos los incisos anteriores que contienen la palabra «compuestos» y para los éteres de glicol, aplica lo siguiente: a menos que se indique lo contrario, está definido que estos listados incluyen cualquier sustancia química única que contenga la sustancia indicada (i. e., antimonio, arsénico, etc.), como parte de la estructura molecular de dicha sustancia.
- b) X'CN donde X = H' o cualquier otro grupo en el que pueda ocurrir una disociación formal. Por ejemplo, KCN ó Ca(CN)<sub>2</sub>.
- c) Incluye los mono y di-éteres de etilenglicol, di-etilenglicol y tri-etilenglicol R-(OCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>)<sub>n</sub>-OR', donde:
- n = 1, 2 ó 3
- R = grupos alquil o aril
- R' = R, H, o grupos que, cuando son eliminados, producen éteres de glicol con la estructura: R-(OCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>)<sub>n</sub>-OH.

Los polímeros son excluidos de la categoría de glicoles.

- d) Incluye emisiones de fibras minerales de los establecimientos que manufacturan o procesan fibras de vidrio, roca o escoria (u

otras fibras derivadas de minerales), con un diámetro promedio menor o igual a 1 micra.

- e) Incluye los hidrocarburos aromáticos policíclicos sustituidos o no sustituidos y los compuestos aromáticos heterocíclicos con dos o más anillos fusionados, cuando menos uno de los cuales tiene una estructura benzoidea. La Materia Policíclica Orgánica es una mezcla de compuestos orgánicos que contienen uno o más de estas sustancias químicas aromáticas policíclicas. La Materia Policíclica Orgánica generalmente es formada o emitida durante los procesos térmicos, incluyendo: (1) combustión incompleta; (2) pirólisis; (3) volatilización, destilación o procesamiento de combustibles fósiles o bituminosos; y (4) la destilación o procesamiento térmico de combustibles no fósiles.
- f) Un tipo de átomo que de manera espontánea sufre descomposición radioactiva.



## APÉNDICE D.

### EJEMPLOS DE CALCULOS CON FACTORES DE EMISIÓN Y MODELOS MECANÍSTICOS DE EMISIONES

---

#### EJEMPLO DE CÁLCULOS DE EMISIONES DE POLVOS FUGITIVOS (CAMINOS DE TERRACERIA)

Calcular las emisiones anuales de PM<sub>10</sub> (p.ej., utilizando un multiplicador de tamaño aerodinámico de partícula de 0.36) generadas en caminos rurales de terracería por la circulación vehicular, donde se tiene una superficie con un contenido promedio de sedimentos de 12%. Suponer que el peso medio de los vehículos es de 4 Mg, la velocidad promedio es de 25 km/hr y el número medio de ruedas es cuatro. Asimismo, el número medio de días al año con una precipitación superior a 0.254 mm es de 40, y el número de kilómetros recorridos por los vehículos es de 3,650,000 km/año.

Modelo a aplicar:

$$M = VKT \times FE$$

donde:

M = tasa promedio anual de emisión en masa, kg/año;

VKT = kilómetros vehículo recorridos VKT/año;

FE = factor de emisión, kg/VKT.

$$FE = k(1.7) \left( \frac{s}{12} \right) \left( \frac{S}{24} \right) \left( \frac{w}{2.7} \right)^{0.7} \left( \frac{W}{4} \right)^{0.5} \left( \frac{365-p}{365} \right) \left( \frac{kg}{VKT} \right)$$

$$FE = k(5.9) \left( \frac{s}{12} \right) \left( \frac{S}{24} \right) \left( \frac{W}{2.7} \right)^{0.7} \left( \frac{w}{4} \right)^{0.5} \left( \frac{365-p}{365} \right) \left( \frac{lb}{VKT} \right)$$

donde:

$FE$  = factor de emisión

$k$  = multiplicador del tamaño de partícula (adimensional)

$s$  = contenido de sedimentos en el material de recubrimiento de los caminos (%);

$S$  = velocidad vehicular promedio, km/hr (mph);

$W$  = peso medio del vehículo, Mg (ton);

$w$  = número medio de ruedas

$p$  = número de días al año con una precipitación mínima de 0.254 mm (0.01 in.).

Aplicando los datos del problema al modelo correspondiente, se tiene lo siguiente:

$$FE = 0.36(1.7) \left( \frac{12}{12} \right) \left( \frac{25}{24} \right) \left( \frac{4}{2.7} \right)^{0.7} \left( \frac{4}{4} \right)^{0.5} \left( \frac{365 - 40}{365} \right)$$

$$FE = 0.3737 \text{ kg/VKT}$$

$$M = (3,650,000) \times (0.3737)$$

$$M = 1,364,000 \text{ kg PM}_{10}/\text{año}$$

#### EJEMPLO DE CÁLCULOS DE EMISIONES DE RELLENOS SANITARIOS

Calcular las emisiones anuales de metano de un relleno sanitario activo que ha estado abierto durante 15 años y que ha aceptado desperdicios a una tasa promedio de 10,000 Mg/año. Suponer un potencial de generación de metano de 125 m<sup>3</sup>/Mg y una constante de la tasa de generación de metano de 0.02 por año.

Modelo a aplicar:

$$Q_{CH_4} = L_0 \times R \times (e^{k_c} - e^{-k_c t})$$

donde:

$Q_{CH_4}$  = tasa de generación de metano en el tiempo  $t$ ,  
m<sup>3</sup>/año;

- $L_o$  = potencial de generación de metano,  $m^3CH_4/Mg$  desperdicios;  
 $R$  = tasa promedio anual de aceptación de desperdicios durante la vida activa,  $Mg/año$ ;  
 $e$  = base de logaritmos naturales, adimensional;  
 $k$  = constante de la tasa de generación de metano,  $año^{-1}$ ;  
 $c$  = tiempo transcurrido desde el cierre del relleno, años ( $c=0$  para rellenos activos) y  
 $t$  = tiempo transcurrido desde la colocación inicial de desperdicios, años.

*Apéndice D.*  
*Ejemplo de*  
*cálculos de*  
*emisiones*

Aplicando los datos del problema al modelo correspondiente, se tiene lo siguiente:

$$\begin{aligned}
 Q_{CH_4} &= (125 \text{ m}^3 \text{ Mg}) \times (10,000 \text{ Mg/año}) \\
 &\quad \times (e^{-(0.02/año)} (0 \text{ año}) - e^{-(0.02/año)} (15 \text{ año})) \\
 &= 125 \times 10,000 \times (1 - 0.7408) \\
 &= 324,000 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{año}
 \end{aligned}$$

#### EJEMPLO DE CÁLCULOS DE EMISIONES DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Este ejemplo aborda el cálculo de emisiones de un tanque con techo fijo por el almacenamiento de una mezcla de productos químicos. El problema consiste en determinar las emisiones anuales de COV por el almacenamiento de una mezcla de productos químicos en un tanque de techo cónico fijo ubicado en Denver, Colorado. Dado que los datos originales del sitio del problema se dan en unidades del sistema inglés, el cálculo se realiza en dicho sistema de unidades. La mezcla de productos químicos contiene 3,171 lb de mezcla con 2,812 lb de benceno, 258 lb de tolueno y 101 lb de ciclohexano. El tanque tiene 6 ft de diámetro; 12 ft de alto y su contenido promedio es de 8 ft de altura de producto. El volumen de trabajo del tanque es de 1,690 gal y se encuentra pintado de blanco en el exterior. El número equivalente de

operaciones de vaciado al año es de 5 (es decir, que el volumen de producto extraído del tanque al año es de 8,450 gal).

La solución de este problema consta de 7 pasos, los cuales se desglosan a continuación:

1. DETERMINAR EL TIPO DE TANQUE. Se trata de un tanque vertical de techo cónico fijo, lo cual determina el modelo mecanístico a utilizarse.
2. ESTABLECER LA METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES. El producto esta compuesto por 3 líquidos orgánicos, los cuales son misibles entre ellos, lo cual hace que la mezcla del producto sea homogénea. La ley de Raoult puede aplicarse a la mezcla para determinar sus propiedades físicas.
3. SELECCIONAR EL MODELO MECANÍSTICO Y DE ECUACIONES A UTILIZARSE.

$$L_T = L_S + L_W$$

$$L_S = 365 W_V V_V K_E K_S$$

$$L_W = 0.0010 M_V P_{VA} Q K_N K_P$$

Donde:

$L_T$  = pérdidas totales, lb/yr

$L_S$  = pérdidas en reposo, lb/yr

$L_W$  = pérdidas en operaciones de llenado y vaciado, lb/yr

$V_V$  = volumen de vapor en el tanque, ft<sup>3</sup>

$$V_V = \pi/4 D^2 H_{VO}$$

$W_V$  = Densidad del vapor

$$W_V = \frac{M_V P_{VA}}{RT_{LA}}$$

$K_E$  = factor de extensión del espacio de vapor

$$K_E = \frac{\Delta T_V}{T_{LA}} + \frac{\Delta P_V - \Delta P_B}{P_A - P_{VA}}$$

$K_S$  = factor de saturación del vapor de venteo

$$K_S = \frac{1}{1 + 0.053 P_{VA} H_{VO}}$$

$D$  = diámetro, ft

$H_{VO}$  = altura del espacio de vapor, ft  
 $M_V$  = peso molecular del vapor, lb/lb-mole  
 $P_{VA}$  = presión de vapor del líquido a temperatura promedio, psia  
 $R$  = constante de gases ideales, 10.731 psia - ft<sup>3</sup>/lb-mole-°R  
 $T_{LA}$  = temperatura promedio del líquido, °R  
 $\Delta T_V$  = rango de temperatura de vapor, °R  
 $\Delta P_V$  = rango de presión de vapor, psia  
 $\Delta P_B$  = rango de presión de venteo, psia  
 $P_A$  = presión atmosférica, psia  
 $Q$  = flujo anual de volumen extraído  
 $K_N$  = factor de pérdidas de operación, adimensional  
 $K_P$  = factor de pérdidas del producto, adimensional

Apéndice D.  
 Ejemplo de  
 cálculos de  
 emisiones

#### 4. CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS POR COMPONENTE DE LA MEZCLA

a. *Volumen de vapor en el tanque,  $V_V$*

$$V_V = \pi/4 D^2 H_{VO}$$

$$D = 6 \text{ ft}$$

Para un techo cónico, la altura del espacio de vapor se calcula, a través de:

$$H_{VO} = H_S - H_L + H_{RO}$$

donde:

$H_S$  = altura de almacenamiento del tanque, 12 ft

$H_L$  = altura del líquido o producto almacenado, 8 ft

$H_{RO}$  = altura del techo cónico,  $1/3 H_R = 1/3(S_R)(R_S)$

$S_R$  = pendiente del techo cónico, 0.0625 ft/ft

$R_S$  = radio del tanque =  $1/2 D = 1/2 (6 \text{ ft}) = 3 \text{ ft}$

Sustituyendo valores en la ecuación anterior y en las previas, se tiene que:

$$H_{RO} = (1/3) (0.0625) (3) = 0.0625 \text{ ft}$$

$$H_{VO} = 12 - 8 + 0.0625 = 4.0625 \text{ ft}$$

Por lo que,

$$V_V = (\pi/4) (6)^2 (4.0625) = 114.86 \text{ ft}^3$$

b. Densidad del vapor,  $W_v$

$$W_v = \frac{M_v P_{VA}}{RT_{LA}}$$

El cálculo de  $T_{LA}$  se realiza a través de:

$$T_{LA} = 0.44 T_{AA} + 0.56 T_B + 0.0079 \alpha I$$

donde:

$T_{AA}$  = temperatura ambiente promedio, °R

$T_B$  = temperatura del líquido, °R

$I$  = absorbencia de energía solar promedio, Btu/ft . día  
= 1,568

$\alpha$  = factor de absorbencia de energía solar dado el color  
blanco del tanque = 0.17

$T_{AA}$  y  $T_B$  pueden calcularse con las siguientes ecuaciones:

$$T_{AA} = \frac{T_{AX} - T_{AN}}{2}$$

$T_B$  = temperatura del líquido =  $T_{AA} + 6\alpha - 1$

De información específica del sitio, Denver, Colorado, se tiene que:

$T_{AX}$  = Temperatura ambiental máxima diaria = 64.3°F

$T_{AN}$  = Temperatura ambiental mínima diaria = 36.2°F

convirtiendo a °R, se tiene que:

$$T_{AX} = 64.3 + 460 = 524.3^\circ\text{R}$$

$$T_{AN} = 36.2 + 460 = 496.2^\circ\text{R}$$

por lo que, sustituyendo en las ecuaciones previas, se tiene que:

$$T_{AA} = (524.3 + 496.2)/2 = 510.25^\circ\text{R}$$

$$T_B = 510.25 + 6 (0.17) - 1 = 510.27^\circ\text{R}$$

$$T_{LA} = (0.44)(510.25^\circ\text{R}) + 0.56(510.27^\circ\text{R}) + 0.0079(0.17) (1,568) = 512.36^\circ\text{R}$$

El cálculo de  $P_{va}$  se realiza a partir de la Ley de Raoult, la cual establece que la presión parcial de un componente de una mezcla es igual al producto de su presión de vapor por su fracción molar en la mezcla líquida. La suma de las presiones parciales es igual a la presión de vapor total de la mezcla. De igual manera, la presión de vapor de cada uno de los componentes de la mezcla se calcula a partir de la ecuación de Antoine,

$$\text{Log}P = A - \frac{B}{T - C}$$

Los coeficientes de los componentes de la mezcla son los siguientes: para benceno,  $A = 6.905$ ,  $B = 1,211.033$  y  $C = 220.79$ , para tolueno,  $A = 6.954$ ,  $B = 1,344.8$  y  $C = 219.48$ , y para ciclohexano,  $A = 6.841$ ,  $B = 1,201.53$  y  $C = 222.65$ .

Convirtiendo,  $T_{LA}$  a  $^{\circ}\text{C}$  se tiene que:

$$(^{\circ}\text{C}) = (512.36 - 492)/1.8 = 11,$$

y volviendo entonces a la ecuación de Antoine, se tiene:  
para benceno:

$$\text{Log}P = 6.905 - \frac{1,211.033}{11^{\circ}\text{C} + 220.79}$$

$$P = 47.90 \text{ mmHg} = 0.926 \text{ psia}$$

para tolueno:  $P = 0.255 \text{ psia}$

para ciclohexano:  $P = 0.966 \text{ psia}$

Las fracciones molares de cada componente se determinan en el cuadro D-1:

CUADRO D-1. FRACCIONES MOLARES

COMPONENTE	MASA, lb	$M_i$	MOLES	$x_i$
Benceno	2,812	78.1	36	0.9
Tolueno	258	92.1	2.8	0.07
Ciclohexano	101	84.2	1.2	0.03
Total			40	1

$M_i$  = peso molecular del componente

$x_i$  = fracción molar en el líquido

Apéndice D.  
Ejemplo de  
cálculos de  
emisiones

Con base en los resultados anteriores, pueden calcularse las presiones parciales de cada componente de la mezcla mediante el producto de la presión de vapor y la fracción molar del líquido, como se establece en el Cuadro D-2:

CUADRO D-2. PRESIÓN DE VAPOR POR LA FRACCIÓN MOLAR DEL LÍQUIDO

COMPONENTES	P a 52°F	$x_i$	$P_{\text{parcial}}$
Benceno	0.926	0.9	0.833
Tolueno	0.255	0.07	0.018
Ciclohexano	0.966	0.03	0.029
Total		1	0.88

La presión de vapor total de la mezcla es de 0.880 psia.

El peso molecular del vapor,  $M_v$ , puede calcularse a partir de las fracciones molares de los componentes del vapor, a través de la siguiente ecuación:

$$M_v = \sum M_i y_i$$

Donde

$M_i$  = peso molecular del componente

$y_i$  = fracción molar en vapor

Las fracciones molares en el vapor,  $y_i$ , son iguales a la presión parcial del componente dividido entre la presión de vapor total de la mezcla, luego entonces, se tiene que:

$$Y_{\text{benceno}} = \frac{P_{\text{parcial}}}{P_{\text{total}}} = \frac{0.833}{0.880} = 0.947$$

Similarmente, para el tolueno y el ciclohexano se tiene que:

$$Y_{\text{tolueno}} = \frac{P_{\text{parcial}}}{P_{\text{total}}} = 0.020$$

$$Y_{\text{ciclohexano}} = \frac{P_{\text{parcial}}}{P_{\text{total}}} = 0.033$$

Las fracciones molares en el vapor suman 1.0, con lo que se verifica la validez del cálculo.



El peso molecular del vapor,  $M_v$ , puede entonces estimarse a partir de la suma de cada componente, como se desglosa en el Cuadro D-3.

CUADRO D-3. PESO MOLECULAR DEL VAPOR  $M_v$

COMPONENTE	$M_i$	$Y_i$	$M_v$
Benceno	78.1	0.947	74
Tolueno	92.1	0.02	1.84
Ciclohexano	84.2	0.033	2.78
Total			78.6

Apéndice D.  
Ejemplo de  
cálculos de  
emisiones

La densidad del líquido almacenado puede ahora calcularse, substituyendo en la siguiente ecuación:

$$W_V = \frac{M_V P_{VA}}{RT_{LA}}$$

Donde se tiene que:

$$W_V = \frac{(78.6)(0.880)}{(10.731)(512.36)} = 1.26 \times 10^{-2} \text{ lb/ft}^3$$

c. Factor de expansión del espacio de vapor,  $K_E$

El factor de expansión del espacio de vapor se determina con la siguiente ecuación:

$$K_E = \frac{\Delta T_V}{T_{LA}} + \frac{\Delta P_V - \Delta P_B}{P_A - P_{VA}}$$

El rango de la temperatura de vapor se determina a partir de la siguiente ecuación

$$\Delta T_V = 0.72 \Delta T_A + 0.028 \alpha I$$

Dados los valores de  $T_{AX} = 64.3^\circ\text{F}$  y  $T_{AN} = 36.2^\circ\text{F}$ , substituyendo en la ecuación:

$$\Delta T_A = T_{AX} - T_{AN}$$

se tiene que:

$$\Delta T_A = 524.3 - 496.2 = 28.1^\circ\text{R}$$

por lo que:

$$\Delta T_V = 0.72 (28.1) + (0.028)(0.17)(1568) = 27.7^\circ\text{R}$$

El rango de presión de vapor se determina a su vez, a través de la siguiente ecuación:

$$\Delta P_v = P_{vX} - P_{vN}$$

Donde:

$P_{vX}, P_{vN}$  = Presión de vapor máxima y mínima diarias, las cuales pueden estimarse en forma similar a  $P_{vA}$

$T_{LX}$  = Temperatura máxima del líquido,  $T_{LA} + 0.25 \Delta T_v$

$T_{LN}$  = Temperatura mínima del líquido,  $T_{LA} - 0.25 \Delta T_v$

$T_{LA} = 512.36$

$\Delta T_v = 27.7^\circ R$

$T_{LX} = 512.36 + (0.25) (27.7) = 519.3^\circ R$  ó  $59^\circ F$

$T_{LN} = 512.36 - (0.25) (27.7) = 505.4^\circ R$  ó  $45^\circ F$

Usando la ecuación de Antoine, se tiene que la presión de vapor de cada componente a la temperatura mínima del líquido es:

$$P_{\text{benceno}} = 0.758 \text{ psia}$$

$$P_{\text{tolueno}} = 0.203 \text{ psia}$$

$$P_{\text{ciclohexano}} = 0.794 \text{ psia}$$

La presión parcial de cada componente a  $T_{LN}$  puede determinarse como se desglosa en el Cuadro D-4.

CUADRO D-4. PRESIÓN PARCIAL

COMPONENTE	P a 45°F	$X_i$	$P_{\text{parcial}}$
Benceno	0.758	0.9	0.68
Tolueno	0.203	0.07	0.01
Ciclohexano	0.794	0.03	0.02
Total		1	0.71

Usando la ecuación de Antoine, se tiene la presión de vapor de cada componente a la temperatura máxima del líquido;

$$P_{\text{benceno}} = 1.14 \text{ psia}$$

$$P_{\text{tolueno}} = 0.32 \text{ psia}$$

$$P_{\text{ciclohexano}} = 1.18 \text{ psia}$$

La presión parcial de cada componente a  $T_{LX}$  puede determinarse a partir del Cuadro D-5.

CUADRO D-5. PRESIÓN PARCIAL DE CADA COMPONENTE A  $T_{LX}$

COMPONENTE	$P$	$X_i$	$P_{\text{parcial}}$
Benceno	1.14	0.9	1.03
Tolueno	0.32	0.07	0.02
Ciclohexano	1.18	0.03	0.04
Total		1	1.09

Apéndice D.  
Ejemplo de  
cálculos de  
emisiones

Luego entonces se tiene que el rango de la presión de vapor es:

$$\Delta P_V = P_{LX} - P_{LN} = 1.09 - 0.710 = 0.38 \text{ psia.}$$

Ahora puede calcularse el rango de la presión de venteo como sigue:

$$\Delta P_B = P_{BP} - P_{BV}$$

Donde:

$P_{BP}$  = presión de venteo preestablecida = 0.03 psia.

$P_{BV}$  = presión de vacío preestablecida = - 0.03 psia

$\Delta P_B = 0.03 - (-0.03) = 0.06 \text{ psia}$

Sustituyendo en la ecuación de  $K_E$  se tiene que:

$$K_E = \frac{27.7}{512.36} + \frac{0.38 - 0.06 \text{ psia}}{14.7 \text{ psia} - 0.880 \text{ psia}} = 0.077$$

d. Factor de saturación del espacio de venteo de vapor,  $K_S$

$$K_S = \frac{1}{1 + 0.053 P_{VA} H_{VO}}$$

donde

$P_{VA} = 0.880 \text{ psia}$

$H_{VO} = 4.0625 \text{ ft}$

Sustituyendo en la ecuación anterior, se tiene que:

$$K_S = \frac{1}{1 + 0.053(0.880)(4.0625)} = 0.841$$

## 5. CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS EN REPOSO

$$L_s = 365 W_v V_v K_E K_S$$

Donde se tienen los siguientes valores calculados:

$$W_v = 1.26 \times 10^{-2} \text{ ft}^3$$

$$V_v = 114.86 \text{ ft}^3$$

$$K_E = 0.077$$

$$K_S = 0.841$$

Sustituyendo en la ecuación anterior, se tiene que:

$$L_s = 365(1.26 \times 10^{-2})(114.86)(0.077)(0.841) = 34.2 \text{ lb/yr}$$

## 6. CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS EN OPERACIONES DE LLENADO Y VACIADO

$$L_w = (0.0010) M_v P_{va} Q K_N K_p$$

Donde se tienen los siguientes valores calculados y por omisión:

$$M_v = 78.6$$

$$P_{va} = 0.880 \text{ psia}$$

$$Q = 8,450 \text{ gal/yr} \times 2.381 \text{ bbl/100 gal} = 201 \text{ bbl/yr}$$

$$K_p = \text{Factor del producto} = 1, \text{ para líquidos orgánicos volátiles (0.75, para petróleo crudo)}$$

$$K_N = \text{factor de pérdida por operación} = 1$$

$$N = \text{número de operaciones de llenado y vaciado al año} = 5$$

Sustituyendo en la ecuación anterior, se tiene que:

$$L_w = (0.0010)(78.6)(0.880)(201)(1)(1) = 13.9 \text{ lb/yr}$$

## 7. CÁLCULO DE PÉRDIDAS TOTALES, $L_T$

$$L_T = L_s + L_w$$

Donde:

$$L_s = 34.2 \text{ lb/yr}$$

$$L_w = 13.9 \text{ lb/yr}$$

Sustituyendo en la ecuación anterior se tiene que:

$$L_T = 34.2 + 13.9 = 48.1 \text{ lb/yr}$$

Las pérdidas totales son equivalentes a las emisiones de COV derivadas del almacenamiento de la mezcla química descrita, por lo que puede asumirse que:

$$\text{Emisiones anuales COV} = 48.1 \text{ lb}$$

Apéndice D.  
Ejemplo de  
cálculos de  
emisiones

#### EJEMPLO DE CÁLCULOS DE EMISIONES DE OPERACIONES DE CARGA DE PRODUCTOS DERIVADOS DEL PETRÓLEO

Estimar las emisiones de COV por pérdida en operaciones de carga -*Loading losses*- ( $L_L$ ) de un carro tanque (pipa) de gasolina, en una estación con prácticas de recuperación de vapores de gasolina.

De los datos de la pipa y del sistema de recuperación de vapores, se tiene que:

- Volumen de carga: 8000 gal
- Presión de vapor Reid (RVP) de la gasolina: 9 psia
- Temperatura del producto: 80° F
- Eficiencia de recuperación de vapor: 95%

De la ecuación general de pérdidas por operaciones de carga de productos derivados del petróleo se tiene el siguiente modelo:

$$L_L = 12.46 \frac{SPM}{T} \left( 1 - \frac{eff}{100} \right)$$

donde:

$S$  = factor de saturación = 1.00

$P$  = presión de vapor real = 6.6 psia

$M$  = peso molecular de los vapores de gasolina = 66

$T$  = temperatura de la gasolina = 540° R

$eff$  = eficiencia global de reducción de emisiones (95% control x 90% recolección) = 85%

Las pérdidas por unidad de volumen se calculan entonces aplicando la fórmula descrita, con lo que se tiene:

$$L_L = 12.46 \frac{(1.00)(6.6)(66)}{540} \left(1 - \frac{85}{100}\right)$$

$$L_L = 1.5 \text{ lb}/10^3 \text{ gal}$$

Las pérdidas totales, equivalentes a las emisiones de COV, durante la operación de descarga de la pipa de gasolina ascienden a:

$$(1.5 \text{ lb}/10^3 \text{ gal})(8.0 \times 10^3 \text{ gal}) = 12 \text{ lb}$$

#### EJEMPLO DE CÁLCULOS DE EMISIONES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Calcular las emisiones de COV provenientes de una laguna de aireación para el tratamiento biológico de desechos industriales, cuyo influente contiene una concentración de benceno de  $10.29 \text{ g}/\text{m}^3$ . Los pasos del cálculo son los siguientes:

- I. Determinar el modelo de emisiones a aplicarse
- II. Identificar la información del sitio
- III. Valores por omisión
- IV. Datos de propiedades físicas del contaminante, del agua y del aire
- V. Calcular coeficientes individuales de transferencia de masa
- VI. Calcular coeficientes generales de transferencia de masa
- VII. Calcular las emisiones de COV

##### *I. DETERMINAR EL MODELO DE EMISIONES A APLICARSE*

Las ecuaciones de modelo a utilizarse se seleccionan tomando en cuenta que se trata de un sistema de tratamiento con aireación mecánica superficial, con actividad biológica y de flujo continuo. En este caso, las ecuaciones se refieren a los modelos descritos en el documento disponible en el sistema CHIEF de la EPA: *Preferred And Alternative Methods For*

*Estimating Air Emissions From Wastewater Collection And Treatment.* Los parámetros a determinarse son los siguientes:

- Coeficiente general de transferencia de masa,  $K$
- Coeficiente individual de transferencia de masa en fase líquida,  $k_l$
- Coeficiente individual de transferencia de masa en fase gaseosa,  $k_g$
- Emisiones de COV,  $N$

Apéndice D.  
Ejemplo de  
cálculos de  
emisiones

## II. IDENTIFICAR LA INFORMACIÓN DEL SITIO

Una vez determinado el modelo de emisiones a aplicarse, deben identificarse los parámetros específicos del sitio: para el modelo seleccionado, se requieren los siguientes parámetros del sitio:

$Q$  = Flujo volumétrico =  $0.0623 \text{ m}^3/\text{s}$

$D$  = Profundidad de la laguna de aireación =  $1.97 \text{ m}$

$A$  = Área superficial de la laguna de aireación =  $17,652 \text{ m}^2$

$C_o$  = Concentración inicial del benceno en la fase líquida  
=  $10.29 \text{ g/m}^3$

## III. VALORES POR OMISIÓN

Los valores por omisión pueden obtenerse de referencias en el sistema CHIEF u otras fuentes, si bien deberán usarse valores específicos del sitio cuando éstos se encuentren disponibles.

Los parámetros utilizados en este caso corresponden a los valores por omisión para sistemas de tratamiento biológico con aireación:

$U_{10}$  = Velocidad del viento, 10 m encima de la superficie del líquido =  $e = 4.47 \text{ m/s}$

$T$  = Temperatura del agua =  $25^\circ\text{C}$  ( $298^\circ\text{K}$ )

$b_i$  = Concentración de biomasa en sistemas de tratamiento biológico =  $300 \text{ g/m}^3$

$J$  = Taza de transferencia de Oxígeno al agua  
=  $3 \text{ lb O}_2/\text{hp-hr}$

$\text{POWR}$  = Potencia total de los aireadores =  $0.75 \text{ hp}/1,000 \text{ ft}^3 \text{ V}$

$O_t$  = Factor de corrección de transferencia de oxígeno  
 = 0.83  
 $Va_v$  = Área de superficie turbulenta = (0.24)A  
 $d$  = diámetro de impulsores (aireadores) = 61 cm  
 $d^*$  = diámetro de impulsores = 2 ft  
 $w$  = velocidad rotacional de impulsores = 126 rad/s  
 $N_I$  = Número de aireadores = POWR/75 hp

#### IV. DATOS DE PROPIEDADES FÍSICAS DEL CONTAMINANTE, DEL AGUA Y DEL AIRE

##### A. Propiedades físicas del contaminante

$D_{w,benceno}$  = Difusividad del benceno en agua  
 =  $9.8 \times 10^{-6}$  cm<sup>2</sup>/s  
 $D_{a,benceno}$  = Difusividad del benceno en aire = 0.088 cm<sup>2</sup>/s  
 $H_{benceno}$  = Constante para el benceno de la Ley de Henry  
 = 0.0055 atm- m<sup>3</sup>/gmol  
 $K_{max,benceno}$  = Constante máxima de degradación biológica  
 del benceno =  $5.28 \times 10^{-6}$  g/g-s  
 $K_{s,benceno}$  = constante de saturación biológica media del  
 benceno = 13.6 g/m<sup>3</sup>

##### B. Propiedades del Agua y del Aire

$\rho_a$  = Densidad del aire =  $1.2 \times 10^3$  g/cm<sup>3</sup>  
 $\rho_L$  = Densidad del agua = 1 g/cm<sup>3</sup> (62.4 lb<sub>m</sub>/ft<sup>3</sup>)  
 $\mu_a$  = Viscosidad del aire =  $1.81 \times 10^{-4}$  g/cm-s  
 $D_{O_2,w}$  = Difusividad del Oxígeno en agua =  $2.4 \times 10^{-5}$  cm<sup>2</sup>/s  
 $D_{eter}$  = Difusividad del éter en agua =  $8.5 \times 10^{-6}$  cm<sup>2</sup>/s  
 $MW_L$  = Peso molecular del agua = 18 g/gmol  
 $MW_a$  = Peso molecular del aire = 29 g/gmol  
 $g_c$  = constante gravitacional = 32.17 lb<sub>m</sub>-ft/lb<sub>f</sub>-s<sup>2</sup>  
 $R$  = constante de gas universal =  $8.21 \times 10^{-5}$  atm-m<sup>3</sup>/gmol

#### V. CALCULAR COEFICIENTES INDIVIDUALES DE TRANSFERENCIA DE MASA

Debido a que una parte de la laguna se encuentra en turbulencia y otra parte en reposo, los coeficientes individuales de transferencia de masa deben determinarse para cada una de estas áreas.



### Área Turbulenta de la Laguna de Aireación.

A. Cálculo del coeficiente individual de transferencia de masa en fase líquida,  $k_\ell$ :

$$k_\ell = \frac{8.22 \times 10^{-9} (J) (POWR) (1.024)^{T-20} (O_t) (10^6) MW_L}{Va_v \rho_L} \times \left( \frac{D_W}{D_{O2,W}} \right)^{0.5}$$

La potencia total de los aireadores, POWR, y el área de superficie turbulenta,  $Va_v$ , se calculan en forma separada:

Apéndice D.  
Ejemplo de  
cálculos de  
emisiones

$$\begin{aligned} \text{POWR (hp)} &= 0.75 \text{ hp}/1,000 \text{ ft}^3 (V) \\ V &= \text{volumen de la laguna de aireación, m}^3 \\ V (\text{m}^3) &= (A)(D) = (17,652 \text{ m}^2)(1.97 \text{ m}) \\ V &= 34,774 \text{ m}^3 \\ \text{POWR} &= (0.75 \text{ hp}/1,000 \text{ ft}^3)(\text{ft}^3/0.028317 \text{ m}^3)(34,774 \text{ m}^3) \\ &= 921 \text{ hp} \\ Va_v (\text{ft}^2) &= 0.24 (A) \\ &= 0.24(17,652 \text{ m}^2)(10.758 \text{ ft}^2/\text{m}^2) \\ &= 45,576 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

El cálculo de  $k_\ell$ , se realiza con base en los resultados anteriores e información de los pasos II, III y IV:

$$\begin{aligned} k_\ell (\text{m/s}) &= \frac{(8.22 \times 10^{-9}) (3 \text{ lb} \cdot \text{O}_2 / \text{hp} \cdot \text{hr}) (921 \text{ hp}) (1.024)^{25-20} (0.83) 10^6 (18 \text{ g/gmol})}{(45,576 \text{ ft}^2) (1 \cdot \text{g/cm}^3)} \\ &\quad \times \left( \frac{9.8 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}}{2.4 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}} \right)^{0.5} \\ &= 5.35 \times 10^{-3} \text{ m/s} \end{aligned}$$

B. Cálculo del coeficiente individual de transferencia de masa en fase gaseosa,  $k_g$ :

$$k_g (\text{m/s}) = (1.35 \times 10^{-7}) (Re)^{1.42} (P)^{0.4} (Sc_G)^{0.5} (Fr)^{-0.21} (Da MW_a / d)$$

El número de Reynolds, Re, número de potencia, P, número de Schmidt en fase gaseosa,  $Sc_G$  y el número de Froude, Fr, se calculan por separado, de la siguiente manera:

1. Número de Reynolds,  $Re$ :

$$\begin{aligned} Re &= d^2 \omega \rho_a / \mu_a \\ &= (61 \text{ cm})^2 (126 \text{ rad/s}) (1.2 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3) / (1.81 \times 10^{-4} \text{ g/cm-s}) \\ &= 3.1 \times 10^6 \end{aligned}$$

2. Número de potencia,  $P$ :

$$\begin{aligned} P &= [(0.85)(\text{POWER})(550 \text{ ft lb}_f/\text{s hp})/N_i] g_c / (r_L (d^*)^5 \omega^3) \\ N_i &= \text{POWER}/75 \text{ hp} \\ P &= (0.85)(75 \text{ hp})(\text{POWER}/\text{POWER})(550 \text{ ft lb}_f/\text{s hp}) \\ &\quad * (32.17 \text{ lb}_m \text{ ft}/\text{lb}_f \text{ s}^2) / [(62.4 \text{ lb}_m/\text{ft}^3)(2 \text{ ft})^5 (126 \text{ rad/s})^3] \\ &= 2.8 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

3. Número de Schmidt,  $Sc_G$ :

$$\begin{aligned} Sc_G &= \mu_a / (\rho_a D_a) \\ &= (1.81 \times 10^{-4} \text{ g/cm s}) / [(1.2 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3)(0.088 \text{ cm}^2/\text{s})] \\ &= 1.71 \end{aligned}$$

4. Número de Froude,  $Fr$ :

$$\begin{aligned} Fr &= (d^*) \omega^2 / g_c \\ &= (2 \text{ ft}) (126 \text{ rad/s})^2 / (32.17 \text{ lb}_m \text{ ft}/\text{lb}_f \text{ s}^2) \\ &= 990 \end{aligned}$$

El cálculo de  $k_g$ , se realiza con base en los resultados anteriores e información de los pasos II, III y IV:

$$\begin{aligned} k_g (\text{m/s}) &= (1.35 \times 10^{-7}) (3.1 \times 10^6)^{1.42} (2.8 \times 10^{-4})^{0.4} (1.71)^{0.5} * \\ &\quad * (990)^{-0.21} (0.088 \text{ cm}^2/\text{s}) (29 \text{ g/gmol}) / (61 \text{ cm}) \\ &= 0.109 \text{ m/s} \end{aligned}$$

### Área en reposo de la Laguna de Aireación

Cálculo del coeficiente individual de transferencia de masa en fase líquida,  $k_e$ :

$$\begin{aligned} F/D &= 2(A/p)^{0.5}/D \\ &= 2(17,652 \text{ m}^2/p)^{0.5}/(1.97 \text{ m}) \\ &= 76.1 \\ U_{10} &= 4.47 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Dado que  $U_{10} > 3.25 \text{ m/s}$  y  $F/D > 51.2$  se aplica la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} k_L (\text{m/s}) &= (2.61 \times 10^{-7})(U_{10})^2 (D_w/D_{\text{eter}})^{2/3} \\ &= (2.61 \times 10^{-7})(4.47 \text{ m/s})^2 \\ &\quad * [(9.8 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}) / (8.5 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s})]^{2/3} \\ &= 5.74 \times 10^{-6} \text{ m/s} \end{aligned}$$

Cálculo del coeficiente individual de transferencia de masa en fase gaseosa,  $k_g$ :

$$k_g = (4.82 \times 10^{-3})(U_{10})^{0.78} (\text{ScG})^{-0.67} (d_e)^{-0.11}$$

*Apéndice D.  
Ejemplo de  
cálculos de  
emisiones*

El número de Schmidt,  $\text{Sc}_G$ , y el diámetro efectivo,  $d_e$ , se calculan por separado:

1. Número de Schmidt,  $\text{Sc}_G$ :

$$\text{Sc}_G = \mu_a / (\rho_a D_a) = 1.71 \text{ (igual, que para el área turbulenta)}$$

2. Diámetro efectivo,  $d_e$ :

$$\begin{aligned} d_e (\text{m}) &= 2(A/p)^{0.5} \\ &= 2(17,652 \text{ m}^2/p)^{0.5} \\ &= 149.9 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_g (\text{m/s}) &= (4.82 \times 10^{-3})(4.47 \text{ m/s})^{0.78} (1.71)^{-0.67} (149.9 \text{ m})^{-0.11} \\ &= 6.24 \times 10^{-3} \text{ m/s} \end{aligned}$$

#### VI. CALCULAR COEFICIENTES GENERALES DE TRANSFERENCIA DE MASA

Debido a que parte de la laguna de aireación es turbulenta y otra parte se encuentra en reposo, el coeficiente general de transferencia de masa se determina como un promedio ponderado de los coeficientes de transferencia de masa individuales.

Coeficiente general de transferencia de masa para la superficie turbulenta de la laguna de aireación,  $K_T$ .

$$K_T (\text{m/s}) = (k_e \text{ Keq } k_g) / (\text{Keq } k_g + k_e)$$

$$\text{Keq} = H/RT$$

$$= (0.0055 \text{ atm m}^3/\text{gmol})$$

$$/ [(8.21 \times 10^{-5} \text{ atm m}^3/\text{gmol } ^\circ\text{K})(298 ^\circ\text{K})] = 0.225$$

$$K_T(\text{m/s}) = (5.35 \times 10^{-3} \text{ m/s})(0.225)(0.109) \\ / [(0.109 \text{ m/s})(0.225) + (5.35 \times 10^{-6} \text{ m/s})] \\ = 4.39 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

Coeficiente general de transferencia de masa para la superficie en reposo de la laguna de aireación,  $K_Q$

$$K_Q(\text{m/s}) = (k_e K_{eq} k_g) / (K_{eq} k_g + k_e) \\ = (5.74 \times 10^{-6} \text{ m/s})(0.225)(6.24 \times 10^{-3} \text{ m/s}) \\ / [(6.24 \times 10^{-3} \text{ m/s})(0.225) + (5.74 \times 10^{-6} \text{ m/s})] \\ = 5.72 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

Coeficiente general de transferencia de masa,  $K$ , ponderado por la superficie del área de turbulencia y del área de reposo,  $A_T$  y  $A_Q$

$$K (\text{m/s}) = (K_T A_T + K_Q A_Q) / A \\ A_T = (0.24)A \\ A_Q = (1 - 0.24)A \\ K (\text{m/s}) = [(4.39 \times 10^{-3} \text{ m/s})(0.24 A) \\ + (5.72 \times 10^{-6} \text{ m/s})(1 - 0.24)A] / A \\ = 1.06 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

#### VII. CALCULAR LAS EMISIONES DE COV

De la ecuación de emisiones para una laguna de aireación con flujo continuo se tiene el siguiente modelo:

$$N(\text{g/s}) = K C_L A$$

donde:

$$C_L (\text{g/m}^3) = [-b + (b^2 - 4ac)^{0.5}] / (2a)$$

y:

$$a = KA/Q + 1$$

$$b = K_s(KA/Q + 1) + K_{max} b_i V/Q - C_o$$

$$c = -K_s C_o$$

El cálculo de a, b, c, y de la concentración de benceno en la fase líquida,  $C_L$ , se realiza por separado, de la siguiente forma:

1. Cálculo de a:

$$\begin{aligned} a &= (KA/Q + 1) \\ &= [(1.06 \times 10^{-3} \text{ m/s})(17,652 \text{ m}^2)/(0.0623 \text{ m}^3/\text{s})] + 1 \\ &= 301.3 \end{aligned}$$

2. Cálculo de b ( $V = 34,774 \text{ m}^3$  del paso V):

$$\begin{aligned} b &= K_s (KA/Q + 1) + K_{\max} b_i V/Q - C_o \\ &= (13.6 \text{ g/m}^3)[(1.06 \times 10^{-3} \text{ m/s})(17,652 \text{ m}^2)/(0.0623 \text{ m}^3/\text{s})] \\ &\quad + [(5.28 \times 10^{-6} \text{ g/g s})(300 \text{ g/m}^3)(34,774 \text{ m}^3)/(0.0623 \text{ m}^3/\text{s})] \\ &\quad - 10.29 \text{ g/m}^3 \\ &= (4,084.6 + 884.1 - 10.29) \text{ g/m}^3 = 4,958.46 \text{ g/m}^3 \end{aligned}$$

*Apéndice D.  
Ejemplo de  
cálculos de  
emisiones*

3. Cálculo de c:

$$\begin{aligned} c &= -K_s C_o \\ &= -(13.6 \text{ g/m}^3)(10.29 \text{ g/m}^3) \\ &= -139.94 \end{aligned}$$

4. Cálculo de la concentración de benceno en la fase líquida,  $C_L$ , con los resultados anteriores de a, b, y c:

$$\begin{aligned} C_L \text{ (g/m}^3\text{)} &= [-b + (b^2 - 4ac)^{0.5}]/(2a) \\ &= [(4,958.46 \text{ g/m}^3) \\ &\quad + [(4,958.46 \text{ g/m}^3)^2 - [4(301.3)(-139.94)]]^{0.5}] \\ &\quad / (2(301.3)) \\ &= 0.0282 \text{ g/m}^3 \end{aligned}$$

Ahora pueden calcularse las emisiones de COV, N, con base en los parámetros previamente determinados en los pasos II y V:

$$\begin{aligned} N \text{ (g/s)} &= K A C_L \\ &= (1.06 \times 10^{-3} \text{ m/s})(17,652 \text{ m}^2)(0.0282 \text{ g/m}^3) \\ &= 0.52 \text{ g/s} \end{aligned}$$



# APÉNDICE E. MUESTRA DE CUESTIONARIO PARA FUENTES PUNTALES

FORMATO DE REPORTE E INSTRUCTIVO DEL ESTUDIO DE CASO  
DEL REGISTRO DE EMISIONES Y TRANSFERENCIA DE CONTA-  
MINANTES EN EL ESTADO DE QUERÉTARO, 1997

## SECCIÓN 1. IDENTIFICACIÓN DEL ESTABLECIMIENTO

		Indicar con una X si este reporte es:	
		Complementario	
		Corrección	
1.1	Año de reporte		
1.2	Certificación	La información contenida en el presente reporte es correcta y se basa en los métodos de estimación mencionados en el instructivo	
1.2.1	Nombre		
1.2.2	Cargo		
1.2.3	Teléfono		Fax
1.2.4	Firma del representante		
1.3	Establecimiento		
1.3.1	Nombre		
1.3.2	Número RETC		
1.3.3	Dirección	Calle	
		Número	
		Municipio o delegación	
		Ciudad	
		Entidad federativa	
		Código postal	

Sección I.  
Identificación del  
establecimiento  
(Formato COA)

1.3	Establecimiento			
1.3.4	Número de empleados			
1.3.5	Clase de clasificación industrial			
1.3.6	UTM norte		UTM este	
1.4	Empresa y matriz		Anotar el nombre de la empresa y corporativo al que pertenece el establecimiento	
1.4.1	Nombre de la empresa			
1.4.2	Nombre de la matriz			
1.5	Contacto técnico		Anotar la dirección en caso de ser diferente del establecimiento	
1.5.1	Nombre			
1.5.2	Cargo			
1.5.3	Teléfono		Fax	
1.5.4	Dirección	Calle		
		Número		
		Municipio o delegación		
		Ciudad		
		Entidad federativa		
		Código postal		
1.6	Contacto público		Anotar la dirección en caso de ser diferente del establecimiento	
1.6.1	Nombre			
1.6.2	Cargo			
1.6.3	Teléfono		Fax	
1.6.4	Dirección	Calle		
		Número		
		Municipio o delegación		
		Ciudad		
		Entidad federativa		
		Código postal		



## SECCIÓN 2. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA QUÍMICA

2.1	Identificación de la sustancia			
-----	--------------------------------	--	--	--

2.1.1	Número CAS		Clave de categoría	
2.1.2	Nombre químico o categoría			

2.2	Producción y usos de la sustancia	Seleccionar con una X la(s) opción(es)
-----	-----------------------------------	----------------------------------------

2.2.1	Entra a proceso o tratamiento (materia prima e insumos directos)	
2.2.2	Se genera en el proceso o tratamiento	
2.2.3	No entra, ni se genera en el proceso o tratamiento (insumos indirectos)	

Apéndice E.  
Muestra de  
cuestionario  
para fuentes  
puntuales

2.3	Cantidad total de sustancia en el establecimiento (kg/año)	
-----	------------------------------------------------------------	--

2.4	Tratamiento de residuos <i>in situ</i>
-----	----------------------------------------

Clave de la fase de la corriente	Clave del método

2.5	Tratamiento de residuos <i>in situ</i>
-----	----------------------------------------

Cantidad total (kg)	Base de estimación
---------------------	--------------------

2.5.1	Emisiones al aire		
	Proceso productivo		
	Otras		

2.5.2	Descargas a corrientes y cuerpos de agua		
	Número de región hidrológica	Nombre del cuerpo receptor	

Sección II.  
Identificación de  
la sustancia  
química  
(formato COA)

2.5	Tratamiento de residuos <i>in situ</i>			
2.5.3	Depósitos en el suelo		Cantidad total (kg)	Base de estimación
		Rellenos sanitarios		
		Tratamiento en suelos		
		Represas		
		Depósitos al aire libre		
		Otros métodos		
2.5.4	Total de emisiones			
2.5.5	Emisiones a cualquier medio derivadas de accidentes			
2.6	Transferencias			
2.6.1	Transferencias fuera del establecimiento			
A	Nombre del prestador de servicios			
	Dirección	Calle		
		Número		
		Municipio o delegación		
		Ciudad		
		Entidad federativa		
		Código postal		
	Transferencia	Cantidad (kg)	Base de estimación	Clave de método
B	Nombre del prestador de servicios			
	Dirección	Calle		
		Número		
		Municipio o delegación		
		Ciudad		
		Entidad federativa		
		Código postal		
	Transferencia	Cantidad (kg)	Base de estimación	Clave de método

2.6	Transferencias
-----	----------------

2.6.2	Alcantarillado público			
		Descarga	Cantidad (kg)	Base de estimación

2.6.3	Total de transferencias	
-------	-------------------------	--

2.7	Prevención y control de la contaminación
-----	------------------------------------------

2.7.1	Emisiones totales		Cantidad (kg)
		Total de emisiones del año anterior	
		Total de emisiones estimadas para el año siguiente	

2.7.2	Índice de producción o índice de actividad		Índice de producción o actividad estimado para el año siguiente	
-------	--------------------------------------------	--	-----------------------------------------------------------------	--

2.7.3	Actividad de prevención y control de la contaminación	Seleccionar con una X la(s) opción(es)		
		Cambio en prácticas de operación		
		Control de inventarios		
		Prevención de derrames y fugas		
		Cambio de materia prima y/o insumos		
		Cambio en el producto		
		Modificaciones al proceso		
		Cambio en prácticas de limpieza		
		Equipo de control de la contaminación		
		Otros		

Apéndice E.  
Muestra de  
cuestionario  
para fuentes  
puntuales

## INSTRUCCIONES PARA EL LLENADO DEL FORMATO DE REPORTE

### PARTE 1. IDENTIFICACIÓN DEL ESTABLECIMIENTO

*Instrucciones  
para el llenado  
del formato*

#### *1.1 Año de Reporte.*

Año calendario inmediatamente anterior que comprende del 1º de enero al 31 de diciembre.

#### *1.2 Certificación*

La certificación de la información contenida en el formato de reporte debe realizarse mediante la firma del propietario o representante legal, quien será el responsable de la veracidad de la información. Debe proporcionarse los datos generales del responsable en los puntos 1.2.1 al 1.2.3.

#### *1.3 Establecimiento*

El establecimiento comprende a todas las construcciones, equipo, estructura y otros bienes estacionarios que se encuentran localizados en un mismo lugar o en sitios contiguos o adyacentes en la zona de estudio, pertenecientes a una misma empresa.

1.3.1 Indicar el nombre del establecimiento.

1.3.2 Número de identificación RETC (número consecutivo proporcionado por el INE).

1.3.3 Escribir la dirección del establecimiento en los espacios indicados.

1.3.4 Número de Empleados de Tiempo Completo. Para el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes se entiende por un empleado de tiempo completo aquel que trabaja 2,000 horas al año.

Para calcular el número de empleados de tiempo completo equivalentes pertenecientes a una empresa, es necesario sumar el total de horas trabajadas por empleados, vendedores o personal de apoyo durante un año calendario y dividirse entre 2,000 horas.

1.3.5 Clave de Clasificación Industrial CMAP. La clave de Clasificación Industrial es un número de identificación para las diferentes ramas industriales asignado por INEGI (ver anexo A).

1.3.6 Localización geográfica empleando coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) (ver anexo B). Las coordenadas UTM deben ser reportadas en metros.

*Apéndice E.  
Muestra de  
cuestionario  
para fuentes  
puntuales*

#### *1.4 Empresa y/o matriz a la que pertenece el establecimiento*

1.4.1 En caso de que el establecimiento sujeto a reporte pertenezca a una empresa, indicar el nombre de ésta, de lo contrario dejar el espacio en blanco.

1.4.2 En caso de que el establecimiento sujeto a reporte pertenezca a una empresa matriz, indicar el nombre, de lo contrario dejar el espacio en blanco.

#### *1.5 Contacto Técnico*

El contacto Técnico es el representante de la empresa ante el Instituto Nacional Ecología para aclaraciones sobre la información proporcionada en el formato de reporte. Esta persona debe estar familiarizada con los detalles del reporte y puede ser un representante asignado por la empresa o un consultor externo.

#### *1.6 Contacto Público*

El Contacto Público es el representante de la empresa que puede responder las preguntas del público sobre la información proporcionada en el formato de reporte. Si se asigna a la misma persona como Contacto Técnico y Público, este apartado se deja en blanco.

## PARTE 2. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA QUÍMICA

### 2.1 Identificación de la Sustancia Química.

- 2.1.1 Número CAS o Clave de Categoría. El número CAS identifica a las sustancias químicas específicas y es asignado por el Chemical Abstracts Service de la American Chemical Society. Se ha asignado una clave para las categorías químicas que incluyen una serie de compuestos relacionados o que presentan un elemento común como parte de su estructura (ver anexo C).
- 2.1.2 Nombre Químico o Categoría. Indicar el nombre químico de la sustancia o la categoría a la cual pertenece. (ver anexo C).

### 2.2 Producción y Usos de la Sustancia Química

En este apartado se debe seleccionar las opciones con una X.

- 2.2.1 Si la sustancia entra al proceso como materia prima o insumo directo, (p.ej. reactivos, solventes, catalizadores, iniciadores de reacción, entre otros) o es una sustancia empleada para el tratamiento de residuos.
- 2.2.2 Si la sustancia se genera en el proceso (subproducto, impureza, producto intermedio o final, productos de combustión, entre otros) o durante el tratamiento de residuos.
- 2.2.3 Si la sustancia no entra, ni se genera en el proceso o tratamiento de residuos, pero es utilizada dentro de la empresa como insumo indirecto de proceso u otro insumo (p.ej. lubricantes, combustibles, refrigerantes etc.)

Se entiende por *proceso* a cualquier operación o serie de operaciones que provoca un cambio físico o químico en un material o mezcla de materiales.

*Insumos Directos.* Son sustancias químicas que son adicionadas a la mezcla de reacción durante el proceso o síntesis de otra sustancia química, pero que no permanecen o forman parte del producto o mezcla de producto.

*Insumos Indirectos.* Son sustancias químicas que participan en el proceso, pero no forman parte del producto y no son adicionados a la mezcla de reacción durante la fabricación o la síntesis de otra sustancia.

*Otros Insumos.* Son sustancias químicas empleadas con un propósito distinto al de ser auxiliares del proceso.

### 2.3 Cantidad Total de Sustancia en el Establecimiento

Indicar la cantidad total (kg) de sustancia que existió en el establecimiento durante el año que se reporta, incluyendo ingreso, almacenamiento, proceso y generación.

Apéndice E.  
Muestra de  
cuestionario  
para fuentes  
puntuales

### 2.4 Tratamiento de Residuos in situ

En esta sección se debe reportar los métodos de tratamiento de residuos, recuperación de energía y reciclaje/reuso empleados *in situ*.

*Fase de las corrientes de residuos.* Indicar en el espacio correspondiente la letra que describe la fase de la corriente de residuos.

*Método de Tratamiento.* Indicar la clave del método de tratamiento empleado.

Las corrientes de residuos que se encuentran en la misma fase y son tratadas con métodos distintos, deben ser reportadas de manera separada.

CUADRO E-1. FASE DE LAS CORRIENTES DE RESIDUOS

CLAVE	FASE
G	Gaseosa (gases, vapores,
LA	partículas)
LN	Líquida (aguas residuales)
S	Líquida (no acuosos)
	Sólidos y semisólidos

CUADRO E-2. TRATAMIENTOS APLICABLES A CORRIENTES GASEOSAS

CLAVE	MÉTODO
TG1	Quemador
TG2	Condensador
TG3	Absorbedor
TG4	Precipitador electrostático
TG5	Separación mecánica
TG6	Lavador de gases
TGO	Otros tratamientos para corrientes gaseosas

Instrucciones  
para el llenado  
del formato

CUADRO E-3. TRATAMIENTOS  
BIOLÓGICOS

CLAVE	MÉTODO
TB1	Aerobio
TB2	Anaerobio
TB3	Facultativo
TBO	Otros tratamientos

CUADRO E-4. TRATAMIENTOS FÍSICOS

Clave	Método
TF1	Ecualización
TF2	Otro mezclado
TF3	Sedimentación/ clarificación
TF4	Filtración
TF5	Desaguado de lodos
TF6	Flotación con aire
TF7	Desgrasado/desnatado
TF8	Clarificación
TF9	Ruptura de emulsión (térmica)
TF10	Ruptura de emulsión (química)
TF11	Otra ruptura de emulsión
TF12	Otras separaciones en fase líquida
TF13	Adsorción (carbón)
TF14	Otra adsorción
TF15	Osmosis inversa
TF16	Despunte (aire)
TF17	Despunte (vapor)
TF18	Otro despunte
TF19	Lixiviado ácido
TF20	Extracción con solventes
TFO	Otros tratamientos

CUADRO E-5. TRATAMIENTOS  
QUÍMICOS

CLAVE	MÉTODO
TQ1	Precipitación química (cal o sosa)
TQ2	Precipitación química (sulfuro)
TQ3	Otras precipitaciones químicas
TQ4	Neutralización
TQ5	Reducción del cromo
TQ6	Tratamiento de metales acomplejados (otros diferentes al ajuste de pH)
TQ7	Oxidación de cianuros (cloración alcalina)
TQ8	Oxidación de cianuros (electroquímica)
TQ9	Otras oxidaciones de cianuros
TQ10	Oxidaciones generales incluyendo desinfección (cloración)
TQ11	Oxidaciones generales incluyendo desinfección (ozonación)
TQ12	Otras oxidaciones generales incluyendo desinfección
TQO	Otros tratamientos químicos



CUADRO E-6. INCINERACIÓN Y OTROS TRATAMIENTOS TÉRMICOS

CLAVE	MÉTODO
TT1	Inyección de líquido
TT2	Horno rotatorio con unidad de inyección de líquido
TT3	Otros hornos rotatorios
TT4	Horno de dos etapas
TT5	Horno de hogar fijo
TT6	Horno de hogar múltiple
TT7	Horno de lecho fluidizado
TT8	Infrarrojo
TT9	Vaho / vapor
TT10	Destructor pirolítico
TT11	Oxidación con aire húmedo
TT12	Secado térmico / desaguado
TTO	Otras incineraciones o tratamientos térmicos

*Apéndice E.  
Muestra de  
cuestionario  
para fuentes  
puntuales*

CUADRO E-7. SOLIDIFICACIÓN/ESTABILIZACIÓN

CLAVE	MÉTODO
SS1	Procesos de cemento (incluyendo silicatos)
SS2	Otros procesos pozolónicos (incluyendo silicatos)
SS3	Procesos asfálticos
SS4	Técnicas termoplásticas
SSO	Otros procesos de solidificación

CUADRO E-8. MÉTODOS DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA

CLAVE	MÉTODO
RE1	Hornos rotatorios
RE2	Calderas
RE3	Otros hornos
REO	Otros métodos de recuperación de energía

Instrucciones  
para el llenado  
del formato

CUADRO E-9. MÉTODOS DE RECICLAJE

CLAVE	MÉTODO
RRS1	Recuperación de solventes y compuestos orgánicos (destilación por lotes)
RRS2	Recuperación de solventes y compuestos orgánicos (evaporación en capa fina)
RRS3	Recuperación de solventes y compuestos orgánicos (fraccionamiento)
RRS4	Recuperación de solventes y compuestos orgánicos (extracción con solventes)
RRSO	Otros métodos de recuperación de solventes y compuestos orgánicos
RRM1	Recuperación de metales (electrolítico)
RRM2	Recuperación de metales (intercambio iónico)
RRM3	Recuperación de metales (ósmosis inversa)
RRM4	Recuperación de metales (lixiviado ácido)
RRM5	Recuperación de metales (alta temperatura)
RRM6	Recuperación de metales (fundición secundaria)
RRM7	Otros métodos de recuperación de metales
RRG1	Regeneración de ácido
RRGO	Otros métodos de recuperación o reuso

## 2.5 Emisiones de la sustancia

Una emisión es el traslado de una sustancia química al ambiente. Estas incluyen emisiones al aire, descargas a cuerpos de agua y depósitos en el suelo.

### 2.5.1 Emisiones al Aire:

*Emisiones Generadas en el Proceso Productivo.* Reportar la cantidad total (kg) de las emisiones al aire, conducidas y fugitivas, generadas en el proceso y/o durante el almacenamiento, incluyendo las emisiones generadas por combustión.

*Base de Estimación.* Para cada una de las cifras reportadas debe especificarse la clave correspondiente al método principal empleado en la determinación.

CUADRO E-10. BASE DE ESTIMACIÓN

CLAVE	MÉTODO
M	La estimación se basa en datos de monitoreo o mediciones de la sustancia tóxica.
C	La estimación se basa en cálculos de balance de materiales, tal como el cálculo de la cantidad de sustancia tóxica en residuos que entra o sale de los equipos de proceso.
E	La estimación se basa en factores de emisión publicados, tales como los que relacionan la cantidad de emisión al tipo de equipo (p. ej. factores de emisión para aire).
O	Otros métodos, tales como cálculos de ingeniería (p. ej. estimación de la volatilización empleando fórmulas matemáticas publicadas).

Apéndice E.  
Muestra de  
cuestionario  
para fuentes  
puntuales

*Otras emisiones no generadas en el proceso productivo.*

Indicar la cantidad de sustancia (kg) emitida durante el tratamiento de residuos *in situ* u otros usos dentro del establecimiento.

Es importante mencionar la clave de la base de estimación de las emisiones como se indicó anteriormente.

2.5.2 *Descargas al agua:* Es necesario especificar el número de región hidrológica (ver anexo D), las cantidades totales de las descargas a corrientes, ríos, lagos, océanos y otros cuerpos de agua mediante los ductos de salida del proceso, el nombre del cuerpo de agua receptor, y la clave de la base de estimación como se indicó en las emisiones al aire.

2.5.3 *Depósitos en el suelo:* Indicar las cantidades de sustancia expresada en kg que fue depositada dentro de los límites del establecimiento, incluyendo rellenos sanitarios, tratamiento en suelos, represas, depósitos al aire libre y otros métodos, y la clave de la base de estimación de las cantidades depositadas.

2.5.4 *Total de Emisiones:* El total de emisiones será la suma de las cantidades reportadas en los incisos 2.5.1, 2.5.2 y 2.5.3.

#### 2.5.5 *Emisiones a cualquier medio derivadas de accidentes.*

Especificar la cantidad de sustancia emitida expresada en kg. Este punto permitirá diferenciar las emisiones totales derivadas de las operaciones normales y aquellas derivadas de accidentes.

### 2.6 *Transferencias*

Transferencias se definen como el traslado de residuos que contienen sustancias químicas listadas en el RETC, a otro lugar que se encuentra físicamente separado del establecimiento que reporta incluyendo:

- descarga de aguas residuales al alcantarillado público.
- transferencias para reciclaje, recuperación o regeneración.
- transferencias para recuperación de energía fuera del establecimiento.
- transferencias para tratamiento como neutralización, tratamiento biológico, incineración y separación física. La incineración debe distinguirse de la recuperación de energía cuando se emplean sustancias que no contribuyen a la producción de energía, como es el caso de los metales.
- transferencias para disposición final fuera del establecimiento.

2.6.1 En este punto se deben reportar las transferencias para tratamiento, reciclaje, recuperación de energía, estabilización y disposición final; indicando el nombre del *Prestador de Servicios* al que se transfieren los residuos y su dirección. Además se reportarán la cantidad de sustancia (en kg) transferida en residuos, la clave de la base de estimación (como se indica en el punto 2.5) y la clave del método de tratamiento o disposición al cual será sometido el residuo. En caso de que los residuos que contienen la sustancia química sean enviados a dos Prestadores de Servicios diferentes, el reporte se realizará individualmente en las secciones A y B.

CUADRO E-11.

CLAVE	TIPO	MÉTODO
ND		Se Desconoce
D1	Disposición	Almacenamiento
D2		Rellenos Sanitarios

CUADRO E-12.

Clave	Tipo	Método
D3		Tratamiento en suelos
D3		Depósitos al aire libre
DO		Otros métodos de disposición
R1	Reciclaje	Recuperación de solventes y compuestos orgánicos
R2		Recuperación de metales
R3		Regeneración ácida
RO		Otros métodos de recuperación y reciclaje
T1		Solidificación/estabilización
T2	Residuos	Incineración
T3		Tratamiento térmico
T4		Tratamiento de Aguas Residuales (excepto si es descargado al alcantarillado público)
TO		Otros métodos de tratamiento de residuos
E1	Recuperación de Energía	Recuperación de Energía

*Apéndice E.  
Muestra de  
cuestionario  
para fuentes  
puntuales*

2.6.2 Indicar la cantidad de sustancia (kg) conducida al alcantarillado público y la clave de la base de estimación.

2.6.3 El *Total de Transferencias* es la suma de las cantidades transferidas en los puntos 2.6.1 y 2.6.2.

## 2.7 Prevención y Control de la Contaminación

- 2.7.1 Emisiones Totales. Especificar las Emisiones Totales del Año Anterior y una Estimación de las Emisiones para el año siguiente.
- 2.7.2 En este punto se solicita una relación entre la producción del año que se reporta y el anterior o un índice de actividad basado en una variable diferente a la producción que refleje en mayor medida las cantidades de sustancias químicas emitidas, por ejemplo:
- 1) Cantidad de sustancia tóxica producida o importada durante el año de 1994 dividida entre la cantidad en 1993; o
  - 2) Producción de 1994 dividido entre la producción de 1993.

Cambios en los índices basados en la utilización de sustancias químicas o materiales pueden reflejar si los cambios en las emisiones se deben a variaciones en la actividad industrial, en la producción o por el efecto de las actividades de reducción.

Adicionalmente al *índice de producción o índice de actividad* antes mencionado requiere de una estimación para el año siguiente.

- 2.7.3 En este apartado se deben seleccionar con una X las acciones emprendidas por el establecimiento para la prevención y control de la contaminación como:

*Cambios en prácticas de operación:* p.ej. a través de la mejora en los procedimientos de mantenimiento, la realización de un control en la frecuencia del mantenimiento, los cambios en el horario de producción, entre otros.

*Control de inventarios:* p.ej. mediante procedimientos que aseguren que los materiales no permanezcan más tiempo de su vida de anaquel, la mejora de los procedimientos de etiquetado, entre otros.

*Prevención de derrames y fugas:* a través del mejoramiento en los procedimientos de estiba y almacenamiento, la instalación de alarmas o válvulas de cierre automático, la instalación de sistemas de recuperación de vapor, el establecimiento de programas de inspección y monitoreo, entre otros.

*Cambio de materia prima y/o insumos:* p.ej. a través del incremento la pureza, la substitución de materia prima, etc.

*Modificaciones al Proceso:* empleando un catalizador diferente, cambios de equipo, etc.

*Cambio en prácticas de limpieza:* p.ej. mediante la substitución de solventes por otros limpiadores solubles en agua y la modificación de los procedimientos de limpieza y desengrasado.

*Adquisición de equipo de control de la contaminación.*  
Otros métodos no mencionados anteriormente.

*Apéndice E.  
Muestra de  
cuestionario  
para fuentes  
puntuales*

## A: CLASIFICACION MEXICANA DE ACTIVIDADES Y PRODUCTOS

CMAP	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD INDUSTRIAL
232001	Extracción y/o beneficio de minerales con alto contenido de oro, plata y otros minerales y metales preciosos
311201	Tratamiento y envasado de leche
311202	Elaboración de crema, mantequilla y queso
311301	Preparación y envasado de frutas y legumbres
311406	Elaboración de otros productos de molino a base de cereales y leguminosas
312123	Elaboración de almidones, féculas y levaduras
312200	Preparación y mezcla de alimentos para animales
313050	Elaboración de refrescos y otras bebidas no alcohólicas
321202	Hilado de fibras blandas
321207	Acabado de hilos y telas de fibras blandas
341021	Fabricación de papel
341022	Fabricación de cartón y cartoncillo
341034	Fabricación de otros productos de papel, cartón y pasta de celulosa
342002	Edición de libros y similares
342003	Impresión y encuadernación
351100	Fabricación de productos petroquímicos básicos
351212	Fabricación de productos químicos básicos inorgánicos
351213	Fabricación de colorantes y pigmentos
351215	Fabricación de aguarras y brea o colofonia
351221	Fabricación de fertilizantes
351222	Mezcla de insecticidas y plaguicidas
351231	Fabricación de resinas sintéticas y plastificantes
351300	Fabricación de fibras químicas
352100	Fabricación de productos farmacéuticos
352210	Fabricación de pinturas, barnices, lacas y similares
352221	Fabricación de perfumes, cosméticos y similares
352231	Fabricación de adhesivos, impermeabilizantes y similares
352237	Fabricación de limpiadores, aromatizantes y similares
352238	Fabricación de aceites esenciales



CMAP	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD INDUSTRIAL
354002	Elaboración de aceites lubricantes y aditivos
355001	Fabricación de llantas y cámaras
355003	Fabricación de piezas y artículos de hule natural o sintético
356007	Fabricación de artículos de plástico reforzado
362021	Fabricación de envases y ampollitas de vidrio
362022	Fabricación de productos diversos de vidrio y cristal refractario y técnico
369131	Fabricación de abrasivos
372003	Fundición y/o refinación de cobre y sus aleaciones
381100	Fundición y moldeo de piezas metálicas
381405	Fabricación de tornillos, tuercas, remaches y similares
381411	Fabricación de baterías de cocina
381412	Galvanoplastia en piezas metálicas
381413	Fabricación de otros productos metálicos
382106	Fabricación, ensamble y reparación de maquinaria y equipo para otras industrias específicas
382204	Fabricación de partes y piezas metálicas sueltas para maquinaria y equipo en general
382206	Fabricación de equipos y aparatos de aire acondicionado, refrigeración y calefacción
383109	Fabricación de materiales y accesorios eléctricos
383302	Fabricación y ensamble de refrigeradores de uso doméstico
383304	Fabricación y Ensamble de Enseres Domésticos Menores
383305	Fabricación, Ensamble y Reparación de Máquinas de coser de uso doméstico
384122	Fabricación de motores y sus partes, para automoviles y camiones
384123	Fabricación de partes y accesorios para el sistema de frenos de automóviles y camiones
384125	Fabricación de partes y accesorios para el sistema de frenos de automóviles y camiones
384126	Fabricación de otras partes y accesorios para automóviles y camiones
979002	Servicios de almacenamiento y refrigeración

*Apéndice E.  
Muestra de  
cuestionario  
para fuentes  
puntuales*

## B: DETERMINACION DE COORDENADAS GEOGRAFICAS (EMPLEANDO MAPAS DE INEGI)

Para determinar la posición geográfica de un lugar se requiere hacer uso de coordenadas, las cuales están definidas por una cierta proyección de la superficie terrestre a un mapa plano. En México el INEGI publica mapas, de todo el país, que utilizan la proyección UTM (Universal Transversa de Mercator), las cartas topográficas escala 1:50,000 (son las más comunes, sin embargo es el mismo sistema en cartas geológicas, hidrológicas, de potencialidad, etc.) tienen una cuadrícula homogénea de color azul, donde cada cuadro mide en el mapa 2.5 cm, equivalentes a 1 km de por lado en el terreno. Los valores se refieren a la distancia al ecuador y la distancia al este desde un eje arbitrario de referencia. Las coordenadas UTM se miden en metros.

La herramienta disponible para la determinación de coordenadas del establecimiento son los mapas publicados por INEGI, es importante que las determinaciones se realicen en mapas escala 1:50,000, en caso de poder conseguir mapas de otra escala (1:25,000) la precisión es mayor, de otra manera las medidas no reflejarán la localización correcta del establecimiento. Las cartas 1:250,000 no son adecuadas para este propósito, ya que en esta escala por cada milímetro de error sobre el mapa se genera una imprecisión de 200 metros.

Como ejemplo usaremos una instalación localizada en la ciudad de Monterrey cerca de la Av. Colón, se usó el mapa topográfico de INEGI con clave: G14C26, en la siguiente página se encuentra un diagrama que esquematiza el proceso que debe seguirse.

Una vez obtenido el mapa donde se encuentra el establecimiento, siga las siguientes indicaciones:

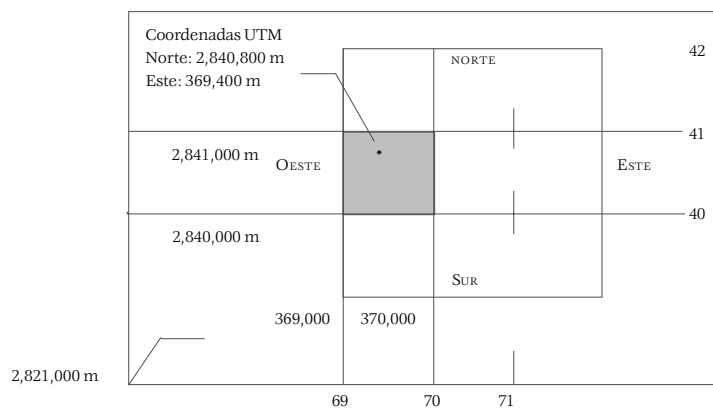
1. En la esquina inferior izquierda del mapa (extremo sudoeste) se encuentran los datos base. Lea y registre las coordenadas (en metros), los valores están impresos en los bordes del mapa.

En el ejemplo 2,821,000 m. Norte y 366,000 m. Estos datos son la base para conocer la la localización de su instalación y significa que Monterrey está a 2,820,000 m. ó 2,800 km. del Ecuador, en el esquema se remarcan los números 21 y 66 porque a partir de estos números se suman los kilómetros a los que se encuentra el punto buscado.

2. Marque la localización de su establecimiento con un punto. Si el establecimiento es grande, elija un punto central.
3. Ubique el pequeño cuadro azul alrededor del punto.
4. Para determinar el incremento a partir de las coordenadas base observe que en los lados del diagrama se muestran en la parte inferior los números 69, 70, 71, y a la derecha los números 40, 41, 42. Ubique qué números enmarcan el pequeño cuadro que contiene el punto de la instalación.  
En el ejemplo: en la dirección Este -Oeste son 69 y 70, y en la dirección Norte-Sur 40 y 41, lo cual implica que el incremento buscado para el recuadro determina que esta dentro de las siguientes coordenadas: Norte-Sur: 2,840,000m y 2,841,000m y en la dirección Este-Oeste 369,00m y 370,000m.
5. Al interior de cada cuadro, un milímetro mide sobre el terreno 40 m. (Escala 1:50,000), ya que el cuadro mide 2.5 cm. de lado sobre el mapa y representa 1 Km.  
En el ejemplo las coordenadas de la instalación son: Norte 2,840,800 y Este 369,400

*Apéndice E.  
Muestra de  
cuestionario  
para fuentes  
puntuales*

DIAGRAMA DE COORDENADAS



## C: LISTA DE SUSTANCIAS POR ORDEN ALFABÉTICO

C. Lista de  
sustancias  
(por orden  
alfabético)

NOMBRE	NÚMERO DE CAS
1,1,2,2-tetracloroetano	79-34-5
1,1,2,2-tetracloroetileno	127-18-4
1,1,2,3,4,4-hexacloro-1,3-butadieno	87-68-3
1,1,2-tricloroetano	79-01-6
1,2 dicloroetano	107-06-2
1,2 difenilhidracina	122-66-7
1,2,4- triclorobenceno	120-82-1
1,2,4-trimetilbenceno	95-63-6
1,2-dibromo-3-cloropropano	96-12-8
1,2-dicloro-3-buteno	760-23-6
1,2-diclorobenceno	95-50-1
1,2-dicloropropano	78-87-5
1,3 butadieno	106-99-0
1,3-diclorobenceno	541-73-1
1,3-dicloropropeno	542-75-6
1,4 diclorobenceno	106-46-7
1,4 dioxano	123-91-1
1,4-dicloro-2-buteno	764-41-0
1-bromo-2-cloroetano	107-04-0
1-cloro-4-nitrobenceno	100-00-5
2,3,4,6-tetraclorofenol	58-90-2
2,4 dinitrotolueno	121-14-2
2,4,5-triclorofenol	95-95-4
2,4,6-triclorofenol	88-06-2
2,4-D	94-75-7
2,4-diclorofenol	120-83-2
2,4-dinitrofenol	51-28-5
2,4-toluendiisocianato	584-84-9
2,6 dimetilfenol	576-26-1
2,6 dinitrotolueno	606-20-2
2-etoxietanol	110-80-5
2-metilpiridina	109-06-8

LISTA DE SUSTANCIAS POR ORDEN ALFABÉTICO (CONTINUACIÓN)

NOMBRE	NÚMERO DE CAS	
2-naftilamina	91-59-8	
2-nitropropano	79-46-9	
3,3'-diclorobencidina	91-94-1	
4,4'-metilenobis (N,N-dimetil) anilina	101-61-1	
4,4'-metilen bis(2-cloroanilina)	101-14-4	
4,6-dinitro-o-cresol	534-52-1	
4-aminoazobenceno	60-09-3	<i>Apéndice E. Muestra de cuestionario para fuentes puntuales</i>
4-aminobifenilo	92-67-1	
4-nitrobifenil	92-93-3	
4-nitrofenol	100-02-7	
4-nitrosomorfolina	59-89-2	
Acetaldehído	75-07-0	
Acetamida	60-35-5	
Acrilamida	79-06-1	
Acrilonitrilo	107-13-1	
Acroleína	107-02-8	
Aldrin	309-00-2	
Alfa-clorotolueno	100-44-7	
Alfa-hexaclorociclohexano	319-84-6	
Anilina	62-53-3	
Antraceno	120-12-7	
Asbesto	1332-21-4	
Benceno	71-43-2	
Bencidina	92-87-5	
Berilio	7440-41-7	
Bifenil	92-52-4	
Bióxido de carbono	124-38-9	
Bis (2-cloro-1-metil etil) eter	108-60-1	
bis (clorometil) eter	542-88-1	
Bis(2-cloroetil)eter	111-44-4	
Bis(2-etilhexil)ftalato	117-81-7	
Boro	7440-42-8	
Bromodiclorometano	75-27-4	

C. Lista de  
substancias  
(por orden  
alfabético)

LISTA DE SUSTANCIAS POR ORDEN ALFABÉTICO (CONTINUACIÓN)

NOMBRE	NÚMERO DE CAS
Bromoformo	75-25-2
Bromometano	74-83-9
Bromuro de vinilo	593-60-2
Captan	133-06-2
Clorodibromometano	124-48-1
Cloroformo	67-66-3
Clorometano	74-87-3
Clorpirifos	2921-88-2
Cloruro de metileno	75-09-2
Cloruro de Vinilideno	75-35-4
DDT	50-29-3
Diazinon	333-41-5
Dibromuro de etileno	106-93-4
Dibutil ftalato	84-74-2
Dimetil fenol (mezcla de isómeros)	1300-71-6
Dinitrotolueno (mezcla de isómeros)	25321-14-6
Dióxido de cloro	10049-04-4
Disulfuro de Carbono	75-15-0
Endosulfan I	959-98-8
Endrin	72-20-8
Epiclorhidrina	106-89-8
Estireno	100-42-5
Etanol	64-17-5
Etilbenceno	100-41-4
Etilen tiourea	96-45-7
Fenantreno	85-01-8
fenol	108-95-2
Formaldehído	50-00-0
Heptacloro	76-44-8
Hexaclorobenceno	118-74-1
Hexaclorociclopentadieno	77-47-4
Hexacloroetano	67-72-1
Hidracina	302-01-2
Lindano	58-89-9

LISTA DE SUSTANCIAS POR ORDEN ALFABÉTICO (CONTINUACIÓN)

NOMBRE	NÚMERO DE CAS	
Manganeso	7439-96-5	
Metacrilato de metilo	80-62-6	
Metano	74-82-8	
Metil mercurio	22967-92-6	
Metil-isobutil-cetona	108-10-1	
Monóxido de carbono	630-08-0	
N-dodecano	112-40-3	<i>Apéndice E. Muestra de cuestionario para fuentes puntuales</i>
N-nitro-di-n-propilamina	621-64-7	
N-nitrosodifenilamina	86-30-6	
N-nitrosodimetilamina	62-75-9	
Naftaleno	91-20-3	
O-anisidina	90-04-0	
o-fenilfenol	90-43-7	
Octacloroestireno	29082-74-4	
Óxido de etileno	75-21-8	
Óxido nitroso	10024-97-2	
Pentaclorodibenzo-p-dioxina	36088-22-9	
Pentaclorodibenzofurano	30402-15-4	
Pentacloroetano	76-01-7	
Pentaclorofenol	87-86-5	
Piridina	110-86-1	
Quinoleína	91-22-5	
Silvex	93-72-1	
Sulfuro de hidrógeno	4/6/7783	
Tetracloruro de carbono	56-23-5	
Tetraetilo de Plomo	78-00-2	
Tiourea	62-56-6	
Tiram	137-26-8	
Toluen diisocianatos (mezcla de isómeros)	26471-62-5	
Toxafeno	8001-35-2	
Tri-butil-estaño	688-73-3	
Trifuralin	1582-09-8	
Warfarina	81-81-2	

C. Lista de  
substancias  
(por número  
de CAS)

# SUSTANCIAS POR NÚMERO DE CAS

NOMBRE	NÚMERO DE CAS
1-cloro-4-nitrobenceno	100-00-5
4-nitrofenol	100-02-7
Etilbenceno	100-41-4
Estireno	100-42-5
Alfa-clorotolueno	100-44-7
Óxido nitroso	10024-97-2
Dióxido de cloro	10049-04-4
4,4'-metilen bis(2-cloroanilina)	101-14-4
4,4'-metilenobis (N,N-dimetil) anilina	101-61-1
1,4 diclorobenceno	106-46-7
Epiclorhidrina	106-89-8
Dibromuro de etileno	106-93-4
1,3 butadieno	106-99-0
Acroleína	107-02-8
1-bromo-2-cloroetano	107-04-0
1,2 dicloroetano	107-06-2
Acrilonitrilo	107-13-1
Metil-isobutil-cetona	108-10-1
Bis (2-cloro-1-metil etil) eter	108-60-1
fenol	108-95-2
2-metilpiridina	109-06-8
2-etoxietanol	110-80-5
Piridina	110-86-1
Bis(2-cloroetil)eter	111-44-4
N-dodecano	112-40-3
Bis(2-etilhexil)ftalato	117-81-7
Hexaclorobenceno	118-74-1
Antraceno	120-12-7
1,2,4- triclorobenceno	120-82-1
2,4-diclorofenol	120-83-2
2,4 dinitrotolueno	121-14-2
1,2 difenilhidracina	122-66-7
1,4 dioxano	123-91-1



SUSTANCIAS POR NÚMERO DE CAS (CONTINUACIÓN)

NOMBRE	NÚMERO DE CAS
Bióxido de carbono	124-38-9
Clorodibromometano	124-48-1
1,1,2,2-tetracloroetileno	127-18-4
Dimetil fenol (mezcla de isómeros)	1300-71-6
Captan	133-06-2
Asbesto	1332-21-4
Tiram	137-26-8
Trifuralin	1582-09-8
Metil mercurio	22967-92-6
Dinitrotolueno (mezcla de isómeros)	25321-14-6
toluen diisocianatos (mezcla de isómeros 2,4 y 2,6)	26471-62-5
Octacloroestireno	29082-74-4
Clorpirifos	2921-88-2
Hidracina	302-01-2
Pentaclorodibenzofurano	30402-15-4
Aldrin	309-00-2
Alfa-hexaclorociclohexano	319-84-6
Diazinon	333-41-5
Pentaclorodibenzo-p-dioxina	36088-22-9
Formaldehído	50-00-0
DDT	50-29-3
2,4-dinitrofenol	51-28-5
4,6-dinitro-o-cresol	534-52-1
1,3-diclorobenceno	541-73-1
1,3-dicloropropeno	542-75-6
bis (clorometil) eter	542-88-1
Tetracloruro de carbono	56-23-5
2,6 dimetilfenol	576-26-1
Lindano	58-89-9
2,3,4,6-tetraclorofenol	58-90-2
2,4-toluendiisocianato	584-84-9
4-nitrosomorfolina	59-89-2
Bromuro de vinilo	593-60-2

*Apéndice E.  
Muestra de  
cuestionario  
para fuentes  
puntuales*

## SUSTANCIAS POR NÚMERO DE CAS (CONTINUACIÓN)

C. Lista de  
sustancias  
(por número  
de CAS)

NOMBRE	NÚMERO DE CAS
4-aminoazobenceno	60-09-3
Acetamida	60-35-5
2,6 dinitrotolueno	606-20-2
Anilina	62-53-3
Tiourea	62-56-6
N-nitrosodimetilamina	62-75-9
N-nitro-di-n-propilamina	621-64-7
Monóxido de carbono	630-08-0
Etanol	64-17-5
Cloroformo	67-66-3
Hexacloroetano	67-72-1
Tri-butil-estaño	688-73-3
Benceno	71-43-2
Endrin	72-20-8
Metano	74-82-8
Bromometano	74-83-9
Clorometano	74-87-3
Manganeso	7439-96-5
Berilio	7440-41-7
Boro	7440-42-8
Acetaldehído	75-07-0
Cloruro de metileno	75-09-2
Disulfuro de Carbono	75-15-0
Óxido de etileno	75-21-8
Bromoformo	75-25-2
Bromodiclorometano	75-27-4
Cloruro de Vinilideno	75-35-4
Pentacloroetano	76-01-7
Heptacloro	76-44-8
1,2-dicloro-3-buteno	760-23-6
1,4-dicloro-2-buteno	764-41-0
Hexaclorociclopentadieno	77-47-4
Sulfuro de hidrógeno	4/6/7783

## SUSTANCIAS POR NÚMERO DE CAS (CONTINUACIÓN)

NOMBRE	NÚMERO DE CAS
Tetraetilo de Plomo	78-00-2
1,2-dicloropropano	78-87-5
1,1,2-tricloroetano	79-01-6
Acrilamida	79-06-1
1,1,2,2-tetracloroetano	79-34-5
2-nitropropano	79-46-9
Metacrilato de metilo	80-62-6
Toxafeno	8001-35-2
Warfarina	81-81-2
Dibutil ftalato	84-74-2
Fenantreno	85-01-8
N-nitrosodifenilamina	86-30-6
1,1,2,3,4,4-hexacloro-1,3-butadieno	87-68-3
Pentaclorofenol	87-86-5
2,4,6-triclorofenol	88-06-2
O-anisidina	90-04-0
o-fenilfenol	90-43-7
Naftaleno	91-20-3
Quinoleína	91-22-5
2-naftilamina	91-59-8
3,3'-diclorobencidina	91-94-1
Bifenil	92-52-4
4-aminobifenilo	92-67-1
Bencidina	92-87-5
4-nitrobifenil	92-93-3
Silvex	93-72-1
2,4-D	94-75-7
1,2-diclorobenceno	95-50-1
1,2,4-trimetilbenceno	95-63-6
2,4,5-triclorofenol	95-95-4
Endosulfan I	959-98-8
1,2-dibromo-3-cloropropano	96-12-8
Etilen tiourea	96-45-7

*Apéndice E.  
Muestra de  
cuestionario  
para fuentes  
puntuales*

## CATEGORÍAS QUÍMICAS

## HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (HAP's)

## CLAVE CHP01

ESTA CATEGORÍA INCLUYE A LAS SIGUIENTES SUSTANCIAS:

SUSTANCIA	NÚMERO CAS
Benzo(a)antraceno	56-55-3
Benzo(a)pireno	50-32-8
Benzo(e)pireno	192-97-2
Benzo(b)fluoranteno	205-99-2
Benzo(j)fluoranteno	205-82-3
Benzo(k)fluoranteno	207-08-9
Benzo(a)fluoreno	238-84-6
Benzo(b)fluoreno	30777-19-6
Benzo(g,h,i)perileno	191-24-2
Dibenzo(a,h)antraceno	53-70-3
Dibenzo(a,i)pireno	189-55-9
Dibenzo(a,h)acridina	226-36-8
Dibenzo(a,j)acridina	224-42-0
7H-dibenzo(c,g)carbazol	194-59-2
7,12-dimetilbenzo(a)antraceno	57-97-6
Indeno(1,2,2-c,d)pireno	193-39-5
Perileno	198-55-0
Pireno	129-00-0
Dimetilnaftaleno	28804-88-8
Criseno	218-01-9
Fluoranteno	206-44-0

## NITRO-HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS

## CLAVE CHP02

ESTA CATEGORÍA INCLUYE A LAS SIGUIENTES SUSTANCIAS:

SUSTANCIA	NÚMERO CAS
1,6-dinitropireno	42397-64-8
1,8-dinitropireno	42397-65-9

CATEGORIAS DE COMPUESTOS METALICOS, METALOIDES Y NO METALICOS  
 INCLUYE CUALQUIER SUSTANCIA QUE CONTENGA LOS SIGUIENTES ELEMENTOS  
 METÁLICOS COMO PARTE DE SU ESTRUCTURA:

SUSTANCIA	CLAVE
Arsénico (inorgánico)	CCM 01
Cadmio (formas inorgánicas, respirable y soluble)	CCM 02
Cromo ( + VI)	CCM 03
Cobalto (sales inorgánicas y solubles)	CCM 04
Cobre (sales inorgánicas)	CCM 05
Plomo (en todas sus formas excepto la alquílica)	CCM 06
Mercurio (inorgánico y elemental)	CCM 07
Níquel (inorgánico, respirable, soluble)	CCM 08
Plata (sales inorgánicas solubles)	CCM 09
Zinc (inorgánico, respirable, soluble)	CCM 10
Uranio (inorgánico, respirable, soluble)	CCM 11
Selenio y compuestos	CCM 12

*Apéndice E.  
Muestra de  
cuestionario  
para fuentes  
puntuales*

Formas Metálicas Respirables; Polvo y Humo

- Polvo : partículas sólidas generadas por cualquier proceso de materiales incluyendo molienda, fragmentación, impacto rápido, detonación y manejo.
- Humo : es la dispersión en el aire de partículas sólidas pequeñas creadas por la condensación de un gas. Los humos se generan durante el calentamiento de sólidos como el plomo y la condensación va acompañada por una reacción química como la oxidación.

COMPUESTOS DE CIANURO

CLAVE COC01

INCLUYE COMPUESTOS CON FÓRMULA  $X + CN^-$ , DONDE  $X = H +$  U OTRO GRUPO QUE PUEDE DISOCIARSE; POR EJEMPLO:  $KCN$  O  $Ca(CN)_2$ .

CATEGORIAS DE GASES DE COMBUSTIÓN

Substancia	Clave
Óxidos de azufre (SOX)	CGC 01
Óxidos de nitrógeno (NOX)	CGC 02

## D. REGIONES HIDROLÓGICAS

Baja California norte (Ensenada)	1
Baja California centro oeste (El Vizcaíno)	2
Baja California suroeste (Magdalena)	3
Baja California noreste (Laguna Salada)	4
Baja California centro este (Santa Rosalía)	5
Baja California sureste (La Paz)	6
Río Colorado	7
Sonora norte	8
Sonora sur	9
Sinaloa	10
Presidio - San Pedro	11
Lerma - Santiago	12
Huicicila	13
Ameca	14
Costa de Jalisco	15
Armería - Coahuayana	16
Costa de Michoacán	17
Balsas	18
Costa Grande	19
Costa Chica - Río Verde	20
Costa de Oaxaca (Puerto Angel)	21
Tehuantepec	22
Costa de Chiapas	23
Bravo	24
San Fernando Soto La Marina	25
Pánuco	26
Tuxpan - Nautla	27
Papaloapan	28
Coatzacoalcos	29
Grijalba - Usumacinta	30
Yucatán oeste (Campeche)	31
Yucatán norte (Yucatán)	32
Yucatán este (Quintana Roo)	33

Cuencas cerradas del norte (Casas Grandes)	34
Mapimí	35
Nazas - Aguanaval	36
El Salado	37

Fuente: Comisión Nacional del Agua, SARH, 1994.

*Apéndice E.  
Muestra de  
cuestionario  
para fuentes  
puntuales*





## APÉNDICE F.

### HOJAS DE CÁLCULO DE UN EJEMPLO DE INVENTARIO DE EMISIONES PARA MODELACIÓN

---

Este Apéndice presenta las hojas de cálculo utilizadas en el inventario de emisiones para modelación correspondiente a una comunidad hipotética con seis tipos de fuentes de emisión. Las hojas de cálculo para cada una de las seis fuentes de emisión se presentan en el siguiente orden:

- Fuente puntual: Caldera
- Fuente puntual: Proceso de recubrimiento
- Fuente móvil: Vehículos automotores que circulan por carretera
- Fuente de área, sector comercial: Gasolineras
- Fuente de área, sector doméstico: Uso doméstico de solventes
- Fuente de área, sector agrícola: Aplicación de plaguicidas

Para cada una de estas seis fuentes de emisión se incluyen las hojas de cálculo, que corresponden a la siguiente información:

- Emisiones anuales por contaminante; perfiles de distribución temporal mensual, semanal y por hora; distribución espacial, perfiles estacionales, perfiles de

actividad semanal y los correspondientes factores de distribución semanal; y el cálculo de las emisiones estacionales, de día de la semana promedio, sábado promedio y domingo promedio.

- Distribución temporal –horaria- de emisiones
- Emisiones localizadas y distribuidas temporalmente para la Celda A1
- Emisiones localizadas y distribuidas temporalmente para la Celda A2
- Emisiones localizadas y distribuidas temporalmente para la Celda A3
- Emisiones localizadas y distribuidas temporalmente para la Celda B1
- Emisiones localizadas y distribuidas temporalmente para la Celda B2
- Emisiones localizadas y distribuidas temporalmente para la Celda B3
- Emisiones localizadas y distribuidas temporalmente para la Celda C1
- Emisiones localizadas y distribuidas temporalmente para la Celda C2
- Emisiones localizadas y distribuidas temporalmente para la Celda C3.

## FUENTE PUNTUAL: CALDERA DE LA FÁBRICA

### -INVENTARIO DE EMISIONES PARA MODELACIÓN -

Emisiones GOT Anuales (Mg/año) 200

Emisiones CO Anuales (Mg/año) 600

Emisiones NOx Anuales (Mg/año) 400

#### Distribución temporal

MENSUAL												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
0.200	0.200	0.073	0.073	0.073	0.000	0.000	0.000	0.060	0.060	0.060	0.200	
DARIA												
Lun		Mar		Mie		Jue		Vie		Sab		Dom
0.200		0.200		0.200		0.200		0.200		0.000		0.000
HORARIA												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.125	0.125	0.125	0.125	
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	23	
0.13	0.13	0.13	0.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

#### Distribución espacial

Celda	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000

#### Perfil Estacional

Invierno	0.600
Primavera	0.219
Verano	0.000
Otoño	0.180

#### Perfil de actividad semanal

Día promedio	0.143
Día/semana promedio	0.200
Sábado	0.000
Domingo	0.000

#### Factores semanales

Día/semana	0.0154
Sábado	0.0000
Domingo	0.0000

#### Emisiones estacionales (Mg)

	GOT	CO	NOx
Invierno	120.0	360.0	240.0
Primavera	43.8	131.0	87.6
Verano	0.0	0.0	0.0
Otoño	36.0	108.0	72.0

	Promedio emisiones día / semana (Mg)			Promedio emisiones sábado (Mg)			Promedio emisiones domingo (Mg)		
	GOT	CO	NOx	GOT	CO	NOx	GOT	CO	NOx
Invierno	1.846	5.540	3.690	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera	0.674	2.020	1.350	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño	0.554	1.660	1.110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

## 396

396

11/04/2005, 06:30 p.m.

NOx	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Invierno día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.462	0.462	0.462	0.462	0.462	0.462	0.462	0.462	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.168	0.168	0.168	0.168	0.168	0.168	0.168	0.168	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.138	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Invierno sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Invierno domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

EMISIONES POR HORA DISTRIBUIDAS ESPACIALMENTE (CELDA A1)

GOT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Invierno día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Invierno sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Invierno domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

## 398

11/04/2005, 06:30 p.m.

## EMISIONES POR HORA DISTRIBUIDAS ESPACIALMENTE (CELDA A2)

[illegible]

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

## 400

EMISIONES POR HORA DISTRIBUIDAS ESPACIALMENTE (CELDA A3)apendice f.pmd



[illegible][illegible]

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

## 402

11/04/2005, 06:30 p.m.

[illegible][illegible]

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

## apendice f.pmd

404

## EMISSIONES POR HORA DISTRIBUIDAS ESPACIALMENTE (CELDA B3)

[illegible]

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

## 406

EMISIONES POR HORA DISTRIBUIDAS ESPACIALMENTE (CELDA C1)

11/04/2005, 06:30 p.m.

[illegible]

## 408

11/04/2005, 06:30 p.m.



[illegible]EMISIONES POR HORA DISTRIBUIDAS ESPACIALMENTE (CELDA C3)[illegible]

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

## 410

11/04/2005, 06:30 p.m.

FUENTE PUNTUAL: PROCESO DE RECUBRIMIENTO  
-INVENTARIO DE EMISIONES PARA MODELACIÓN -

Emisiones GOT Anuales (Mg/año) 300  
Emisiones CO Anuales (Mg/año) 0  
Emisiones NOx Anuales (Mg/año) 0

*Distribución temporal*

MENSUAL													
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083		
DARIA													
Lun		Mar		Mie		Jue		Vie		Sab		Dom	
0.200		0.200		0.200		0.200		0.200		0.000		0.000	
HORARIA													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.125	0.125	0.125	0.125		
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	23		
0.13	0.13	0.13	0.13	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

*Distribución espacial*

Celda	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000

*Perfil Estacional*

Invierno	0.249
Primavera	0.249
Verano	0.249
Otoño	0.249

*Perfil de actividad semanal*

Día promedio	0.143
Día/semana promedio	0.200
Sábado	0.000
Domingo	0.000

*Factores semanales*

Día/semana	0.0154
Sábado	0.0000
Domingo	0.0000

*Emisiones estacionales (Mg)*

	GOT	CO	NOx
Invierno	74.7	0.0	0.0
Primavera	74.7	0.0	0.0
Verano	74.7	0.0	0.0
Otoño	74.7	0.0	0.0

	<i>Promedio emisiones día / semana (Mg)</i>			<i>Promedio emisiones sábado (Mg)</i>			<i>Promedio emisiones domingo (Mg)</i>		
	GOT	CO	NOx	GOT	CO	NOx	GOT	CO	NOx
Invierno	1.149	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera	1.149	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano	1.149	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño	1.149	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

## 412

412

11/04/2005, 06:30 p.m.

[illegible]EMISIONES POR HORA DISTRIBUIDAS ESPACIALMENTE (CELDA A1)[illegible]

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

## 414

11/04/2005, 06:30 p.m.

## EMISSIONES POR HORA DISTRIBUIDAS ESPACIALMENTE (CELDA A2)

[illegible]

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

[illegible][illegible]



[illegible][illegible]

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

## 418

11/04/2005, 06:30 p.m.

[illegible][illegible]

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

## 420

11/04/2005, 06:30 p.m.

## EMISIONES POR HORA DISTRIBUIDAS ESPACIALMENTE (CELDA B3)

[illegible]

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

## 422

EMISIONES POR HORA DISTRIBUIDAS ESPACIALMENTE (CELDA C1)

11/04/2005, 06:30 p.m.

[illegible]

## 424

11/04/2005, 06:30 p.m.





[illegible]

FUENTE MÓVIL: VEHÍCULOS AUTOMOTORES QUE CIRCULAN POR  
CARRETERA -INVENTARIO DE EMISIONES PARA MODELACIÓN -

Emisiones GOT Anuales (Mg/año)	400
Emisiones CO Anuales (Mg/año)	800
Emisiones NOx Anuales (Mg/año)	600

*Distribución temporal*

MENSUAL													
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
0.081	0.078	0.080	0.084	0.089	0.081	0.082	0.083	0.079	0.088	0.084	0.091		
DARIA													
Lun		Mar		Mie		Jue		Vie		Sab		Dom	
0.138		0.138		0.138		0.138		0.138		0.155		0.155	
HORARIA													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
0.016	0.010	0.003	0.006	0.010	0.026	0.053	0.064	0.055	0.048	0.050	0.052		
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	23		
0.050	0.060	0.060	0.070	0.074	0.070	0.058	0.046	0.037	0.033	0.028	0.022		

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

*Distribución espacial*

Celda	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
	0.200	0.200	0.200	0.000	0.000	0.200	0.000	0.000	0.000

*Perfil Estacional*

Invierno	0.250
Primavera	0.253
Verano	0.246
Otoño	0.251

*Perfil de actividad semanal*

Día promedio	0.143
Día/semana promedio	0.138
Sábado	0.155
Domingo	0.155

*Factores semanales*

Día/semana	0.0106
Sábado	0.0119
Domingo	0.0119

*Emisiones estacionales (Mg)*

	GOT	CO	NOx
Invierno	100.0	200.0	150.0
Primavera	101.2	202.4	151.8
Verano	98.4	196.8	147.6
Otoño	100.4	200.8	150.6

	<i>Promedio emisiones día / semana (Mg)</i>			<i>Promedio emisiones sábado (Mg)</i>			<i>Promedio emisiones domingo (Mg)</i>		
	GOT	CO	NOx	GOT	CO	NOx	GOT	CO	NOx
Invierno	1.062	2.123	1.592	1.192	2.385	1.788	1.192	2.385	1.788
Primavera	1.074	2.149	1.611	1.207	2.413	1.810	1.207	2.413	1.810
Verano	1.045	2.089	1.567	1.173	2.346	1.760	1.173	2.346	1.760
Otoño	1.066	2.132	1.599	1.197	2.394	1.796	1.197	2.394	1.796

EMISIONES POR HORA

GOT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Invierno día/semana	0.017	0.011	0.003	0.006	0.011	0.028	0.056	0.068	0.058	0.051	0.053	0.055	0.057	0.058	0.063	0.074	0.079	0.074	0.062	0.049	0.039	0.035	0.030	0.023
Primavera día/semana	0.017	0.011	0.003	0.006	0.011	0.028	0.057	0.069	0.059	0.052	0.054	0.056	0.058	0.059	0.063	0.075	0.079	0.075	0.062	0.049	0.040	0.035	0.030	0.024
Verano día/semana	0.017	0.010	0.003	0.006	0.010	0.027	0.055	0.067	0.057	0.050	0.052	0.054	0.056	0.057	0.062	0.073	0.077	0.073	0.061	0.048	0.039	0.034	0.029	0.023
Otoño día/semana	0.017	0.011	0.003	0.006	0.011	0.028	0.056	0.068	0.059	0.051	0.053	0.055	0.058	0.059	0.063	0.075	0.079	0.075	0.062	0.049	0.039	0.035	0.030	0.023
Invierno sábado	0.019	0.012	0.004	0.007	0.012	0.031	0.063	0.076	0.066	0.057	0.060	0.062	0.064	0.066	0.070	0.083	0.088	0.083	0.069	0.055	0.044	0.039	0.033	0.026
Primavera sábado	0.019	0.012	0.004	0.007	0.012	0.031	0.064	0.077	0.066	0.058	0.060	0.063	0.065	0.066	0.071	0.084	0.089	0.084	0.070	0.056	0.045	0.040	0.034	0.027
Verano sábado	0.019	0.012	0.004	0.007	0.012	0.031	0.062	0.075	0.065	0.056	0.059	0.061	0.063	0.065	0.069	0.082	0.087	0.082	0.068	0.054	0.043	0.039	0.033	0.026
Otoño sábado	0.019	0.012	0.004	0.007	0.012	0.031	0.063	0.077	0.066	0.057	0.060	0.062	0.065	0.066	0.071	0.084	0.089	0.084	0.069	0.055	0.044	0.040	0.034	0.026
Invierno domingo	0.019	0.012	0.004	0.007	0.012	0.031	0.063	0.076	0.066	0.057	0.060	0.062	0.064	0.066	0.070	0.083	0.088	0.083	0.069	0.055	0.044	0.039	0.033	0.026
Primavera domingo	0.019	0.012	0.004	0.007	0.012	0.031	0.064	0.077	0.066	0.058	0.060	0.063	0.065	0.066	0.071	0.084	0.089	0.084	0.070	0.056	0.045	0.040	0.034	0.027
Verano domingo	0.019	0.012	0.004	0.007	0.012	0.031	0.062	0.075	0.065	0.056	0.059	0.061	0.063	0.065	0.069	0.082	0.087	0.082	0.068	0.054	0.043	0.039	0.033	0.026
Otoño domingo	0.019	0.012	0.004	0.007	0.012	0.031	0.063	0.077	0.066	0.057	0.060	0.062	0.065	0.066	0.071	0.084	0.089	0.084	0.069	0.055	0.044	0.040	0.034	0.026

CO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Invierno día/semana	0.034	0.021	0.006	0.013	0.021	0.055	0.113	0.136	0.117	0.102	0.106	0.110	0.115	0.117	0.125	0.149	0.157	0.149	0.123	0.098	0.079	0.070	0.059	0.047
Primavera día/semana	0.034	0.021	0.006	0.013	0.021	0.056	0.114	0.138	0.118	0.103	0.107	0.112	0.116	0.118	0.127	0.150	0.159	0.150	0.125	0.099	0.079	0.071	0.060	0.047
Verano día/semana	0.033	0.021	0.006	0.013	0.021	0.054	0.111	0.134	0.115	0.100	0.104	0.109	0.113	0.115	0.123	0.146	0.155	0.146	0.121	0.096	0.077	0.069	0.058	0.046
Otoño día/semana	0.034	0.021	0.006	0.013	0.021	0.055	0.113	0.136	0.117	0.102	0.107	0.111	0.115	0.117	0.126	0.149	0.158	0.149	0.124	0.098	0.079	0.070	0.060	0.047
Invierno sábado	0.038	0.024	0.007	0.014	0.024	0.062	0.126	0.153	0.131	0.114	0.119	0.124	0.129	0.131	0.141	0.167	0.176	0.167	0.138	0.110	0.088	0.079	0.067	0.052
Primavera sábado	0.039	0.024	0.007	0.014	0.024	0.063	0.128	0.154	0.133	0.116	0.121	0.125	0.130	0.133	0.142	0.169	0.179	0.169	0.140	0.111	0.089	0.080	0.068	0.053
Verano sábado	0.038	0.023	0.007	0.014	0.023	0.061	0.124	0.150	0.129	0.113	0.117	0.122	0.127	0.129	0.138	0.164	0.174	0.164	0.136	0.108	0.087	0.077	0.066	0.052
Otoño sábado	0.038	0.024	0.007	0.014	0.024	0.062	0.127	0.153	0.132	0.115	0.120	0.124	0.129	0.132	0.141	0.168	0.177	0.168	0.139	0.110	0.089	0.079	0.067	0.053
Invierno domingo	0.038	0.024	0.007	0.014	0.024	0.119	0.126	0.153	0.131	0.114	0.119	0.124	0.129	0.131	0.141	0.167	0.176	0.167	0.138	0.110	0.088	0.079	0.067	0.052
Primavera domingo	0.039	0.024	0.007	0.014	0.024	0.121	0.128	0.154	0.133	0.116	0.121	0.125	0.130	0.133	0.142	0.169	0.179	0.169	0.140	0.111	0.089	0.080	0.068	0.053
Verano domingo	0.038	0.023	0.007	0.014	0.023	0.117	0.124	0.150	0.129	0.113	0.117	0.122	0.127	0.129	0.138	0.164	0.174	0.164	0.136	0.108	0.087	0.077	0.066	0.052
Otoño domingo	0.038	0.024	0.007	0.014	0.024	0.120	0.127	0.153	0.132	0.115	0.120	0.124	0.129	0.132	0.141	0.168	0.177	0.168	0.139	0.110	0.089	0.079	0.067	0.053

NOx	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Invierno día/semana	0.025	0.016	0.005	0.010	0.016	0.041	0.084	0.102	0.088	0.076	0.080	0.083	0.086	0.088	0.088	0.111	0.118	0.111	0.092	0.073	0.059	0.053	0.045	0.035
Primavera día/semana	0.026	0.016	0.005	0.010	0.016	0.042	0.085	0.103	0.089	0.077	0.081	0.084	0.087	0.089	0.089	0.113	0.119	0.113	0.093	0.074	0.060	0.053	0.045	0.035
Verano día/semana	0.025	0.016	0.005	0.009	0.016	0.041	0.083	0.100	0.086	0.075	0.078	0.081	0.085	0.086	0.086	0.110	0.116	0.110	0.091	0.072	0.058	0.052	0.044	0.034
Otoño día/semana	0.026	0.016	0.005	0.010	0.016	0.042	0.085	0.102	0.088	0.077	0.080	0.083	0.086	0.088	0.088	0.112	0.118	0.112	0.093	0.074	0.059	0.053	0.045	0.035
Invierno sábado	0.029	0.018	0.005	0.011	0.018	0.047	0.095	0.114	0.098	0.086	0.089	0.093	0.097	0.098	0.098	0.125	0.132	0.125	0.104	0.082	0.066	0.059	0.050	0.039
Primavera sábado	0.029	0.018	0.005	0.011	0.018	0.047	0.096	0.116	0.100	0.087	0.090	0.094	0.098	0.100	0.100	0.127	0.134	0.127	0.105	0.083	0.067	0.060	0.051	0.040
Verano sábado	0.028	0.018	0.005	0.011	0.018	0.046	0.093	0.113	0.097	0.084	0.088	0.092	0.095	0.097	0.097	0.123	0.130	0.123	0.102	0.081	0.065	0.058	0.049	0.039
Otoño sábado	0.029	0.018	0.005	0.011	0.018	0.047	0.095	0.115	0.099	0.086	0.090	0.093	0.097	0.099	0.099	0.126	0.133	0.126	0.104	0.083	0.066	0.059	0.050	0.040
Invierno domingo	0.029	0.018	0.005	0.011	0.018	0.047	0.093	0.114	0.098	0.086	0.089	0.093	0.097	0.098	0.098	0.125	0.132	0.125	0.104	0.082	0.066	0.059	0.050	0.039
Primavera domingo	0.029	0.018	0.005	0.011	0.018	0.047	0.094	0.116	0.100	0.087	0.090	0.094	0.098	0.100	0.100	0.127	0.134	0.127	0.105	0.083	0.067	0.060	0.051	0.040
Verano domingo	0.028	0.018	0.005	0.011	0.018	0.046	0.092	0.113	0.097	0.084	0.088	0.092	0.095	0.097	0.097	0.123	0.130	0.123	0.102	0.081	0.065	0.058	0.049	0.039
Otoño domingo	0.029	0.018	0.005	0.011	0.018	0.047	0.093	0.115	0.099	0.086	0.090	0.093	0.097	0.099	0.099	0.126	0.133	0.126	0.104	0.083	0.066	0.059	0.050	0.040

EMISIONES POR HORA DISTRIBUIDAS ESPACIALMENTE (CELDA A1)

GOT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Invierno día/semana	0.003	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.011	0.014	0.012	0.010	0.011	0.011	0.011	0.012	0.013	0.015	0.016	0.015	0.012	0.010	0.008	0.007	0.006	0.005
Primavera día/semana	0.003	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.011	0.014	0.012	0.010	0.011	0.011	0.012	0.012	0.013	0.015	0.016	0.015	0.012	0.010	0.008	0.007	0.006	0.005
Verano día/semana	0.003	0.002	0.001	0.001	0.002	0.005	0.011	0.013	0.011	0.010	0.010	0.011	0.011	0.011	0.012	0.013	0.015	0.015	0.012	0.010	0.008	0.007	0.006	0.005
Otoño día/semana	0.003	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.011	0.014	0.012	0.010	0.011	0.011	0.012	0.012	0.013	0.015	0.016	0.015	0.012	0.010	0.008	0.007	0.006	0.005
Invierno sábado	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.013	0.015	0.013	0.011	0.012	0.012	0.013	0.013	0.014	0.017	0.018	0.017	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005
Primavera sábado	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.013	0.015	0.013	0.012	0.012	0.013	0.013	0.013	0.014	0.017	0.018	0.017	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005
Verano sábado	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.012	0.015	0.013	0.011	0.012	0.012	0.013	0.013	0.014	0.016	0.017	0.016	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005
Otoño sábado	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.013	0.015	0.013	0.011	0.012	0.012	0.013	0.013	0.014	0.017	0.018	0.017	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005
Invierno domingo	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.013	0.015	0.013	0.011	0.012	0.012	0.013	0.013	0.014	0.017	0.018	0.017	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005
Primavera domingo	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.013	0.015	0.013	0.012	0.012	0.013	0.013	0.013	0.014	0.017	0.018	0.017	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005
Verano domingo	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.012	0.015	0.013	0.011	0.012	0.012	0.013	0.013	0.014	0.016	0.017	0.016	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005
Otoño domingo	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.013	0.015	0.013	0.011	0.012	0.012	0.013	0.013	0.014	0.017	0.018	0.017	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

Apéndice F  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

CO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Invierno día/semana	0.007	0.004	0.001	0.003	0.004	0.011	0.023	0.027	0.023	0.020	0.021	0.022	0.023	0.023	0.025	0.030	0.031	0.030	0.025	0.020	0.016	0.014	0.012	0.009
Primavera día/semana	0.007	0.004	0.001	0.003	0.004	0.011	0.023	0.028	0.024	0.021	0.021	0.022	0.023	0.024	0.025	0.030	0.032	0.030	0.025	0.020	0.016	0.014	0.012	0.009
Verano día/semana	0.007	0.004	0.001	0.003	0.004	0.011	0.022	0.027	0.023	0.020	0.021	0.022	0.023	0.023	0.025	0.029	0.031	0.029	0.024	0.019	0.015	0.014	0.012	0.009
Otoño día/semana	0.007	0.004	0.001	0.003	0.004	0.011	0.023	0.027	0.023	0.020	0.021	0.022	0.023	0.023	0.025	0.030	0.032	0.030	0.025	0.020	0.016	0.014	0.012	0.009
Invierno sábado	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.012	0.025	0.031	0.026	0.023	0.024	0.025	0.026	0.026	0.028	0.033	0.035	0.033	0.028	0.022	0.018	0.016	0.013	0.010
Primavera sábado	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.013	0.026	0.031	0.027	0.023	0.024	0.025	0.026	0.027	0.028	0.034	0.036	0.034	0.028	0.022	0.018	0.016	0.014	0.011
Verano sábado	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.012	0.025	0.030	0.026	0.023	0.023	0.024	0.025	0.026	0.028	0.033	0.035	0.033	0.027	0.022	0.017	0.015	0.013	0.010
Otoño sábado	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.012	0.025	0.031	0.026	0.023	0.024	0.025	0.026	0.026	0.028	0.034	0.035	0.034	0.028	0.022	0.018	0.016	0.013	0.011
Invierno domingo	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.024	0.025	0.031	0.026	0.023	0.024	0.025	0.026	0.026	0.028	0.033	0.035	0.033	0.028	0.022	0.018	0.016	0.013	0.010
Primavera domingo	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.024	0.026	0.031	0.027	0.023	0.024	0.025	0.026	0.027	0.028	0.034	0.036	0.034	0.028	0.022	0.018	0.016	0.014	0.011
Verano domingo	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.023	0.025	0.030	0.026	0.023	0.023	0.024	0.025	0.026	0.028	0.033	0.035	0.033	0.027	0.022	0.017	0.015	0.013	0.010
Otoño domingo	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.024	0.025	0.031	0.026	0.023	0.024	0.025	0.026	0.026	0.028	0.034	0.035	0.034	0.028	0.022	0.018	0.016	0.013	0.011
NOx	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Invierno día/semana	0.005	0.003	0.001	0.002	0.003	0.008	0.017	0.020	0.018	0.015	0.016	0.017	0.017	0.018	0.019	0.022	0.024	0.022	0.018	0.015	0.015	0.011	0.009	0.007
Primavera día/semana	0.005	0.003	0.001	0.002	0.003	0.008	0.017	0.021	0.018	0.015	0.016	0.017	0.017	0.018	0.019	0.023	0.024	0.023	0.019	0.015	0.015	0.011	0.009	0.007
Verano día/semana	0.005	0.003	0.001	0.002	0.003	0.008	0.017	0.020	0.017	0.015	0.016	0.016	0.017	0.017	0.018	0.022	0.023	0.022	0.018	0.014	0.014	0.010	0.009	0.007
Otoño día/semana	0.005	0.003	0.001	0.002	0.003	0.008	0.017	0.020	0.018	0.015	0.016	0.017	0.017	0.018	0.019	0.022	0.024	0.022	0.019	0.015	0.015	0.011	0.009	0.007
Invierno sábado	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.019	0.023	0.020	0.017	0.018	0.019	0.019	0.020	0.021	0.025	0.026	0.025	0.021	0.016	0.016	0.012	0.010	0.008
Primavera sábado	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.019	0.023	0.020	0.017	0.018	0.019	0.020	0.020	0.021	0.025	0.027	0.025	0.021	0.017	0.017	0.012	0.010	0.008
Verano sábado	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.019	0.023	0.019	0.017	0.018	0.018	0.019	0.019	0.021	0.025	0.026	0.025	0.020	0.016	0.016	0.012	0.010	0.008
Otoño sábado	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.019	0.023	0.020	0.017	0.018	0.019	0.019	0.020	0.021	0.025	0.027	0.025	0.021	0.017	0.017	0.012	0.010	0.008
Invierno domingo	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.019	0.023	0.020	0.017	0.018	0.019	0.019	0.020	0.021	0.025	0.026	0.025	0.021	0.016	0.016	0.012	0.010	0.008
Primavera domingo	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.019	0.023	0.020	0.017	0.018	0.019	0.020	0.020	0.021	0.025	0.027	0.025	0.021	0.017	0.017	0.012	0.010	0.008
Verano domingo	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.018	0.023	0.019	0.017	0.018	0.018	0.019	0.019	0.021	0.025	0.026	0.025	0.020	0.016	0.016	0.012	0.010	0.008
Otoño domingo	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.019	0.023	0.020	0.017	0.018	0.019	0.019	0.020	0.021	0.025	0.027	0.025	0.021	0.017	0.017	0.012	0.010	0.008

EMISIONES POR HORA DISTRIBUIDAS ESPACIALMENTE (CELDA A2)

GOT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Invierno día/semana	0.003	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.011	0.014	0.012	0.010	0.011	0.011	0.011	0.012	0.013	0.015	0.016	0.015	0.012	0.010	0.008	0.007	0.006	0.005
Primavera día/semana	0.003	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.011	0.014	0.012	0.010	0.011	0.011	0.012	0.012	0.013	0.015	0.016	0.015	0.012	0.010	0.008	0.007	0.006	0.005
Verano día/semana	0.003	0.002	0.001	0.001	0.002	0.005	0.011	0.013	0.011	0.010	0.010	0.011	0.011	0.011	0.012	0.015	0.015	0.015	0.012	0.010	0.008	0.007	0.006	0.005
Otoño día/semana	0.003	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.011	0.014	0.012	0.010	0.011	0.011	0.012	0.012	0.013	0.015	0.016	0.015	0.012	0.010	0.008	0.007	0.006	0.005
Invierno sábado	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.013	0.015	0.013	0.011	0.012	0.012	0.013	0.013	0.014	0.017	0.018	0.017	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005
Primavera sábado	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.013	0.015	0.013	0.011	0.012	0.012	0.013	0.013	0.014	0.017	0.018	0.017	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005
Verano sábado	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.012	0.015	0.013	0.011	0.012	0.012	0.013	0.013	0.014	0.016	0.017	0.016	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005
Otoño sábado	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.013	0.015	0.013	0.011	0.012	0.012	0.013	0.013	0.014	0.017	0.018	0.017	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005
Invierno domingo	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.013	0.015	0.013	0.011	0.012	0.012	0.013	0.013	0.014	0.017	0.018	0.017	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005
Primavera domingo	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.013	0.015	0.013	0.012	0.012	0.013	0.013	0.013	0.014	0.017	0.018	0.017	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005
Verano domingo	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.012	0.015	0.013	0.011	0.012	0.012	0.013	0.013	0.014	0.016	0.017	0.016	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005
Otoño domingo	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.013	0.015	0.013	0.011	0.012	0.012	0.013	0.013	0.014	0.017	0.018	0.017	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005

CO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Invierno día/semana	0.007	0.004	0.001	0.003	0.004	0.011	0.023	0.027	0.023	0.020	0.021	0.022	0.023	0.023	0.025	0.030	0.031	0.030	0.025	0.020	0.016	0.014	0.012	0.009
Primavera día/semana	0.007	0.004	0.001	0.003	0.004	0.011	0.023	0.028	0.024	0.021	0.021	0.022	0.023	0.024	0.025	0.030	0.032	0.030	0.025	0.020	0.016	0.014	0.012	0.009
Verano día/semana	0.007	0.004	0.001	0.003	0.004	0.011	0.022	0.027	0.023	0.020	0.021	0.022	0.023	0.023	0.025	0.029	0.031	0.029	0.024	0.019	0.015	0.014	0.012	0.009
Otoño día/semana	0.007	0.004	0.001	0.003	0.004	0.011	0.023	0.027	0.023	0.020	0.021	0.022	0.023	0.023	0.025	0.030	0.032	0.030	0.025	0.020	0.016	0.014	0.012	0.009
Invierno sábado	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.012	0.025	0.031	0.026	0.023	0.024	0.025	0.026	0.026	0.028	0.033	0.035	0.033	0.028	0.022	0.018	0.016	0.013	0.010
Primavera sábado	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.013	0.026	0.031	0.027	0.023	0.024	0.025	0.026	0.027	0.028	0.034	0.036	0.034	0.028	0.022	0.018	0.016	0.014	0.011
Verano sábado	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.012	0.025	0.030	0.026	0.023	0.023	0.024	0.025	0.026	0.028	0.033	0.035	0.033	0.027	0.022	0.017	0.015	0.013	0.010
Otoño sábado	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.012	0.025	0.031	0.026	0.023	0.024	0.025	0.026	0.026	0.028	0.034	0.035	0.034	0.028	0.022	0.018	0.016	0.013	0.011
Invierno domingo	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.024	0.025	0.031	0.026	0.023	0.024	0.025	0.026	0.026	0.028	0.033	0.035	0.033	0.028	0.022	0.018	0.016	0.013	0.010
Primavera domingo	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.024	0.026	0.031	0.027	0.023	0.024	0.025	0.026	0.027	0.028	0.034	0.036	0.034	0.028	0.022	0.018	0.016	0.014	0.011
Verano domingo	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.023	0.025	0.030	0.026	0.023	0.023	0.024	0.025	0.026	0.028	0.033	0.035	0.033	0.027	0.022	0.017	0.015	0.013	0.010
Otoño domingo	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.024	0.025	0.031	0.026	0.023	0.024	0.025	0.026	0.026	0.028	0.034	0.035	0.034	0.028	0.022	0.018	0.016	0.013	0.011

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

Apéndice F  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

NOx	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Invierno día/semana	0.005	0.003	0.001	0.002	0.003	0.008	0.017	0.020	0.018	0.015	0.016	0.017	0.017	0.018	0.019	0.022	0.024	0.022	0.018	0.015	0.012	0.011	0.009	0.007
Primavera día/semana	0.005	0.003	0.001	0.002	0.003	0.008	0.017	0.021	0.018	0.015	0.016	0.017	0.017	0.018	0.019	0.023	0.024	0.023	0.019	0.015	0.012	0.011	0.009	0.007
Verano día/semana	0.005	0.003	0.001	0.002	0.003	0.008	0.017	0.020	0.017	0.015	0.016	0.016	0.017	0.017	0.018	0.022	0.023	0.022	0.018	0.014	0.012	0.010	0.009	0.007
Otoño día/semana	0.005	0.003	0.001	0.002	0.003	0.008	0.017	0.020	0.018	0.015	0.016	0.017	0.017	0.018	0.019	0.022	0.024	0.022	0.019	0.015	0.012	0.011	0.009	0.007
Invierno sábado	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.019	0.023	0.020	0.017	0.018	0.019	0.019	0.020	0.021	0.025	0.026	0.025	0.021	0.016	0.013	0.012	0.010	0.008
Primavera sábado	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.019	0.023	0.020	0.017	0.018	0.019	0.020	0.020	0.021	0.025	0.027	0.025	0.021	0.017	0.013	0.012	0.010	0.008
Verano sábado	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.019	0.023	0.019	0.017	0.018	0.018	0.019	0.019	0.021	0.025	0.026	0.025	0.020	0.016	0.013	0.012	0.010	0.008
Otoño sábado	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.019	0.023	0.020	0.017	0.018	0.019	0.019	0.020	0.021	0.025	0.027	0.025	0.021	0.017	0.013	0.012	0.010	0.008
Invierno domingo	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.019	0.023	0.020	0.017	0.018	0.019	0.019	0.020	0.021	0.025	0.026	0.025	0.021	0.016	0.013	0.012	0.010	0.008
Primavera domingo	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.019	0.023	0.020	0.017	0.018	0.019	0.020	0.020	0.021	0.025	0.027	0.025	0.021	0.017	0.013	0.012	0.010	0.008
Verano domingo	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.018	0.023	0.019	0.017	0.018	0.018	0.019	0.019	0.021	0.025	0.026	0.025	0.020	0.016	0.013	0.012	0.010	0.008
Otoño domingo	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.019	0.023	0.020	0.017	0.018	0.019	0.019	0.020	0.021	0.025	0.027	0.025	0.021	0.017	0.013	0.012	0.010	0.008

EMISIONES POR HORA DISTRIBUIDAS ESPACIALMENTE (CELDA A3)

GOT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Invierno día/semana	0.003	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.011	0.014	0.012	0.010	0.011	0.011	0.011	0.012	0.013	0.015	0.016	0.015	0.012	0.010	0.008	0.007	0.006	0.005
Primavera día/semana	0.003	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.011	0.014	0.012	0.010	0.011	0.011	0.011	0.012	0.012	0.013	0.015	0.016	0.015	0.012	0.010	0.008	0.007	0.006
Verano día/semana	0.003	0.002	0.001	0.001	0.002	0.005	0.011	0.013	0.011	0.010	0.010	0.011	0.011	0.011	0.012	0.015	0.015	0.015	0.012	0.010	0.008	0.007	0.006	0.005
Otoño día/semana	0.003	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.011	0.014	0.012	0.010	0.011	0.011	0.012	0.012	0.013	0.015	0.016	0.015	0.012	0.010	0.008	0.007	0.006	0.005
Invierno sábado	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.013	0.015	0.013	0.011	0.012	0.012	0.013	0.013	0.014	0.017	0.018	0.017	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005
Primavera sábado	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.013	0.015	0.013	0.012	0.012	0.013	0.013	0.013	0.014	0.017	0.018	0.017	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005
Verano sábado	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.012	0.015	0.013	0.011	0.012	0.012	0.013	0.013	0.014	0.016	0.017	0.016	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005
Otoño sábado	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.013	0.015	0.013	0.011	0.012	0.012	0.013	0.013	0.014	0.017	0.018	0.017	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005
Invierno domingo	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.013	0.015	0.013	0.011	0.012	0.012	0.013	0.013	0.014	0.017	0.018	0.017	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005
Primavera domingo	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.013	0.015	0.013	0.012	0.012	0.013	0.013	0.013	0.014	0.017	0.018	0.017	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005
Verano domingo	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.012	0.015	0.013	0.011	0.012	0.012	0.013	0.013	0.014	0.016	0.017	0.016	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005
Otoño domingo	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.013	0.015	0.013	0.011	0.012	0.012	0.013	0.013	0.014	0.017	0.018	0.017	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005



CO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Invierno día/semana	0.007	0.004	0.001	0.003	0.004	0.011	0.023	0.027	0.023	0.020	0.021	0.022	0.023	0.023	0.025	0.030	0.031	0.030	0.025	0.020	0.016	0.014	0.012	0.009
Primavera día/semana	0.007	0.004	0.001	0.003	0.004	0.011	0.023	0.028	0.024	0.021	0.021	0.022	0.023	0.024	0.025	0.030	0.032	0.030	0.025	0.020	0.016	0.014	0.012	0.009
Verano día/semana	0.007	0.004	0.001	0.003	0.004	0.011	0.023	0.027	0.023	0.020	0.021	0.022	0.023	0.023	0.025	0.029	0.031	0.029	0.024	0.019	0.015	0.014	0.012	0.009
Otoño día/semana	0.007	0.004	0.001	0.003	0.004	0.011	0.023	0.027	0.023	0.020	0.021	0.022	0.023	0.023	0.025	0.030	0.032	0.030	0.025	0.020	0.016	0.014	0.012	0.009
Invierno sábado	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.012	0.025	0.031	0.026	0.023	0.024	0.025	0.026	0.026	0.028	0.033	0.035	0.033	0.028	0.022	0.018	0.016	0.013	0.010
Primavera sábado	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.013	0.026	0.031	0.027	0.023	0.024	0.025	0.026	0.027	0.028	0.034	0.036	0.034	0.028	0.022	0.018	0.016	0.014	0.011
Verano sábado	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.012	0.025	0.030	0.026	0.023	0.023	0.024	0.025	0.026	0.028	0.033	0.035	0.033	0.027	0.022	0.017	0.015	0.013	0.010
Otoño sábado	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.012	0.025	0.031	0.026	0.023	0.024	0.025	0.026	0.026	0.028	0.034	0.035	0.034	0.028	0.022	0.018	0.016	0.013	0.011
Invierno domingo	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.024	0.025	0.031	0.026	0.023	0.024	0.025	0.026	0.026	0.028	0.033	0.035	0.033	0.028	0.022	0.018	0.016	0.013	0.010
Primavera domingo	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.024	0.026	0.031	0.027	0.023	0.024	0.025	0.026	0.027	0.028	0.034	0.036	0.034	0.028	0.022	0.018	0.016	0.014	0.011
Verano domingo	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.023	0.025	0.030	0.026	0.023	0.023	0.024	0.025	0.026	0.028	0.033	0.035	0.033	0.027	0.022	0.017	0.015	0.013	0.010
Otoño domingo	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.024	0.025	0.031	0.026	0.023	0.024	0.025	0.026	0.026	0.028	0.034	0.035	0.034	0.028	0.022	0.018	0.016	0.013	0.011
NOx	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Invierno día/semana	0.005	0.003	0.001	0.002	0.003	0.008	0.017	0.020	0.018	0.015	0.016	0.017	0.017	0.018	0.019	0.022	0.024	0.022	0.018	0.015	0.012	0.011	0.009	0.007
Primavera día/semana	0.005	0.003	0.001	0.002	0.003	0.008	0.017	0.021	0.018	0.015	0.016	0.017	0.017	0.018	0.019	0.023	0.024	0.023	0.019	0.015	0.012	0.011	0.009	0.007
Verano día/semana	0.005	0.003	0.001	0.002	0.003	0.008	0.017	0.020	0.017	0.015	0.016	0.016	0.017	0.017	0.018	0.022	0.023	0.022	0.018	0.014	0.012	0.010	0.009	0.007
Otoño día/semana	0.005	0.003	0.001	0.002	0.003	0.008	0.017	0.020	0.018	0.015	0.016	0.017	0.017	0.018	0.019	0.022	0.024	0.022	0.019	0.015	0.012	0.011	0.009	0.007
Invierno sábado	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.019	0.023	0.020	0.017	0.018	0.019	0.019	0.020	0.021	0.025	0.026	0.025	0.021	0.016	0.013	0.012	0.010	0.008
Primavera sábado	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.019	0.023	0.020	0.017	0.018	0.019	0.020	0.020	0.021	0.025	0.027	0.025	0.021	0.017	0.013	0.012	0.010	0.008
Verano sábado	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.019	0.023	0.019	0.017	0.018	0.018	0.019	0.019	0.021	0.025	0.026	0.025	0.020	0.016	0.013	0.012	0.010	0.008
Otoño sábado	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.019	0.023	0.020	0.017	0.018	0.019	0.019	0.020	0.021	0.025	0.027	0.025	0.021	0.017	0.013	0.012	0.010	0.008
Invierno domingo	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.019	0.023	0.020	0.017	0.018	0.019	0.019	0.020	0.021	0.025	0.026	0.025	0.021	0.016	0.013	0.012	0.010	0.008
Primavera domingo	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.019	0.023	0.020	0.017	0.018	0.019	0.020	0.020	0.021	0.025	0.027	0.025	0.021	0.017	0.013	0.012	0.010	0.008
Verano domingo	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.018	0.023	0.019	0.017	0.018	0.018	0.019	0.019	0.021	0.025	0.026	0.025	0.020	0.016	0.013	0.012	0.010	0.008
Otoño domingo	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.019	0.023	0.020	0.017	0.018	0.019	0.019	0.020	0.021	0.025	0.027	0.025	0.021	0.017	0.013	0.012	0.010	0.008

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

## 434

11/04/2005, 06:30 p.m.



## apendice f.pmd

436

EMISIONES POR HORA DISTRIBUIDAS ESPACIALMENTE (Celda B3)

GOT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Invierno día/semana	0.003	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.011	0.014	0.012	0.010	0.011	0.011	0.011	0.012	0.013	0.015	0.016	0.015	0.012	0.010	0.008	0.007	0.006	0.005
Primavera día/semana	0.003	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.011	0.014	0.012	0.010	0.011	0.011	0.012	0.012	0.013	0.015	0.016	0.015	0.012	0.010	0.008	0.007	0.006	0.005
Verano día/semana	0.003	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.011	0.013	0.011	0.010	0.010	0.011	0.011	0.011	0.012	0.015	0.015	0.015	0.012	0.010	0.008	0.007	0.006	0.005
Otoño día/semana	0.003	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.011	0.014	0.012	0.010	0.011	0.011	0.012	0.012	0.013	0.015	0.016	0.015	0.012	0.010	0.008	0.007	0.006	0.005
Invierno sábado	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.013	0.015	0.013	0.011	0.012	0.012	0.013	0.013	0.014	0.017	0.018	0.017	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005
Primavera sábado	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.013	0.015	0.013	0.012	0.012	0.013	0.013	0.013	0.014	0.017	0.018	0.017	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005
Verano sábado	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.012	0.015	0.013	0.011	0.012	0.012	0.013	0.013	0.014	0.016	0.017	0.016	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005
Otoño sábado	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.013	0.015	0.013	0.011	0.012	0.012	0.013	0.013	0.014	0.017	0.018	0.017	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005
Invierno domingo	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.013	0.015	0.013	0.011	0.012	0.012	0.013	0.013	0.014	0.017	0.018	0.017	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005
Primavera domingo	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.013	0.015	0.013	0.012	0.012	0.013	0.013	0.013	0.014	0.017	0.018	0.017	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005
Verano domingo	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.012	0.015	0.013	0.011	0.012	0.012	0.013	0.013	0.014	0.016	0.017	0.016	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005
Otoño domingo	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.013	0.015	0.013	0.011	0.012	0.012	0.013	0.013	0.014	0.017	0.018	0.017	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005

CO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Invierno día/semana	0.007	0.004	0.001	0.003	0.004	0.011	0.023	0.027	0.023	0.020	0.021	0.022	0.023	0.023	0.025	0.030	0.031	0.030	0.025	0.020	0.016	0.014	0.012	0.009
Primavera día/semana	0.007	0.004	0.001	0.003	0.004	0.011	0.023	0.028	0.024	0.021	0.021	0.022	0.023	0.024	0.025	0.030	0.032	0.030	0.025	0.020	0.016	0.014	0.012	0.009
Verano día/semana	0.007	0.004	0.001	0.003	0.004	0.011	0.022	0.027	0.023	0.020	0.021	0.022	0.023	0.023	0.025	0.029	0.031	0.029	0.024	0.019	0.015	0.014	0.012	0.009
Otoño día/semana	0.007	0.004	0.001	0.003	0.004	0.011	0.023	0.027	0.023	0.020	0.021	0.022	0.023	0.023	0.025	0.030	0.032	0.030	0.025	0.020	0.016	0.014	0.012	0.009
Invierno sábado	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.012	0.025	0.031	0.026	0.023	0.024	0.025	0.026	0.026	0.028	0.033	0.035	0.033	0.028	0.022	0.018	0.016	0.013	0.010
Primavera sábado	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.013	0.026	0.031	0.027	0.023	0.024	0.025	0.026	0.027	0.028	0.034	0.036	0.034	0.028	0.022	0.018	0.016	0.014	0.011
Verano sábado	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.012	0.025	0.030	0.026	0.023	0.023	0.024	0.025	0.026	0.028	0.033	0.035	0.033	0.027	0.022	0.017	0.015	0.013	0.010
Otoño sábado	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.012	0.025	0.031	0.026	0.023	0.024	0.025	0.026	0.026	0.028	0.034	0.035	0.034	0.028	0.022	0.018	0.016	0.013	0.011
Invierno domingo	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.024	0.025	0.031	0.026	0.023	0.024	0.025	0.026	0.026	0.028	0.033	0.035	0.033	0.028	0.022	0.018	0.016	0.013	0.010
Primavera domingo	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.024	0.026	0.031	0.027	0.023	0.024	0.025	0.026	0.027	0.028	0.034	0.036	0.034	0.028	0.022	0.018	0.016	0.014	0.011
Verano domingo	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.023	0.025	0.030	0.026	0.023	0.023	0.024	0.025	0.026	0.028	0.033	0.035	0.033	0.027	0.022	0.017	0.015	0.013	0.010
Otoño domingo	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.024	0.025	0.031	0.026	0.023	0.024	0.025	0.026	0.026	0.028	0.034	0.035	0.034	0.028	0.022	0.018	0.016	0.013	0.011

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

Apéndice F  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

NOx	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Invierno día/semana	0.005	0.003	0.001	0.002	0.003	0.008	0.017	0.020	0.018	0.015	0.016	0.017	0.017	0.018	0.019	0.022	0.024	0.022	0.018	0.015	0.012	0.011	0.009	0.007
Primavera día/semana	0.005	0.003	0.001	0.002	0.003	0.008	0.017	0.021	0.018	0.015	0.016	0.017	0.017	0.018	0.019	0.023	0.024	0.023	0.019	0.015	0.012	0.011	0.009	0.007
Verano día/semana	0.005	0.003	0.001	0.002	0.003	0.008	0.017	0.020	0.017	0.015	0.016	0.016	0.017	0.017	0.018	0.022	0.023	0.022	0.018	0.014	0.012	0.010	0.009	0.007
Otoño día/semana	0.005	0.003	0.001	0.002	0.003	0.008	0.017	0.020	0.018	0.015	0.016	0.017	0.017	0.018	0.019	0.022	0.024	0.022	0.019	0.015	0.012	0.011	0.009	0.007
Invierno sábado	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.019	0.023	0.020	0.017	0.018	0.019	0.019	0.020	0.021	0.025	0.026	0.025	0.021	0.016	0.013	0.012	0.010	0.008
Primavera sábado	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.019	0.023	0.020	0.017	0.018	0.019	0.020	0.020	0.021	0.025	0.027	0.025	0.021	0.017	0.013	0.012	0.010	0.008
Verano sábado	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.019	0.023	0.019	0.017	0.018	0.018	0.019	0.019	0.021	0.025	0.026	0.025	0.020	0.016	0.013	0.012	0.010	0.008
Otoño sábado	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.019	0.023	0.020	0.017	0.018	0.019	0.019	0.020	0.021	0.025	0.027	0.025	0.021	0.017	0.013	0.012	0.010	0.008
Invierno domingo	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.019	0.023	0.020	0.017	0.018	0.019	0.019	0.020	0.021	0.025	0.026	0.025	0.021	0.016	0.013	0.012	0.010	0.008
Primavera domingo	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.019	0.023	0.020	0.017	0.018	0.019	0.020	0.020	0.021	0.025	0.027	0.025	0.021	0.017	0.013	0.012	0.010	0.008
Verano domingo	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.018	0.023	0.019	0.017	0.018	0.018	0.019	0.019	0.021	0.025	0.026	0.025	0.020	0.016	0.013	0.012	0.010	0.008
Otoño domingo	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.019	0.023	0.020	0.017	0.018	0.019	0.019	0.020	0.021	0.025	0.027	0.025	0.021	0.017	0.013	0.012	0.010	0.008

EMISIONES POR HORA DISTRIBUIDAS ESPACIALMENTE (CELDA C1)

GOT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Invierno día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Invierno sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Invierno domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000



## 440

11/04/2005, 06:30 p.m.



NOx	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Invierno día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Invierno sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Invierno domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

EMISIONES POR HORA DISTRIBUIDAS ESPACIALMENTE (CELDA C3)

GOT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Invierno día/semana	0.003	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.011	0.014	0.012	0.010	0.011	0.011	0.012	0.013	0.015	0.016	0.015	0.012	0.010	0.008	0.007	0.006	0.005	0.005
Primavera día/semana	0.003	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.011	0.014	0.012	0.010	0.011	0.011	0.012	0.012	0.013	0.015	0.016	0.015	0.012	0.010	0.008	0.007	0.006	0.005
Verano día/semana	0.003	0.002	0.001	0.001	0.002	0.005	0.011	0.013	0.011	0.010	0.010	0.011	0.011	0.012	0.012	0.013	0.015	0.015	0.012	0.010	0.008	0.007	0.006	0.005
Otoño día/semana	0.003	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.011	0.014	0.012	0.010	0.011	0.011	0.012	0.012	0.013	0.015	0.016	0.015	0.012	0.010	0.008	0.007	0.006	0.005
Invierno sábado	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.013	0.015	0.013	0.011	0.012	0.012	0.013	0.013	0.014	0.017	0.018	0.017	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005
Primavera sábado	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.013	0.015	0.013	0.012	0.012	0.013	0.013	0.013	0.014	0.017	0.018	0.017	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005
Verano sábado	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.012	0.015	0.013	0.011	0.012	0.012	0.013	0.013	0.014	0.017	0.017	0.016	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005
Otoño sábado	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.013	0.015	0.013	0.011	0.012	0.012	0.013	0.013	0.014	0.017	0.018	0.017	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005
Invierno domingo	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.013	0.015	0.013	0.011	0.012	0.012	0.013	0.013	0.014	0.017	0.018	0.017	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005
Primavera domingo	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.013	0.015	0.013	0.011	0.012	0.012	0.013	0.013	0.014	0.017	0.018	0.017	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005
Verano domingo	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.012	0.015	0.013	0.011	0.012	0.012	0.013	0.013	0.014	0.016	0.017	0.016	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005
Otoño domingo	0.004	0.002	0.001	0.001	0.002	0.006	0.013	0.015	0.013	0.011	0.012	0.012	0.013	0.013	0.014	0.016	0.018	0.017	0.014	0.011	0.009	0.008	0.007	0.005

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

Apéndice F  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

CO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Invierno día/semana	0.007	0.004	0.001	0.003	0.004	0.011	0.023	0.027	0.023	0.020	0.021	0.022	0.023	0.023	0.025	0.030	0.031	0.030	0.025	0.020	0.016	0.014	0.012	0.009
Primavera día/semana	0.007	0.004	0.001	0.003	0.004	0.011	0.023	0.028	0.024	0.021	0.021	0.022	0.023	0.024	0.025	0.030	0.032	0.030	0.025	0.020	0.016	0.014	0.012	0.009
Verano día/semana	0.007	0.004	0.001	0.003	0.004	0.011	0.022	0.027	0.023	0.020	0.021	0.022	0.023	0.023	0.025	0.029	0.031	0.029	0.024	0.019	0.015	0.014	0.012	0.009
Otoño día/semana	0.007	0.004	0.001	0.003	0.004	0.011	0.023	0.027	0.023	0.020	0.021	0.022	0.023	0.023	0.025	0.030	0.032	0.030	0.025	0.020	0.016	0.014	0.012	0.009
Invierno sábado	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.012	0.025	0.031	0.026	0.023	0.024	0.025	0.026	0.026	0.028	0.033	0.035	0.033	0.028	0.022	0.018	0.016	0.013	0.010
Primavera sábado	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.013	0.026	0.031	0.027	0.023	0.024	0.025	0.026	0.027	0.028	0.034	0.036	0.034	0.028	0.022	0.018	0.016	0.014	0.011
Verano sábado	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.012	0.025	0.030	0.026	0.023	0.023	0.024	0.025	0.026	0.028	0.033	0.035	0.033	0.027	0.022	0.017	0.015	0.013	0.010
Otoño sábado	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.012	0.025	0.031	0.026	0.023	0.024	0.025	0.026	0.026	0.028	0.034	0.035	0.034	0.028	0.022	0.018	0.016	0.013	0.011
Invierno domingo	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.024	0.025	0.031	0.026	0.023	0.024	0.025	0.026	0.026	0.028	0.033	0.035	0.033	0.028	0.022	0.018	0.016	0.013	0.010
Primavera domingo	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.024	0.026	0.031	0.027	0.023	0.024	0.025	0.026	0.027	0.028	0.034	0.036	0.034	0.028	0.022	0.018	0.016	0.014	0.011
Verano domingo	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.023	0.025	0.030	0.026	0.023	0.023	0.024	0.025	0.026	0.028	0.033	0.035	0.033	0.027	0.022	0.017	0.015	0.013	0.010
Otoño domingo	0.008	0.005	0.001	0.003	0.005	0.024	0.025	0.031	0.026	0.023	0.024	0.025	0.026	0.026	0.028	0.034	0.035	0.034	0.028	0.022	0.018	0.016	0.013	0.011
NOx	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Invierno día/semana	0.005	0.003	0.001	0.002	0.003	0.008	0.017	0.020	0.018	0.015	0.016	0.017	0.017	0.018	0.019	0.022	0.024	0.022	0.018	0.015	0.012	0.011	0.009	0.007
Primavera día/semana	0.005	0.003	0.001	0.002	0.003	0.008	0.017	0.021	0.018	0.015	0.016	0.017	0.017	0.018	0.019	0.023	0.024	0.023	0.019	0.015	0.012	0.011	0.009	0.007
Verano día/semana	0.005	0.003	0.001	0.002	0.003	0.008	0.017	0.020	0.017	0.015	0.016	0.016	0.017	0.017	0.018	0.022	0.023	0.022	0.018	0.014	0.012	0.010	0.009	0.007
Otoño día/semana	0.005	0.003	0.001	0.002	0.003	0.008	0.017	0.020	0.018	0.015	0.016	0.017	0.017	0.018	0.019	0.022	0.024	0.022	0.019	0.015	0.012	0.011	0.009	0.007
Invierno sábado	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.019	0.023	0.020	0.017	0.018	0.019	0.019	0.020	0.021	0.025	0.026	0.025	0.021	0.016	0.013	0.012	0.010	0.008
Primavera sábado	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.019	0.023	0.020	0.017	0.018	0.019	0.020	0.020	0.021	0.025	0.027	0.025	0.021	0.017	0.013	0.012	0.010	0.008
Verano sábado	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.019	0.023	0.020	0.017	0.018	0.019	0.020	0.020	0.021	0.025	0.026	0.025	0.021	0.016	0.013	0.012	0.010	0.008
Otoño sábado	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.019	0.023	0.019	0.017	0.018	0.018	0.019	0.019	0.021	0.025	0.026	0.025	0.020	0.016	0.013	0.012	0.010	0.008
Invierno domingo	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.019	0.023	0.020	0.017	0.018	0.019	0.019	0.020	0.021	0.025	0.027	0.025	0.021	0.017	0.013	0.012	0.010	0.008
Primavera domingo	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.019	0.023	0.020	0.017	0.018	0.019	0.020	0.020	0.021	0.025	0.027	0.025	0.021	0.017	0.013	0.012	0.010	0.008
Verano domingo	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.019	0.023	0.019	0.017	0.018	0.018	0.019	0.019	0.021	0.025	0.026	0.025	0.020	0.016	0.013	0.012	0.010	0.008
Otoño domingo	0.006	0.004	0.001	0.002	0.004	0.009	0.019	0.023	0.020	0.017	0.018	0.019	0.019	0.020	0.021	0.025	0.027	0.025	0.021	0.017	0.013	0.012	0.010	0.008

FUENTE DE ÁREA, SECTOR COMERCIAL: GASOLINERÍAS  
-INVENTARIO DE EMISIONES PARA MODELACIÓN -

Emisiones GOT Anuales (Mg/año) 150  
Emisiones CO Anuales (Mg/año) 0  
Emisiones NOx Anuales (Mg/año) 0

*Distribución temporal*

MENSUAL												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
0.081	0.078	0.080	0.084	0.089	0.081	0.082	0.083	0.079	0.088	0.084	0.091	
DARIA												
Lun		Mar		Mie		Jue		Vie		Sab		Dom
0.138		0.138		0.138		0.138		0.138		0.155		0.155
HORARIA												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	23	
0.043	0.043	0.043	0.043	0.086	0.086	0.086	0.086	0.060	0.060	0.026	0.026	

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

*Distribución espacial*

Celda	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
	0.333	0.000	0.667	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

*Perfil Estacional*

Invierno	0.250
Primavera	0.253
Verano	0.246
Otoño	0.251

*Perfil de actividad semanal*

Día promedio	0.143
Día/semana promedio	0.138
Sábado	0.155
Domingo	0.155

*Factores semanales*

Día/semana	0.0106
Sábado	0.0119
Domingo	0.0119

*Emisiones estacionales (Mg)*

	GOT	CO	NOx
Invierno	37.5	0.0	0.0
Primavera	38.0	0.0	0.0
Verano	36.9	0.0	0.0
Otoño	37.7	0.0	0.0

	<i>Promedio emisiones día / semana (Mg)</i>			<i>Promedio emisiones sábado (Mg)</i>			<i>Promedio emisiones domingo (Mg)</i>		
	GOT	CO	NOx	GOT	CO	NOx	GOT	CO	NOx
Invierno	0.398	0.000	0.000	0.447	0.000	0.000	0.447	0.000	0.000
Primavera	0.403	0.000	0.000	0.452	0.000	0.000	0.452	0.000	0.000
Verano	0.392	0.000	0.000	0.440	0.000	0.000	0.440	0.000	0.000
Otoño	0.400	0.000	0.000	0.449	0.000	0.000	0.449	0.000	0.000

EMISIONES POR HORA

GOT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Invierno día/semana	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.034	0.034	0.034	0.034	0.024	0.024	0.010	0.010
Primavera día/semana	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.035	0.035	0.035	0.035	0.024	0.024	0.010	0.010
Verano día/semana	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.034	0.034	0.034	0.034	0.024	0.024	0.010	0.010
Otoño día/semana	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.034	0.034	0.034	0.034	0.024	0.024	0.010	0.010
Invierno sábado	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.038	0.038	0.038	0.038	0.027	0.027	0.012	0.012
Primavera sábado	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.039	0.039	0.039	0.039	0.027	0.027	0.012	0.012
Verano sábado	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.038	0.038	0.038	0.038	0.026	0.026	0.011	0.011
Otoño sábado	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.039	0.039	0.039	0.039	0.027	0.027	0.012	0.012
Invierno domingo	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.038	0.038	0.038	0.038	0.027	0.027	0.012	0.012
Primavera domingo	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.039	0.039	0.039	0.039	0.027	0.027	0.012	0.012
Verano domingo	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.038	0.038	0.038	0.038	0.026	0.026	0.011	0.011
Otoño domingo	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.039	0.039	0.039	0.039	0.027	0.027	0.012	0.012

CO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Invierno día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Invierno sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Invierno domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

NOx	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Invierno día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Invierno sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Invierno domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

EMISIONES POR HORA DISTRIBUIDAS ESPACIALMENTE (CELDA A1)

GOT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Invierno día/semana	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.011	0.011	0.011	0.011	0.008	0.008	0.003	0.003
Primavera día/semana	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.012	0.012	0.012	0.012	0.008	0.008	0.003	0.003
Verano día/semana	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.011	0.011	0.011	0.011	0.008	0.008	0.003	0.003
Otoño día/semana	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.011	0.011	0.011	0.011	0.008	0.008	0.003	0.003
Invierno sábado	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.013	0.013	0.013	0.013	0.009	0.009	0.004	0.004
Primavera sábado	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.013	0.013	0.013	0.013	0.009	0.009	0.004	0.004
Verano sábado	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.013	0.013	0.013	0.013	0.009	0.009	0.004	0.004
Otoño sábado	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.013	0.013	0.013	0.013	0.009	0.009	0.004	0.004
Invierno domingo	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.013	0.013	0.013	0.013	0.009	0.009	0.004	0.004
Primavera domingo	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.013	0.013	0.013	0.013	0.009	0.009	0.004	0.004
Verano domingo	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.013	0.013	0.013	0.013	0.009	0.009	0.004	0.004
Otoño domingo	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.013	0.013	0.013	0.013	0.009	0.009	0.004	0.004

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

## 446

11/04/2005, 06:31 p.m.

## EMISSIONES POR HORA DISTRIBUIDAS ESPACIALMENTE (CELDA A2)

[illegible]

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

Apéndice F  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

NOx	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Invierno día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Invierno sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Invierno domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

EMISIONES POR HORA DISTRIBUIDAS ESPACIALMENTE (CELDA A3)

GOT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Invierno día/semana	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.011	0.011	0.011	0.011	0.012	0.011	0.011	0.011	0.011	0.023	0.023	0.023	0.023	0.016	0.016	0.007	0.007
Primavera día/semana	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.023	0.023	0.023	0.023	0.016	0.016	0.007	0.007
Verano día/semana	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.022	0.022	0.022	0.022	0.016	0.016	0.007	0.007
Otoño día/semana	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.023	0.023	0.023	0.023	0.016	0.016	0.007	0.007
Invierno sábado	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.026	0.026	0.026	0.026	0.018	0.018	0.008	0.008
Primavera sábado	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.026	0.026	0.026	0.026	0.018	0.018	0.008	0.008
Verano sábado	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.025	0.025	0.025	0.025	0.018	0.018	0.008	0.008
Otoño sábado	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.026	0.026	0.026	0.026	0.018	0.018	0.008	0.008
Invierno domingo	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.026	0.026	0.026	0.026	0.018	0.018	0.008	0.008
Primavera domingo	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.026	0.026	0.026	0.026	0.018	0.018	0.008	0.008
Verano domingo	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.025	0.025	0.025	0.025	0.018	0.018	0.008	0.008
Otoño domingo	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.026	0.026	0.026	0.026	0.018	0.018	0.008	0.008



[illegible][illegible]

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

## 450

11/04/2005, 06:31 p.m.

[illegible][illegible]

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación



## EMISIONES POR HORA DISTRIBUIDAS ESPACIALMENTE (CELDA B3)

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

## 454

EMISIONES POR HORA DISTRIBUIDAS ESPACIALMENTE (CELDA C1)

11/04/2005, 06:31 p.m.



## 456

11/04/2005, 06:31 p.m.



[illegible]EMISIONES POR HORA DISTRIBUIDAS ESPACIALMENTE (CELDA C3)[illegible]

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

## apendice f.pmd

458

FUENTE DE ÁREA, SECTOR DOMÉSTICO: USO DOMÉSTICO DE  
SOLVENTES -INVENTARIO DE EMISIONES PARA MODELACIÓN -

Emisiones GOT Anuales (Mg/año)	200
Emisiones CO Anuales (Mg/año)	0
Emisiones NOx Anuales (Mg/año)	0

*Distribución temporal*

MENSUAL												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
0.075	0.075	0.083	0.083	0.083	0.092	0.092	0.092	0.083	0.083	0.083	0.075	
DARIA												
Lun		Mar		Mie		Jue		Vie		Sab		Dom
0.135		0.135		0.135		0.135		0.135		0.162		0.162
HORARIA												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.071	0.071	0.071	0.071	0.071	0.071	
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	23	
0.071	0.071	0.071	0.071	0.071	0.071	0.071	0.071	0.000	0.000	0.000	0.000	

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

*Distribución espacial*

Celda	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
	0.250	0.250	0.000	0.250	0.250	0.000	0.500	0.500	0.000

*Perfil Estacional*

Invierno	0.225
Primavera	0.249
Verano	0.276
Otoño	0.249

*Perfil de actividad semanal*

Día promedio	0.143
Día/semana promedio	0.135
Sábado	0.162
Domingo	0.162

*Factores semanales*

Día/semana	0.0104
Sábado	0.0125
Domingo	0.0125

*Emisiones estacionales (Mg)*

	GOT	CO	NOx
Invierno	45.0	0.0	0.0
Primavera	49.8	0.0	0.0
Verano	55.2	0.0	0.0
Otoño	49.8	0.0	0.0

	<i>Promedio emisiones día / semana (Mg)</i>			<i>Promedio emisiones sábado (Mg)</i>			<i>Promedio emisiones domingo (Mg)</i>		
	GOT	CO	NOx	GOT	CO	NOx	GOT	CO	NOx
Invierno	0.467	0.000	0.000	0.561	0.000	0.000	0.561	0.000	0.000
Primavera	0.517	0.000	0.000	0.621	0.000	0.000	0.621	0.000	0.000
Verano	0.573	0.000	0.000	0.688	0.000	0.000	0.688	0.000	0.000
Otoño	0.517	0.000	0.000	0.621	0.000	0.000	0.621	0.000	0.000

EMISIONES POR HORA

GOT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Invierno día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.000	0.000	0.000	0.000
Invierno sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.000	0.000	0.000	0.000
Invierno domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.000	0.000	0.000	0.000

CO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Invierno día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000
Invierno sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000
Invierno domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000

[illegible]EMISIONES POR HORA DISTRIBUIDAS ESPACIALMENTE (CELDA A1)[illegible]

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

## apendice f.pmd

462

EMISIONES POR HORA DISTRIBUIDAS ESPACIALMENTE (Celda A2)

GOT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Invierno día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.000	0.000	0.000
Primavera día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.000	0.000	0.000
Verano día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.000	0.000	0.000
Otoño día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.000	0.000	0.000
Invierno sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.000	0.000	0.000
Primavera sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.000	0.000	0.000
Verano sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.000	0.000	0.000
Otoño sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.000	0.000	0.000
Invierno domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.000	0.000	0.000
Primavera domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.000	0.000	0.000
Verano domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.000	0.000	0.000
Otoño domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.000	0.000	0.000
CO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Invierno día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Invierno sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Invierno domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

[illegible][illegible]



[illegible][illegible]

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

EMISIONES POR HORA DISTRIBUIDAS ESPACIALMENTE (Celda B1)

GOT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Invierno día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.000	0.000	0.000
Primavera día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.000	0.000	0.000
Verano día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.000	0.000	0.000
Otoño día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.000	0.000	0.000
Invierno sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.000	0.000	0.000
Primavera sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.000	0.000	0.000
Verano sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.000	0.000	0.000
Otoño sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.000	0.000	0.000
Invierno domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.000	0.000	0.000
Primavera domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.000	0.000	0.000
Verano domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.000	0.000	0.000
Otoño domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.000	0.000	0.000
CO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Invierno día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Invierno sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Invierno domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

NOx	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Invierno día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Invierno sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Invierno domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

EMISIONES POR HORA DISTRIBUIDAS ESPACIALMENTE (CELDA B2)

GOT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Invierno día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño día/semana	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000
Invierno sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño sábado	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000
Invierno domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño domingo	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

## apendice f.pmd

468

## EMISIONES POR HORA DISTRIBUIDAS ESPACIALMENTE (CELDA B3)

[illegible]

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

## 470

EMISIONES POR HORA DISTRIBUIDAS ESPACIALMENTE (CELDA C1)

11/04/2005, 06:31 p.m.

[illegible]

## 472

11/04/2005, 06:31 p.m.



[illegible]EMISIONES POR HORA DISTRIBUIDAS ESPACIALMENTE (CELDA C3)[illegible]

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

## apendice f.pmd

474

FUENTE DE ÁREA, SECTOR AGROPECUARIO: APLICACIÓN DE  
PLAGUICIDAS -INVENTARIO DE EMISIONES PARA MODELACIÓN -

Emisiones GOT Anuales (Mg/año)	100
Emisiones CO Anuales (Mg/año)	0
Emisiones NOx Anuales (Mg/año)	0

*Distribución temporal*

MENSUAL												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
0.250	0.000	0.000	0.000	0.000	0.500	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.250	
DARIA												
Lun		Mar		Mie		Jue		Vie		Sab		Dom
0.167		0.167		0.167		0.167		0.167		0.167		0.100
HORARIA												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	23	
0.125	0.125	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

*Distribución espacial*

Celda	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.500	0.500	0.000

*Perfil Estacional*

Invierno	0.500
Primavera	0.000
Verano	0.500
Otoño	0.000

*Perfil de actividad semanal*

Día promedio	0.143
Día/semana promedio	0.167
Sábado	0.167
Domingo	0.000

*Factores semanales*

Día/semana	0.0128
Sábado	0.0128
Domingo	0.0000

*Emisiones estacionales (Mg)*

	GOT	CO	NOx
Invierno	50.0	0.0	0.0
Primavera	0.0	0.0	0.0
Verano	50.0	0.0	0.0
Otoño	0.0	0.0	0.0

	<i>Promedio emisiones día / semana (Mg)</i>			<i>Promedio emisiones sábado (Mg)</i>			<i>Promedio emisiones domingo (Mg)</i>		
	GOT	CO	NOx	GOT	CO	NOx	GOT	CO	NOx
Invierno	0.642	0.000	0.000	0.642	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Primavera	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Verano	0.642	0.000	0.000	0.642	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Otoño	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

## 476

11/04/2005, 06:31 p.m.

[illegible]

[illegible]EMISIONES POR HORA DISTRIBUIDAS ESPACIALMENTE (CELDA A1)[illegible]

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

## apendice f.pmd

478

## EMISIONES POR HORA DISTRIBUIDAS ESPACIALMENTE (CELDA A2)

[illegible]

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
NNOX																							
Invierno día/semana																							
Primavera día/semana																							
Verano día/semana																							
Otoño día/semana																							
Invierno sábado																							
Primavera sábado																							
Verano sábado																							
Otoño sábado																							
Invierno domingo																							
Primavera domingo																							
Verano domingo																							
Otoño domingo																							

[illegible]



[illegible][illegible]

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

## 482

11/04/2005, 06:31 p.m.

[illegible]EMISIONES POR HORA DISTRIBUIDAS ESPACIALMENTE (CELDA B2)[illegible]

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

## 484

11/04/2005, 06:31 p.m.

## EMISIONES POR HORA DISTRIBUIDAS ESPACIALMENTE (CELDA B3)

[illegible]

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

## 486

EMISIONES POR HORA DISTRIBUIDAS ESPACIALMENTE (CELDA C1)

11/04/2005, 06:31 p.m.

[illegible]

## 488

11/04/2005, 06:31 p.m.



[illegible]EMISIONES POR HORA DISTRIBUIDAS ESPACIALMENTE (CELDA C3)[illegible]

Apéndice F.  
Hojas de cálculo  
de un ejemplo  
de inventario de  
emisiones para  
modelación

## 490

11/04/2005, 06:31 p.m.

## APÉNDICE G.

### PERFILES DE ESPECIACIÓN DE GOT DE UN INVENTARIO DE EMISIONES PARA MODELACIÓN

En este Apéndice se incluyen los perfiles de especiación de COT correspondientes a cada una de las seis fuentes de emisión presentadas en el ejemplo. Todos los perfiles de especiación fueron obtenidos de la base de datos SPECIATE de la U.S. EPA (U.S. EPA, 1999c), la cual asigna un número de identificación para cada perfil. Las cinco columnas para cada perfil identifican el número SPECIATE del compuesto, el número CAS, el nombre de la especie química o compuesto, el peso molecular y el porcentaje en peso.

FUENTE PUNTUAL: CALDERA (PERFIL DE ESPECIACIÓN DE COT)

Perfil de especiación puntual – Caldera				
Perfil	0002			
Descripción: Calderas de combustion externa, calentadores de espacio, industriales, aceite destilado				
NÚMERO	NÚMERO CAS	NOMBRE DE LA ESPECIE	PESO MOLECULAR	% EN PESO
1	43,105	Isómeros de hexano	86.17	5.20
2	43,106	Isómeros de heptano	100.2	2.60
3	43,107	Isómeros de octano	114.23	4.70
18	43,122	Isómeros de pentano	72.15	5.50
56	74,986	Propano	44.09	1.20
62	106,978	N-butano	58.12	12.20
64	75,285	Isobutano	58.12	4.10
69	109,660	N-pentano	72.15	4.70
80	110,543	Hexano	86.17	10.80
81	142,825	Heptano	100.2	0.30
231	50,000	Formaldehído	30.03	48.70

FUENTE PUNTUAL: PROCESO DE RECUBRIMIENTO

PERFIL DE ESPECIACIÓN DE COT

Perfil de especiación puntual – Proceso				
Perfil	1003			
Descripción: Evaporación de solventes orgánicos – operaciones de recubrimiento de superficies – solventes – pintura base – general				

Apéndice G.  
Perfiles de  
especiación de  
COT de un  
inventario de  
emisiones para  
modelación

NÚMERO	NÚMERO CAS	NOMBRE DE LA ESPECIE	PESO MOLECULAR	% EN PESO
4	142-82-5	Isómeros de nonano	128.25	2.79
81	108-08-7	Heptano	100.2	2.94
90	110-82-7	2,4-Dimetilpentano	100.2	1.7
91	108-87-2	Ciclohexano	84.16	0.52
101		Metilciclohexano	98.21	3.61
113	1678-91-7	2-4-Dimetilhexano	114.22	7.2
124	111-76-2	Etilciclohexano	112.23	1.43
142	141-78-6	Butilcelosolve	118.17	6.48
194	138-22-7	Etilacetato	88.1	2.04
196		N-butil acetato	116.16	9.5
212	67-64-1	C5-éster	130.19	1.26
242	78-93-3	Acetona	58.8	1.27
243	180-10-1	Metil etil cetona	72.1	0.54
245	110-43-0	Metil isobutil cetona	100.16	0.36
247	12/06/7379	Metil amil cetona	114.21	0.83
248	1330-20-7	2-Metil-3-hexanona	114.19	3.75
307		Isómeros de xileno	106.16	3.7
308		Isómeros de	120.19	0.2
	25551-13-7	etiltolueno		
311	108-88-3	Trimetilbenceno	120.19	0.11
319	100-41-4	Tolueno	92.13	37.87
320	95-47-6	Etilbenceno	106.16	0.54
321	1640-89-7	O-xileno	106.16	4.47
626	15890-40-1	Etilciclopentano	98.19	0.22
627		Trimetilciclopentano	112.16	0.17
628		Dimetilciclohexano	112.16	4.01

492

FUENTE PUNTUAL: VEHÍCULOS AUTOMOTORES QUE  
CIRCULAN POR CARRETERA

Perfil de especiación puntual – Vehículos automotores que circulan por carretera				
Perfil	1101			
Descripción: Vehículos ligeros a gasolina – caminos suburbano				

NÚMERO	Número CAS	NOMBRE DE LA ESPECIE	PESO MOLECULAR	% EN PESO
31		C10 parafinas	142.28	0.16
32		C9 parafinas	128.15	0
53	74828	Metano	16.04	10.07
54	74840	Etano	30.07	1.41
55	74851	Etileno	28.05	3.92
56	74986	Propano	44.09	0.56
57	115071	Propeno	42.08	1.06
58	74861	Acetileno	26.04	8.75
59	463490	Propadieno	40.06	0.08
60	74997	Metilacetileno (propino)	40.06	0.06
61	760203	3-Metil-1-Penteno	84.16	0
62	106978	N-butano	58.12	9.48
63	106989	Butano	56.1	8.85
64	75285	Iso-butano	58.12	1.7
65	115117	Isobutileno	56.1	0
66	624646	T2-buteno	56.11	0.55
67	590181	Cis-2-buteno	56.11	0.5
68	106990	1,3-Butadieno	54.09	1.68
69	109660	N-pentano	72.15	2.88
70	78784	Iso pentano	72.15	6.54
72	563451	3-Metil-1-buteno	70.13	0.15
73	109671	1-Penteno	70.13	0.32
75	646048	Trans-2-penteno	70.13	0.68
76	627203	Cis-2-penteno	70.13	0.38
77	513359	2-Metil-2-buteno	70.13	0.98

Apéndice G.  
Perfiles de  
especiación de  
COT de un  
inventario de  
emisiones para  
modelación

FUENTE PUNTUAL: VEHÍCULOS AUTOMOTORES QUE  
CIRCULAN POR CARRETERA

NÚMERO	NÚMERO CAS	NOMBRE DE LA ESPECIE	PESO MOLECULAR	% EN PESO
78	107835	2-Metilpentano	86.17	1.76
79	96140	3-Metilpentano	86.17	1.09
80	110543	Hexano	86.17	0.87
81	142825	Heptano	100.2	0.65
82	111659	Octano	114.23	0.31
83	563780	2,3-Dimetil-1-buteno	84.16	0
84	118042	Nonano	128.25	0.19
85	124185	N-decano	142.28	0.16
86	120214	N-undecano	156.31	0.53
87	287923	Ciclopentano	70.14	0.35
88	78795	Isopreno	68.12	0.07
89	592416	1-Hexeno	84.16	0.31
90	108087	2,4-Dimetilpentano	100.2	0.58
91	110827	Ciclohexano	84.16	1.4
92	540841	2,2,4-Trimetilpentano	114.22	1.97
93	565753	2,3,4-Trimetilpentano	114.22	0.12
101	108872	Metilciclohexano	98.21	0.5
102	96377	Metilciclopentano	84.16	0.78
103	591764	2-Metil hexano	100.2	0.00
107	922612	3-Metil-t-2-penteno	84.16	0.00
109	693890	Metilciclopenteno	82.14	0.01
110	110838	Ciclohexeno	82.14	0.00
111	565593	2,3-Dimetil pentano	100.2	1.40
112	79298	2,3-Dimetil butano	86.17	0.69
113		2,4-Dimetilhexano	114.22	0.63
114	592132	2,5-Dimetilhexano	114.22	0.00
115	760214	2-Etil-1-buteno	84.16	0.00
116		2,3,3-Trimetilpentano	14.22	1.09
117	107006	1-Butino	54.09	0.00
118	503173	2-Butino	54.09	0.00
119		C-3-hexeno	84.16	0.00

FUENTE PUNTUAL: VEHÍCULOS AUTOMOTORES QUE

CIRCULAN POR CARRETERA

NÚMERO	NÚMERO CAS	NOMBRE DE LA ESPECIE	PESO MOLECULAR	% EN PESO
120	625274	2-Metil-2-penteno	84.16	0.42
121		2-Hexeno	84.16	0.16
122		Dimetiletilhexeno	112.2	0.12
123	590738	2,2-Dimetilhexano	114.22	0.05
126		2,3-Dimetilhexano	114.22	0.00
127	75832	2,2-Dimetilbutano	86.17	0.21
128	142290	Ciclopenteno	68.11	0.37
131	589344	3-Metil hexano	100.2	1.06
132	592278	2-Metil heptano	114.23	0.19
133	589537	4-Metil heptano	114.23	0.45
134		3-Metil heptano	114.23	0.36
135		1-Metilciclohexeno	96.17	0.00
231	50000	Formaldehido	30.03	0.74
232	75070	Acetaldehido	44.05	0.78
233	123386	Propionaldehido	58.08	0.02
234	107028	Acroleina	56.07	0.06
240	123739	Crotonaldehido	70.09	0.02
314		C10 aromatico	134.22	2.02
318	71432	Benceno	78.11	1.39
319	108883	Tolueno	92.13	5.15
320	100414	Etil benceno	106.16	0.77
321	95476	O-xileno	106.16	1.56
322	108383	M-xileno	106.16	0.00
323	106423	P-xileno	106.16	2.56
324	108678	1,3,5-Trimetilbenceno	120.19	1.87
325	95636	1,2,4-Trimetilbenceno	120.19	2.30
326	103651	N-propilbenceno	120.19	0.48
332	135988	S-butilbenceno	134.21	0.11
333	135013	1,2-Dietilbenceno	134.21	0.59
334	141935	M-dietilbenceno	134.21	0.59
337	526738	1,2,3-Trimetilbenceno	120.19	0.66

Apéndice G.  
Perfiles de  
especiación de  
COT de un  
inventario de  
emisiones para  
modelación

FUENTE PUNTUAL: VEHÍCULOS AUTOMOTORES QUE  
CIRCULAN POR CARRETERA

NÚMERO	NÚMERO CAS	NOMBRE DE LA ESPECIE	PESO MOLECULAR	% EN PESO
381	100527	Benzaldehido	106.13	0.08
476		2,3,5-Trimetilhexano	128.25	0.09
477		2,4-Dimetilheptano	128.26	0.11
478		3,5- Dimetilheptano	128.26	0.00
479		2,5- Dimetilheptano	128.26	0.73
480		2,3-Dimetilheptano	128.26	0.00
481		4-Metil-1-Penteno	84.16	0.00
482	691372	2-Metiloctano	128.26	0.01
483		2,4,5-Trimetilheptano	142.29	0.26
514		t-3-Hexeno	84.16	0.29
618	13269528	2,2,5-Trimetilhexano	128.26	0.46
623		Indano	119.18	0.52
682	496117	2,4-Dimetiloctano	142.29	0.07
683		3,4-Dimetiloctano	142.29	0.74
684		1-Metil-3-Etilbenceno	120.19	1.06
685		1-Metil-2-Etilbenceno	120.19	0.21
686		Isobutilbenceno	134.22	0.55
687	538932	1-Metil-3n- propilbenceno	134.22	0.17
688		1-Metil-3- isopropilbenceno	134.22	0.38
689		2-Metildecano	156.32	1.08
691		No identificado	86.00	8.46



FUENTE DE ÁREA, SECTOR COMERCIAL: GASOLINERÍAS

PERFIL DE ESPECIACIÓN DE COT

Perfil de especiación puntual – Gasolinerías				
Perfil	11190			
Descripción: Comercialización de gasolina				

NÚMERO	NÚMERO CAS	NOMBRE DE LA ESPECIE	PESO MOLECULAR	% EN PESO
1		Isómeros de hexano	86.17	0.10
5		Isómeros de decano	142.28	0.10
6		Isómeros de undecano	156.3	0.00
6		Isómeros de undecano	156.3	0.09
7		Isómeros de dodecano	170.32	0.05
7		Isómeros de dodecano	170.32	0.00
9		Isómeros de tetradecano	190.38	0.02
11		C-7 cicloparafinas	98.19	0.05
20		C9 olefinas	126.24	0.01
20		C9 olefinas	126.24	0.00
20		C9 olefinas	126.24	0.08
20		C9 olefinas	126.24	0.01
21		C10 olefinas	140.27	0.00
21		C10 olefinas	140.27	0.04
31		C10 parafinas	142.28	0.00
31		C10 parafinas	142.28	0.00
31		C10 parafinas	142.28	0.00
32		C9 parafinas	128.25	0.48
34		C-8 olefinas	112.23	0.21
34		C-8 olefinas	112.23	0.00
37		C8 parafinas	114.23	3.84
38		C7 parafinas	100.2	0.04
39		C5 olefina	70.13	1.91
40		C5 parafina	72.15	2.09
41		C5 parafina/olefina	70.13	1.08
42		C11 olefinas	154.29	0.00
42		C11 olefinas	154.29	0.04

Apéndice G.  
Perfiles de  
especiación de  
COT de un  
inventario de  
emisiones para  
modelación

FUENTE DE ÁREA, SECTOR COMERCIAL: GASOLINERÍAS

PERFIL DE ESPECIACIÓN DE COT

Apéndice G.  
Perfiles de  
especiación de  
COT de un  
inventario de  
emisiones para  
modelación

NÚMERO	NÚMERO	NOMBRE DE LA	PESO	% EN PESO
	CAS	ESPECIE	MOLECULAR	
42		C11 olefinas	154.29	0.01
44		Isómeros de c9h16	124.23	0.00
44		Isómeros de c9h16	124.23	0.02
44		Isómeros de c9h16	124.23	0.00
45		C8h14	110.2	0.00
63	106989	Buteno	56.1	0.14
64	75285	Isobutano	58.12	2.65
65	115117	Isobutileno	56.1	0.14
80	110543	Hexano	86.17	3.91
81	142825	Heptano	100.2	1.84
87	287923	Ciclopentano	70.14	0.16
101	108872	Metilciclohexano	98.21	0.21
102	96377	Metilciclopentano	84.16	0.68
104		Hepteni	98.18	0.03
109	693890	Metilciclopenteno	82.14	0.54
110	110832	Ciclohexeno	82.14	0.04
124	1678917	Etilciclohexano	112.23	0.08
128	142290	Ciclopenteno	68.11	0.18
181		C7h12o	112.17	0.04
249		Dimetilciclobutanona	98.14	0.05
309		Isómeros de butilbenceno	134.22	3.18
309		Isómeros de butilbenceno	134.22	0.03
310		Isómeros de dietilbenceno	134.22	0.02
311	25551137	Trimetilbenceno	120.19	4.29
312		Isómeros de propilbenceno	120.19	0.76
315		C10h12	132.22	0.04
316		Isómeros de c10h10	130.19	0.00
316		Isómeros de c10h10	130.19	0.00
498				

FUENTE DE ÁREA, SECTOR COMERCIAL: GASOLINERÍAS

PERFIL DE ESPECIACIÓN DE COT

NÚMERO	NÚMERO	NOMBRE DE LA	PESO	% EN PESO
	CAS	ESPECIE	MOLECULAR	
318	71432	Benceno	78.11	3.25
319	108883	Tolueno	92.13	15.22
320	100414	Etilbenceno	106.16	4.07
321	95476	O-xileno	106.16	6.41
326	103651	N-propilbenceno	120.19	0.92
327	98828	Cumeno	120.2	0.33
		(isopropilbenceno)		
335	100425	Estireno	104.14	0.17
336	25013154	Metil estireno	118.19	0.05
349		Etiltolueni	120.19	3.61
352		Etildimetilbenceno	134.22	2.24
353		Etildimetilbenceno	134.22	1.03
354		C5-alcalibencenos	148.24	0.35
354		C5-alcalibencenos	148.24	0.04
354		C5-alcalibencenos	148.24	0.83
354		C5-alcalibencenos	148.24	0.09
354		C5-alcalibencenos	148.24	0.02
354		C5-alcalibencenos	148.24	0.05
354		C5-alcalibencenos	148.24	0.05
355		C5-alcalibencenos	146.25	0.05
		(insat)		
356		C6-alcalibenceno	162.27	0.00
356		C6-alcalibenceno	162.27	0.00
356		C6-alcalibenceno	162.27	0.02
356		C6-alcalibenceno	162.27	0.06
356		C6-alcalibenceno	162.27	0.00
356		C6-alcalibenceno	162.27	0.03
357		C4-alcaliestirenos	160.26	0.04
357		C4-alcaliestirenos	160.26	0.00
357		C4-alcaliestirenos	160.26	0.01
357		C4-alcaliestirenos	160.26	0.02
358		C7-alcalibenceno	176.30	0.00

Apéndice G.  
Perfiles de  
especiación de  
COT de un  
inventario de  
emisiones para  
modelación

FUENTE DE ÁREA, SECTOR COMERCIAL: GASOLINERÍAS

PERFIL DE ESPECIACIÓN DE COT

Apéndice G.  
Perfiles de  
especiación de  
COT de un  
inventario de  
emisiones para  
modelación

NÚMERO	NÚMERO	NOMBRE DE LA	PESO	% EN PESO
	CAS	ESPECIE	MOLECULAR	
381	100527	Benzaldehído	106.13	0.00
400	108907	Clorobenceno	112.56	0.03
413		Dimetilnaftiridina	158.20	0.01
420	91203	Naftaleno	128.17	0.80
421		Metil naftalenos	152.20	0.64
465		C2-alkilnaftaleno	156.23	0.10
466		Metilindanos	132.21	0.52
466		Metilindanos	132.21	0.01
466		Metilindanos	132.21	0.00
468		Metildihidronaftaleno	144.22	0.01
469		Dimetilindanos	146.23	0.42
469		Dimetilindanos	146.23	0.00
469		Dimetilindanos	146.23	0.00
470		Dihidronaftaleno	130.19	0.06
471		Dimetilindeno	142.22	0.01
473		Etilindano	146.23	0.04
474		Trimetilindano	160.26	0.06
484		M-xileno y p-xileno	106.16	15.28
495		Metilbuteno	70.13	0.06
496		Metilbutadieno	68.12	0.01
497		Metilpentenos	84.16	0.41
497		Metilpentenos	84.16	0.48
498		Metilpentano	86.17	1.76
499		Metilciclopentadieno	80.14	0.04
500		Metilhexano	100.2	1.68
501		Metilhexenos	98.18	0.00
501		Metilhexenos	98.18	0.03
511		Metilhexadieno	96.17	0.25
513	4313579	Metilciclohexadieno	94.15	0.02
515		Metilhexanal	114.19	0.92
516		Metilheptino	110.2	0.02
517		Metilheptano	114.23	0.35
518		Metilciclohexeno	96.17	0.14
519		Metilnonano	142.28	0.21

500

FUENTE DE ÁREA, SECTOR COMERCIAL: GASOLINERÍAS

PERFIL DE ESPECIACIÓN DE COT

NÚMERO	NÚMERO	NOMBRE DE LA	PESO	% EN PESO
	CAS	ESPECIE	MOLECULAR	
520		Metildecenos	156.32	0.12
526		Pentenino	66.1	0.03
528		Hexeno	84.16	0.40
530	142836	Hexadienal	96.14	0.03
531	5910869	Heptadienal	110.17	0.02
532	79298	Dimetilbutano	86.18	2.29
533		Dimetilbuteno	84.16	2.30
534		Dimetilpentano	100.2	2.36
535		Dimetilpenteno	98.19	0.02
536		Dimetilciclopentano	98.19	0.15
537		Dimetilciclopentenos	96.17	0.22
537		Dimetilciclopentenos	96.17	0.09
539		Dimetilhexanos	114.23	0.48
539		Dimetilhexanos	114.23	0.28
540		Dimetilhexadieno	110.2	0.10
541		Dimetiletilciclohexano	140.26	0.09
542		Dimetiloctanos	142.28	0.04
542		Dimetiloctanos	142.28	0.02
543		Dimetilundecano	184.36	0.00
546		Dimetildecano	170.34	0.07
550		Etilpenteno	98.19	0.03
551		Etilciclopenteno	96.17	0.06
552		Etilmetilciclopentano	112.21	0.12
553		Etilhexano	114.23	0.24
554		Etilmetilhexano	128.26	0.21
555		Etilmetilciclohexanos	126.24	0.04
555		Etilmetilciclohexanos	126.24	0.02
556		Etilheptano	128.26	0.02
557		Etilmetiloctano	153.31	0.02
558		Etilbicicloheptano	123.42	0.01
559		Etildimetilpentano	128.26	0.13
562		Tetrametilciclobuteno	110.19	0.04
563		Trimetilpentano	114.22	0.68
564		Trimetilpentadieno	110.20	0.05

Apéndice G.  
Perfiles de  
especiación de  
COT de un  
inventario de  
emisiones para  
modelación

Apéndice G.  
Perfiles de  
especiación de  
COT de un  
inventario de  
emisiones para  
modelación

FUENTE DE ÁREA, SECTOR COMERCIAL: GASOLINERÍAS

PERFIL DE ESPECIACIÓN DE COT

NÚMERO	NÚMERO	NOMBRE DE LA	PESO	% EN PESO
	CAS	ESPECIE	MOLECULAR	
565		Trimetilheptanos	142.29	0.09
565		Trimetilheptanos	142.29	0.05
566		Trimetilhexeno	126.24	0.04
567		Trimetiloctanos	156.31	0.07
568		Trimetildecano	184.36	0.03
570		Octatrieno	108.19	0.01
571	124118	Noneno	126.24	0.03
574		Pentadieno	68.13	0.04
575		Metiloctanos	128.26	0.55
623	496117	Indano	118.18	0.44
627		Trimetilciclopentano	112.16	0.09
628		Dimetilciclohexano	112.24	0.10
629	3073663	Trimetilciclohexanos	126.27	0.02
635		Dimetilheptanos	128.26	0.16
691		No identificados	86.00	0.00

FUENTE DE ÁREA, SECTOR DOMÉSTICO: USO DOMÉSTICO DE SOLVENTES

PERFIL DE ESPECIACIÓN DE COT

Perfil de especiación puntual - Uso doméstico de solventes				
Perfil	0197			
Descripción: Uso misceláneo no industrial de solventes				
NÚMERO	NÚMERO	NOMBRE DE LA	PESO	% EN PESO
	CAS	ESPECIE	MOLECULAR	
64	75-28-5	Isobutano	58.12	5.3
137	64-17-5	Alcohol etílico	46.07	36.9
139	67-63-0	Alcohol isopropílico	60.09	38.5
164	111-46-6	Glicoliter	106.14	8.3
165	57-55-6	Propilenglicol	76.11	3.2
196	138-22-7	N-butil acetato	116.16	1.3
231	50-00-0	Formaldehído	30.03	0.6
242	67-64-1	Acetona	58.08	1.4
306	8030-30-6	Nafta	114	4.5

502

FUENTE DE ÁREA, SECTOR AGROPECUARIO: APLICACIÓN DE PLAGUICIDAS

PERFIL DE ESPECIACIÓN DE COT

Perfil de especiación puntual – Pesticidas agrícolas				
Perfil	1003			
Descripción: Manufactura de sustancias químicas – sustancias químicas agrícolas – pesticidas – general				

NÚMERO	NÚMERO CAS	NOMBRE DE LA ESPECIE	PESO MOLECULAR	% EN PESO
1		Isómeros de hexano	86.17	8.1
11		C-7 cicloparafinas	98.19	15.4
12		C-8 cicloparafinas	112.23	1.6
14	64475-85-0	Espiritus minerales	114.00	15.0
18		Isómeros de pentano	72.15	3.1
56	74-98-6	Propano	44.09	1.8
62	106-97-8	N-butano	58.12	4.4
64	75-28-5	Isobutano	58.12	1.1
69	109-66-0	N-pentano	72.15	3.2
80	110-54-3	Hexano	86.16	3.7
272	74-95-3	Bromuro de metileno	173.85	10.0
307	1330-20-7	Isómeros de xileno	106.16	15.0
318	71-43-2	Benceno	78.11	12.3
319	108-88-3	Tolueno	92.13	5.0

Apéndice G.  
Perfiles de  
especiación de  
COT de un  
inventario de  
emisiones para  
modelación



*inventario de  
emisiones para  
modelación*





## APÉNDICE H.

### PERFILES DE ESPECIACIÓN DE PARTÍCULAS DE UN INVENTARIO DE EMISIONES PARA MODELACIÓN

Este apéndice incluye los perfiles de especiación de partículas correspondientes a dos de las seis fuentes de emisión del ejemplo, los cuales son la caldera de la fábrica y los vehículos automotores que circulan por carretera. Ambos perfiles fueron obtenidos de la base de datos SPECIATE de la U.S. EPA (U.S. EPA, 1999c). Las tres columnas en cada perfil identifican el número CAS, el nombre de la especie, y el porcentaje en peso para cada compuesto.

FUENTE PUNTUAL: CALDERA  
PERFIL DE ESPECIACIÓN DE PARTÍCULAS

Perfil de especiación puntual – Caldera		
Perfil	13501	
Descripción: Combustion de aceite residual		
NÚMERO CAS	NOMBRE DE LA ESPECIE	% EN PESO
7429905	Aluminio	0.530
7704349	Azufre	13.300
7726956	Bromo	0.013
7440702	Calcio	1.580
7440440	Carbono elemental	2.420
	Carbono orgánico	7.800
7440508	Cobre	0.075
7440473	Cromo	0.047
7439896	Fierro	2.970
7782414	Fluoro	0.052
7439965	Manganeso	0.046
7440020	Niquel	5.360

Apéndice H.  
Perfiles de  
especiación de  
partículas de un  
inventario de  
emisiones para  
modelación

FUENTE PUNTUAL: CALDERA  
PERFIL DE ESPECIACIÓN DE PARTÍCULAS (CONTINUACIÓN)

NÚMERO CAS	NOMBRE DE LA ESPECIE	% EN PESO
	Nitratos	0.650
7439921	Plomo	0.110
7440097	Potasio	0.280
7440213	Silice	0.960
7440235	Sodio	3.500
	Sulfatos	48.100
7440326	Titanio	0.110
7440622	Vanadio	3.440
7440666	Zinc	0.400

FUENTE PUNTUAL: VEHÍCULOS AUTOMOTORES QUE CIRCULAN POR CARRETERA  
PERFIL DE ESPECIACIÓN DE PARTÍCULAS

Perfil de especiación puntual - Vehículos automotores				
Perfil	13501			
Descripción: Vehículos ligeros que utilizan gasolina sin plomo				
NÚMERO CAS	NOMBRE DE LA ESPECIE	% EN PESO		
7429905	Aluminio	0.815		
7704349	Azufre	2.830		
7726956	Bromo	0.200		
7440702	Calcio	0.479		
7440440	Carbon elemental	30.076		
	Carbono organico	41.331		
7782505	Cloro	0.071		
7440508	Cobre	0.026		
7440473	Cromo	0.013		
7439896	Fierro	0.583		
7723140	Fosforo	0.373		
7440553	Galio	0.001		
7439965	Manganeso	0.016		
7439976	Mercurio	0.002		
7440020	Niquel	0.005		
7440097	Potasio	0.020		
7439921	Plomo	0.558		
7782492	Selenio	0.002		
7440213	Silice	2.793		
7440326	Titanio	0.007		
7440622	Vanadio	0.017		
7440666	Zinc	0.509		

Esta *Guía de elaboración  
y usos de inventarios  
de emisiones*  
se terminó de imprimir  
en los talleres gráficos  
de la empresa  
Jiménez Editores  
e Impresores, S.A. de C.V.,  
Segundo Callejón de  
Lago Mayor 53,  
col. Anáhuac,  
México, D.F.

Se tiraron 300 ejemplares

