

GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE FUENTES FIJAS



Guía metodológica para la estimación de emisiones de fuentes fijas

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

Revisores (en orden alfabético)

Alberto Cruzado Martínez

Consultor en Inventarios Nacionales de Emisiones adscrito a la Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y RETC

Bibiana Valdez Avendaño

Líder de proyecto del Departamento de Diagnóstico. Secretaría de Medio Ambiente del Estado de México

Revisión editorial

Ana María Sánchez Mora

Diseño y formación

LDG Maya Campos Farfán

Foto de portada: *Alejandro González Calderón*

D.R. © Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Blvd. Adolfo Ruiz Cortines 4209. Col. Jardines de la Montaña
C.P. 14120. Delegación Tlalpan, México, D.F.
www.semarnat.gob.mx

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC-SEMARNAT)
Periférico Sur 5000. Col. Insurgentes Cuicuilco
C.P. 04530. Delegación Coyoacán, México, D.F.
www.ine.gob.mx

Primera edición 2013

ISBN:

Impreso en México.

Índice

Lista de participantes	07
Acrónimos y simbología	09
Introducción	11
PLANEACIÓN DE UN INVENTARIO DE EMISIONES DE FUENTES FIJAS	17
1.1 Enfoque del inventario de emisiones	18
1.2 Propósito del inventario de emisiones	19
1.3 Tipos de emisiones en una fuente fija	20
Tipos de emisiones	20
Procesos con emisiones conducidas	21
Procesos con emisiones no conducidas	21
1.4 Resolución temporal	22
1.5 Cobertura geográfica	23
1.6 Resolución espacial	23
1.7 Contaminantes a incluir	23
1.8 Técnicas de estimación	26
Métodos directos	26
Métodos indirectos	26
1.9 Codificación de la información	28
Códigos de identificación de establecimientos	28
Códigos de actividad o giro de la fuente	29
1.10 Documentación y estructura de la base de datos	31
1.11 Plan de aseguramiento y control de la calidad (A y CC)	32
Declaración de objetivos de la calidad de los datos	32
Diseño de actividades de A y CC y auditorías	33
Indicadores de precisión de la información	33
IDENTIFICACIÓN DE FUENTES FIJAS	37
2.1 Criterios para la distinción entre fuente fija y fuente de área	37
Marco legal aplicable	38
Agrupaciones	39

Identificación de casos especiales	39
Identificación de actividades o giros representativos	41
Datos sobre fuentes de emisión adicionales	41
2.2 Actividades de aseguramiento y control de la calidad	43
RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	45
3.1 Información requerida	45
3.2 Fuentes de información general	48
Cédula de operación anual (COA)	51
Reportes de cumplimiento de normas para obtener información	52
Encuestas y cuestionarios	53
Inspección en planta	54
Otras fuentes de información	54
3.3 Documentación de parámetros de chimenea	55
Localización de la chimenea	55
Altura de la chimenea	56
Diámetro de la chimenea	57
Temperatura de salida de los gases	57
Velocidad de salida de los gases	58
Tasa de flujo volumétrico	58
3.4 Elementos que afectan a las emisiones	58
Datos sobre diseño, procesos y ubicación	58
Información sobre el equipo de control de emisiones	61
3.5 Actividades para el aseguramiento y el control de la calidad	66
TÉCNICAS DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES	69
4.1 Muestreo en la fuente	69
Actividades de A y CC para muestreo en la fuente	74
4.2 Uso de factores de emisión	75
Procedimientos de A y CC para factores de emisión	78
4.3 Balance de masa	79
Actividades de A y CC para balance de masa	81
4.4 Método de estimación de emisiones fugitivas	81
EVALUACIÓN DEL INVENTARIO	85
5.1 Actividades de aseguramiento y control de la calidad	86
Verificación de las características del inventario	86

Auditorías internas y externas	88
Validación de resultados de la estimación	90
5.2 Evaluación de la incertidumbre asociada con el inventario	93
Incertidumbre asociada con la información utilizada como insumo para la estimación	93
Incertidumbre asociada con las técnicas de estimación	94
Procedimiento para la evaluación de la incertidumbre)	96
ELABORACIÓN DEL REPORTE FINAL	103
6.1 Título	103
6.2. Agradecimientos	104
6.3 Índice	105
6.4 Resumen ejecutivo	105
6.5 Introducción	106
6.6 Características del inventario	106
6.7 Integración del inventario, limitaciones y actualización	107
Panorama general del proceso de desarrollo del inventario	107
Recopilación de datos	107
Metodología	107
Aseguramiento y control de la calidad	108
6.8 Presentación de resultados	108
6.9 Análisis y discusión de resultados	111
6.10 Conclusiones y recomendaciones	112
6.11 Bibliografía	112
6.12 Anexos	112
6.13 Documentos derivados de los resultados del inventario	113
GLOSARIO	115
REFERENCIAS	117
LEGISGRAFÍA	121
ANEXO 1 Criterios para la identificación de fuentes fijas por jurisdicción	123
ANEXO 2 Fuentes de información de acuerdo con la jurisdicción a la que pertenecen las fuentes fijas	127
Para fuentes fijas de jurisdicción federal	127
Para fuentes fijas de jurisdicción local	128
ANEXO 3 Ejemplo de los campos relevantes que contiene una cédula de operación anual para la elaboración de un inventario de emisiones de fuentes fijas	131

Figuras

Figura 1.1	Metodología general para la elaboración del inventario de emisiones de fuentes fijas	13
Figura 1.2	Etapas del proceso de planeación de un inventario de emisiones para fuentes fijas	17
Figura 1.3	Tipos de emisiones y métodos de estimación en una fuente fija	20
Figura 1.4	Técnicas de estimación de emisiones	27
Figura 1.5	Ejemplo de codificación utilizando el sistema SCC	30
Figura 2.1	Método general para distinguir las fuentes fijas de las fuentes de área	38
Figura 3.1	Procedimiento de revisión de la información sobre fuentes fijas	49
Figura 3.2	Uso del clinómetro para determinar la altura de una chimenea	57
Figura 6.1	Ej. A. Presentación de resultados por fuente y por contaminante	109
Figura 6.2	Ej. B. Presentación de resultados por fuente y por contaminante	110
Figura 6.3	Ej. C. Presentación de resultados no recomendada	110

Cuadros

Cuadro 1.2	Principales contaminantes emitidos a la atmósfera por subcategorías de fuentes fijas	24
Cuadro 1.3	Campos de información indispensables para la confección de inventarios de fuentes fijas	32
Cuadro 1.4	Clasificación de origen de datos para factores de emisión AP-42	34
Cuadro 1.5	Calificación de factores de emisión de acuerdo con el AP-42	35
Cuadro 2.1	Tamaño de establecimientos por número de empleados	41
Cuadro 3.1	Información requerida de acuerdo con el propósito	46
Cuadro 3.2	Fuentes fijas: jurisdicción, fuente de información y fundamento legal	50
Cuadro 3.3	Resumen de los equipos típicos y su eficiencia de control (%)	64
Cuadro 4.1	Resultados del monitoreo continuo en una caldera que quema petróleo	70
Cuadro 4.2	Ejemplo de factores de emisión para combustóleo, contenidos en el AP-42 tabla 1.3-1	77
Cuadro 4.3	Resumen de las técnicas de estimación de emisiones de fuentes fugitivas propuesta por la EPA	82
Cuadro 5.1	Análisis de la calidad de un inventario de emisiones de fuentes fijas	87
Cuadro 5.2	Análisis de incertidumbre: información y técnicas de estimación	98
Cuadro 5.3	Incertidumbre del inventario y usos potenciales	102

Lista de participantes

Coordinación del documento

Georgina Echániz Pellicer. Centro de Derecho y Educación Ambiental

Verónica Garibay Bravo. Consultora en medio ambiente.

Ma. Tania López Villegas. Subdirectora de Estudios Estratégicos de la Calidad del Aire, Dirección de Investigación sobre la Calidad del Aire, DGICUR-INE.

Elaboración del documento

Ivonne Cruz Jimate. Consultora.

Georgina Echániz Pellicer. Centro de Derecho y Educación Ambiental.

Verónica Garibay Bravo. Consultora en medio ambiente.

Ma. Tania López Villegas. Subdirectora de Estudios Estratégicos de la Calidad del Aire, Dirección de Investigación sobre la Calidad del Aire, DGICUR-INE.

José Andrés Aguilar Gómez. Subdirector de Modelos e Inventarios de Emisiones, Dirección de Investigación sobre la Calidad del Aire, DGICUR-INE.

Ingrid K. Pérez Rivas. Jefa del Departamento de Estudios sobre Emisiones por Fuentes Estacionarias, Dirección de Investigación sobre la Calidad del Aire, DGICUR-INE.

Agradecimientos

Hugo Landa Fonseca. Subdirector de Inventario de Emisiones, Dirección de Calidad del Aire, DGGCARETC-SEMARNAT

Roberto Martínez Verde. Jefe del Departamento de Inventarios de Emisiones, Dirección de Calidad del Aire, DGGCARETC-SEMARNAT

Acrónimos y simbología

atm	Unidad de presión atmosférica	LAU	Licencia Ambiental Unica
A y CC	Aseguramiento y control de la calidad	lb	Libra
AP-42	Recopilación de factores de emisión de contaminantes del aire (AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors)	LGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
Btu	Unidad térmica británica (British thermal unit)	m	Metro
°C	Grados centígrados o celsius	m³	Metro cúbico
CAMx	Modelo integral de calidad del aire con aplicaciones (Comprehensive Air quality Model with extensions)	Mg	Megagramo, equivalente a 10 ⁶ gramos o 1 tonelada métrica
CFE	Comisión Federal de Electricidad	mg	Miligramo
CMAP	Clasificación Mexicana de Actividades y Productos	NARSTO	Estrategia de Investigación de América del Norte para el Ozono Troposférico (North America Research Strategy for Tropospheric Ozone)
CO	Monóxido de carbono	NH₃	Amoniaco
CO₂	Bióxido de carbono	NMX	Norma Mexicana
COA	Cédula de operación anual	NO	Óxido nítrico
COT	Compuestos orgánicos totales	NO₂	Bióxido de nitrógeno
COV	Compuestos orgánicos volátiles	NOx	Óxidos de nitrógeno
CVEIDEN	Clave de identificación ambiental	NOM	Norma Oficial Mexicana
DARS	Sistema de clasificación por atributos de datos (Data Attribute Rating System)	NRA	Número de Registro Ambiental
De	Dato estimado	OCD	Objetivos de la calidad de los datos
DPI	Diagramas de procesos e instrumentos	PEMEX	Petróleos Mexicanos
Dr	Dato reportado	Pj	Petajoules
DTI	Diagramas de tubería e instrumentación	PM	Partículas o partículas suspendidas

EMA	Entidad Mexicana de Acreditación	PM₁₀	Partículas de diámetro aerodinámico equivalente menor a 10 micras
°F	Grados Fahrenheit	PM_{2.5}	Partículas de diámetro aerodinámico equivalente menor a 2.5 micras
g	Gramo	PST	Partículas suspendidas totales
gal	Galón	ppm	Partes por millón
GPS	Global Positioning System (sistema de posicionamiento global)	ppmv	Partes por millón en volumen
HC	Hidrocarburos	RFC	Registro Federal de Contribuyente
HCNM	Hidrocarburos no metánicos, equivalente al término en inglés <i>non-methane hydrocarbons</i> , NMHC	SCC	Sistema de clasificación de fuentes, del inglés Source Classification Code
HCT	Hidrocarburos totales, equivalente al término en inglés <i>non-methane hydrocarbons</i> , NMHC	SCIAN	Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte
h	Hora	SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
ID	Clave de identificación	SENER	Secretaría de Energía
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático	SMOKE	Sistema de modelación de emisiones basado en núcleos de operaciones de matrices dispersas (Sparse Matrix Operator Kernel Emissions (SMOKE) modeling system)
INEM	Inventario Nacional de Emisiones de México	SO₂	Bióxido de azufre
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía	SO_x	Óxidos de azufre
Kcal	Kilocalorías	US EPA	United States Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos)
kg	Kilogramo	UTM	Universal Transverse Mercator (sistema de coordenadas universal en transversales de Mercator)
l	Litro	WGA	Western Governors' Association (Asociación de Gobernadores del Oeste de los Estados Unidos)

Introducción

Existen diferentes formas para referirse a las fuentes fijas; lo más utilizado es fuente puntual o fuente estacionaria (Wark y Warner, 1998). Un inventario de las emisiones de este tipo de instalaciones logra retratar en un momento en el tiempo la contribución de los diferentes sectores industriales, comerciales y de servicios a las emisiones a la atmósfera de diversos contaminantes de interés. Sin embargo, como se verá más adelante, existen diversos tipos de fuentes fijas de acuerdo con su jurisdicción y, además, existen ciertas características que las diferencian de lo que se denomina fuentes de área¹. Los inventarios de emisiones en general son esenciales para la adecuada gestión de la calidad del aire porque:

- Proveen información precisa sobre las emisiones de los diferentes sectores.
- Representan la memoria histórica de los niveles de emisión en ciertas áreas o regiones del país y permiten hacer comparaciones para diferentes periodos.
- Permiten a los diferentes niveles de gobierno y a los tomadores de decisiones contar con información básica para la aplicación efectiva de otras herramientas del proceso de gestión, como los programas de monitoreo de la calidad del aire.
- Contribuyen a la planeación, el diseño y la implementación de las políticas públicas, y dan soporte a la aplicación de medidas específicas de control de contaminación atmosférica.
- Permiten jerarquizar las fuentes de emisión de acuerdo con su contribución.
- Permiten evaluar la efectividad de las medidas de control implementadas en una región de interés.

La elaboración de inventarios de emisiones es una labor que involucra todo un proceso de recopilación y procesamiento, análisis y control de la calidad de la información, además de la elaboración de reportes. Es por ello que el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales elabora guías y manuales diseñados para ser utilizados por las autoridades locales, estatales y federales, así como por la academia, los consultores privados e incluso industriales, para elaborar y actualizar inventarios de emisiones

1 Conjunto de fuentes fijas, integrado principalmente por establecimientos comerciales y de servicios, que debido a su tamaño, dispersión y cantidad hacen impráctico estimar sus emisiones de manera individual.

a la atmósfera.

Estas publicaciones constituyen la actualización de los ocho manuales publicados en 1995 como resultado del *Programa de inventarios de emisiones para México, Manuales y Reportes* (Radian, 1995). Este proyecto tuvo como objetivo fundamental proporcionar a las autoridades federales y locales las herramientas básicas para la planeación, el desarrollo y la actualización de los inventarios de emisiones contaminantes a la atmósfera.

Las nuevas versiones de los primeros manuales tienen como principal objetivo homologar criterios para la estimación de emisiones y estandarizar los métodos a través de los cuales se generan los inventarios de emisiones en todo el país.

La *Guía de elaboración y usos de inventarios de emisiones*, publicada en el año 2005, integra cuatro de los ocho manuales que originalmente formaron parte del *Programa de Inventarios de Emisiones para México* (volúmenes I, II, III y VIII). Esta es una guía general que constituye el referente para la planeación del inventario, y cuenta con un manual de trabajo que la complementa, publicado en 2007. Así mismo, en el año 2009 se publicó la *Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades mexicanas*, reemplaza al volumen VI de los manuales anteriores; se trata de herramientas para apoyar la planeación, el desarrollo y la integración de inventarios de emisiones provenientes de fuentes vehiculares que circulan por caminos y carreteras.

La presente *Guía para la estimación de emisiones de fuentes fijas* corresponde a la actualización del volumen IV, y proporciona información sobre las metodologías para estimar emisiones provenientes de fuentes fijas² (instalaciones industriales, comerciales o de servicios) con un enfoque orientado a las condiciones mexicanas de disponibilidad de información y técnicas de estimación de emisiones.

La metodología descrita en esta guía comprende los siguientes pasos (figura 1.1):

1. Planeación de un inventario: dependiendo del objetivo y del uso final que se le dará al inventario, esta etapa permite definir el grado de detalle que se pretende alcanzar, las principales características que definirán el inventario y la calidad que se espera que tenga el producto final.

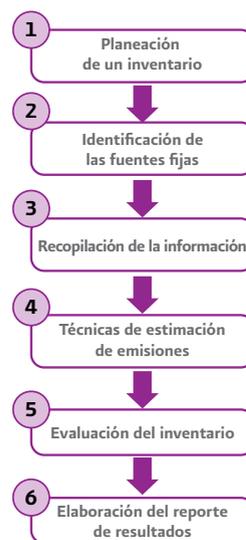
² Existen diversos tipos de fuentes fijas de acuerdo con su jurisdicción y, además, existen ciertas características que las diferencian de lo que se denomina fuentes de área.

2. Identificación de las fuentes fijas: en esta sección se definen los criterios para determinar qué establecimientos se reportarán como fuentes fijas y asegurar que no se duplique la información con las fuentes de área.
3. Recopilación de la información: la cantidad y la calidad de la información disponible para estimar emisiones son determinantes para asegurar la calidad y el nivel de detalle deseados para el inventario. En esta sección se describen las diferentes fuentes y metodologías para recopilar información útil para la estimación de emisiones para fuentes fijas.
4. Técnicas de estimación de emisiones: para elaborar un inventario de emisiones de fuentes fijas existen diferentes técnicas de estimación, cuyo uso depende básicamente de los recursos económicos con que se cuente y de la confiabilidad deseada del inventario. Esta sección muestra las diferentes técnicas y sus ventajas y desventajas para la estimación de emisiones de fuentes fijas.
5. Evaluación del inventario: las exigencias de calidad del inventario dependen del uso y del propósito, y están determinadas por las herramientas y los insumos utilizados en la estimación del inventario. En esta sección se definen las principales fuentes de incertidumbre asociadas con la estimación de emisiones de fuentes fijas.
6. Reporte de resultados: el proceso de elaboración de un inventario de emisiones no culmina con los cálculos realizados, sino con la elaboración de un reporte final cuya calidad determinará en gran medida su verdadera utilidad y aprovechamiento. Así, el reporte final debe incluir una serie de elementos indispensables a fin de cumplir con el objetivo de comunicar con claridad y detalle los resultados obtenidos.

Cada uno de estos pasos comprende a su vez una serie de consideraciones técnicas y de control y aseguramiento de la calidad (A y CC) que es importante tener en cuenta. En este sentido, este documento está organizado en capítulos, los cuales describen en detalle cada una de las etapas para elaborar un inventario de emisiones de fuentes fijas:

El capítulo 1 brinda información general sobre el proceso de planeación para elaborar el inventario, incluidas sus principales características, la codificación de datos a utilizar y la elaboración del plan de control y calidad. La planeación consiste en definir los objetivos, las características generales (área de estudio, contaminantes a inventariar, año base), los usos del inventario y el procedimiento a seguir para el aseguramiento y el control de la calidad, así como también la definición del o los

Figura 1.1
Metodología
general para la
elaboración del
inventario
de emisiones de
fuentes fijas



responsables de la elaboración del documento. En este momento del desarrollo del inventario es importante considerar los recursos con los que se cuenta para su realización y las características que tendrá, por ejemplo, su cobertura geográfica y su resolución temporal y espacial.

El capítulo 2 presenta algunos criterios para definir las fuentes fijas y diferenciarlas tanto por jurisdicción como de otro tipo de fuentes, como las fuentes de área. Esto es importante porque evita la duplicidad y determina el universo de fuentes.

El capítulo 3 describe lo relativo a la recopilación de información, así como los requerimientos indispensables de datos y sus principales fuentes de información. Además, describe el control de la calidad que debe seguir el proceso de recopilación de la información.

El capítulo 4 se refiere a la aplicación de las diferentes técnicas que existen para estimar emisiones de fuentes fijas considerando la información disponible y comparando las estimaciones con datos reportados.

El capítulo 5 presenta algunas recomendaciones para realizar una evaluación cualitativa de la incertidumbre del inventario de emisiones de fuentes fijas, con el fin de proveer una herramienta sencilla y práctica que pueda orientar a los desarrolladores sobre la calidad final del inventario, así como sus usos y aplicaciones.

Con respecto a la calidad de los datos, es claro que a lo largo del proceso de elaboración del inventario se genera e implementa el plan de aseguramiento y control de la calidad, por lo que en cada etapa se van corrigiendo errores e inconsistencias. Esto se logra a través de mecanismos de control y aseguramiento de calidad, y de revisiones internas o externas, o ambas, que generalmente se enfocan en la revisión de la consistencia de los resultados y de la información que se utiliza para el inventario. Es recomendable que esta revisión se realice por personas especializadas en el tema de inventarios y que no hayan participado propiamente en la estimación de las emisiones.

El capítulo 6 describe el contenido mínimo a considerar en la elaboración de un reporte sobre un inventario de emisiones de fuentes fijas. En este reporte, además de información general sobre las características del inventario y sus resultados, puestos en contexto, debe documentarse cualquier decisión que se tome a lo largo

del proceso de estimación de emisiones, así como los resultados generales de la evaluación de la calidad y la incertidumbre del inventario (ver tema 6). El tema del control y aseguramiento de la calidad, como se indica desde el primer capítulo, es tratado a lo largo del documento, ya que este proceso es dinámico y acompaña a todas las actividades de elaboración del inventario.

Finalmente, se presenta un glosario donde se definen algunos de los términos técnicos más importantes usados a lo largo de los capítulos anteriores.

Planeación de un inventario de emisiones de fuentes fijas

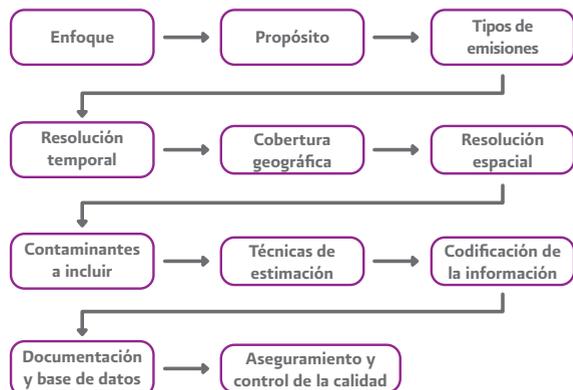
Una de las etapas más importantes durante la elaboración de un inventario de emisiones es la planeación, ya que en esta se definen los siguientes aspectos: las características técnicas del inventario, los medios y métodos necesarios para llevar a cabo esta tarea (la logística), así como el responsable y el cronograma de actividades. Dentro de las características técnicas del inventario se incluye a su vez una serie de pasos cronológicos que constituyen una ruta útil para el desarrollo de cualquier inventario de emisiones (ver figura 1.2); estos pasos se describen con detalle en este capítulo. El proceso de planeación permite que dichas características sean congruentes con las metas y los objetivos del inventario.

Por ejemplo, el primer Inventario Nacional de Emisiones de México (INECC-SEMARNAT, 2006) incluyó una primera etapa durante la cual se llevó a cabo toda la planeación del proceso para la elaboración del inventario y se generó el “Plan para la preparación del inventario”. En este plan se establecieron, entre otras cosas, los objetivos y usos del inventario, la responsabilidad de los participantes del proceso, los límites de confidencialidad y manejo de datos, las principales características del inventario, las metodologías a implementar para la estimación de emisiones, los productos esperados y el plan de aseguramiento y control de la calidad (ERG, 2003). A continuación se describe cada uno de los principales componentes de la etapa de planeación.³

³ Para mayor detalle sobre este aspecto del proceso, se recomienda referirse a la “Guía para la elaboración y usos de inventarios de emisiones”.



Figura 1.2 Etapas del proceso de planeación de un inventario de emisiones para fuentes fijas



1.1 Enfoque del inventario de emisiones

En la elaboración de inventarios de emisiones existen dos enfoques principales que se relacionan con las escalas geográfica y temporal de la información disponible. Dichos enfoques son:

- a. Los inventarios de *arriba hacia abajo* o *arriba-abajo* (*top-down*), que se denominan así porque en su elaboración se utiliza información a escala nacional, regional y estatal que se reporta periódicamente y que representa la intensidad de la actividad de un sector productivo. Por ejemplo, al estimar las tasas de emisiones anuales nacionales de dióxido de azufre del sector de generación de electricidad que utiliza combustóleo, se multiplica el consumo anual nacional de este último reportado en el balance nacional de energía publicado por SENER, por un factor de emisión. Posteriormente, estas tasas anuales nacionales se pueden dividir en áreas geográficas más finas, por ejemplo, en municipios, utilizando las fracciones de consumo de combustóleo por municipio. Para el caso de las fuentes fijas, este enfoque se utiliza principalmente para verificar los resultados del inventario porque es posible contar con información específica de cada fuente fija.
- b. A diferencia de los anteriores, los inventarios de *abajo hacia arriba* o *abajo-arriba* (*bottom-up*) dividen la región de estudio en áreas geográficas más finas, como pueden ser los territorios municipales. La información específica se compila y se desarrolla para cada tipo de fuente de emisión (fijas, de área, móviles, etc.) considerando las distintas industrias, viviendas y vehículos que operan en cada municipio, para finalmente sumarlas y obtener estimaciones regionales, estatales y nacionales de cada tipo de fuente de emisión. Los inventarios de fuentes fijas utilizan en su mayoría este enfoque para estimar las emisiones porque, como se mencionó previamente, la información específica de las fuentes fijas en México puede obtenerse con relativa facilidad (ver capítulo 3).

Los inventarios de abajo hacia arriba requerirán de mayores esfuerzos para su elaboración; sin embargo, con frecuencia proporcionarán resultados más fiables y detallados. Por otro lado, cabe mencionar que no puede suponerse automáticamente que un inventario de abajo hacia arriba sea mejor que uno de arriba hacia abajo, pues un inventario de emisiones nunca será mejor que la exactitud de los datos de entrada y el cuidado que se utiliza para construirlo. Es común conjugar ambos enfoques para desarrollar un inventario de emisiones único.

Finalmente, las emisiones procedentes de fuentes específicas bien definidas, como aquellas que son fijas, a menudo se calculan utilizando un enfoque de abajo hacia arriba, mientras que las emisiones procedentes de fuentes más generalizadas, tales como las de área, se estiman utilizando un enfoque de arriba hacia abajo.

1.2 Propósito del inventario de emisiones

Definir el uso que se le dará al inventario es crucial para su desarrollo, ya que esto definirá tanto sus características técnicas como el grado de detalle de la información que se requiere recopilar o generar.

Para las autoridades ambientales el propósito fundamental de los inventarios de emisiones es contar con información de las tasas de emisión de los contaminantes del aire y sus diferentes fuentes emisoras, para definir políticas de prevención y control de la contaminación del aire en sus ciudades. Los inventarios de emisiones permiten:

- Identificar las fuentes o los sectores económicos que contribuyen con los mayores volúmenes de emisiones por tipo de contaminante, para diseñar e implementar medidas de control para reducir sus emisiones.
- Evaluar el impacto de las políticas ambientales implementadas para reducir las emisiones de contaminantes.
- Aplicar modelos de la calidad del aire para evaluar el impacto de las estrategias de control de emisiones antes o después de su implementación.
- Analizar el alcance geográfico de las emisiones de los contaminantes atmosféricos que se generan en una región.

Para las empresas privadas y la industria en general, la estimación de emisiones puede emplearse para distintos propósitos que varían dependiendo de sus necesidades (Radian, 1995; USEPA, 1997). Algunos pueden ser:

- Cuantificar las emisiones que genera el establecimiento para implementar programas para reducirlas.
- Determinar el grado de cumplimiento de regulaciones específicas.
- Determinar las especificaciones técnicas del equipo de control de emisiones.

1.3 Tipos de emisiones en una fuente fija

Las autoridades ambientales requieren tener el mayor grado de detalle posible de la información usada para elaborar un inventario de emisiones de fuentes fijas que sea útil en la toma de decisiones para la prevención y el control de la contaminación. En esta etapa se requiere compilar la información de los diferentes procesos y operaciones unitarias⁴ que existen en las instalaciones o plantas industriales ubicadas en la región de estudio. En el capítulo 3 se describen con detalle las principales fuentes de información, así como el grado de detalle que se requiere para cumplir con el propósito fijado al inicio de la elaboración del inventario.

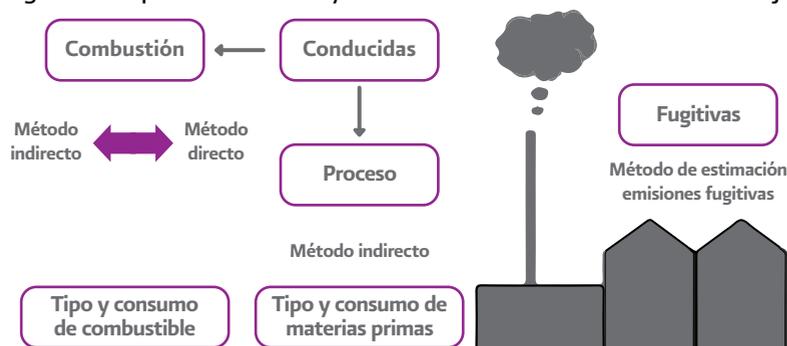
Tipos de emisiones

Al comenzar a compilar la información para elaborar el inventario es importante distinguir entre dos tipos de emisiones: las *conducidas* y las *no conducidas*, pues además de orientar sobre los datos que es posible obtener, esta información sienta las bases para decidir qué método o métodos de estimación resultan más apropiados.

Las emisiones conducidas son aquellas que se descargan a través de ductos o chimeneas, y esta cualidad permite medirlas de manera directa o indirecta en el punto de emisión (ver sección 1.8). Por otra parte, las emisiones no conducidas no pueden medirse directamente, pues suelen asociarse con procesos realizados a cielo abierto o con fugas no deseadas, por lo que deben ser estimadas indirectamente a partir de factores de emisión o de balances de materiales (ver figura 1.3).

⁴ En términos coloquiales, las operaciones unitarias o procesos son cada una de las acciones necesarias para la transformación química o física, o ambas, de materias primas en productos finales.

Figura 1.3 Tipos de emisiones y métodos de estimación en una fuente fija



Fuente: cortesía del Ing. Alberto Cruzado

Procesos con emisiones conducidas

En esta clasificación se incluyen mayormente los *procesos de combustión* debido a que los grandes volúmenes de gases de desecho que se generan regularmente se conducen por ductos, respiraderos o chimeneas. Se consideran procesos de combustión aquellos en los cuales se queman combustibles sólidos, líquidos o gaseosos o mezclas de ellos, y son muy comunes en las instalaciones industriales donde se utilizan principalmente como fuente de energía para alimentar máquinas de combustión interna, calderas u otros procesos y operaciones unitarias. Por ejemplo, los gases de desecho de la combustión de una caldera⁵ que quema combustóleo, en una planta generadora de energía eléctrica, normalmente son conducidos a la atmósfera por chimeneas. Cabe aclarar que dependiendo del giro industrial es posible encontrar otros procesos que no son combustión y que conduzcan sus gases a través de ductos o respiraderos, por lo que es importante evaluar la aplicación de métodos directos o indirectos de estimación de emisiones dependiendo de la información disponible.

Procesos con emisiones no conducidas

Las emisiones no conducidas son básicamente aquellas que se liberan directamente a la atmósfera de aquellos *procesos que no son de combustión* y que están relacionados con los equipos y conexiones que tiene una planta para su operación; por ejemplo, los procesos de secado, trituración, separación, pintado, síntesis de químicos, transporte o almacenamiento de materiales, etc. (Radian, 1997). Por lo tanto, para la estimación de sus emisiones se recurre regularmente a factores de emisiones o balances de masa, basados en los datos de la actividad o en las cantidades de producto final.

También es necesario tomar en cuenta aquellos *procesos auxiliares* que forman parte de la operación de la planta, pero no propiamente del proceso de producción. Por ejemplo, una planta de tratamiento de aguas residuales dentro de una instalación industrial genera emisiones de COV, y estas deberían ser consideradas junto con las emisiones totales de COV de la planta. Sin embargo, es importante decir que este tipo de emisiones se considera fuente de área en aquellos establecimientos cuyo único proceso es el tratamiento de aguas residuales (Radian, 1996).

⁵ Una caldera es por sí misma un proceso de combustión que transforma la energía química del combustible en energía térmica para convertir el agua en vapor, el cual a su vez impulsará a una turbina generadora de electricidad.

Finalmente, dentro de este rubro deben incluirse las *emisiones fugitivas*, como las fugas y los derrames, que obedecen más a la rotura o imperfección de sellos, tuberías o conexiones utilizados en los equipos para el transporte de fluidos, y que ocurren por el desgaste y la falta de atención o mantenimiento. En algunos procesos estas emisiones pueden llegar a representar las de mayor contribución en una planta industrial (para mayor detalle ver la sección 2.1.5). Dada la complejidad y diversidad de los equipos, procesos y giros industriales de donde pueden provenir las emisiones fugitivas, esta guía ofrece una breve orientación de las técnicas para su estimación en la sección 4.5. Para mayor detalle se recomienda consultar la literatura sobre este tema.

1.4 Resolución temporal

La resolución temporal es el periodo para el cual se estiman las emisiones y, por tanto, determina la ubicación del inventario en el tiempo. Aunque pueden llegar a existir inventarios que abarquen solo alguna o algunas temporadas del año, normalmente se calculan para todo un año calendario. En este caso, el año de referencia se denomina *año base* y establece la temporalidad común para todas las estimaciones de emisiones de las actividades que ocurrieron durante ese periodo.

Los inventarios de emisiones de diferentes regiones o zonas pueden ser comparados entre sí partiendo de un determinado año base y considerando que hayan sido elaborados con metodologías y calidades similares. Así mismo, dos inventarios de la misma región o zona con años base diferentes pueden ser comparados, con el objeto de observar los cambios de las emisiones en el tiempo, haciendo las mismas consideraciones de similitud en el proceso de elaboración (INECC-SEMARNAT, 2005).

Por ejemplo, para el primer inventario nacional de emisiones de México (INEM) se tomó 1999 como año base. Este año se eligió debido a que para este periodo se contaba con la información necesaria para realizar la estimación de emisiones, y adicionalmente se hizo coincidir con el ciclo trianual de los reportes de inventarios nacionales de Estados Unidos con el fin de conjuntar un inventario de América del Norte a largo plazo. Es por ello que la frecuencia de actualización del INEM quedó establecida en tres años, y aunque su actualización debió ser al año 2002, se decidió actualizarlo al año 2005 porque era muy tarde para proveer informa-

ción oportuna para la toma de decisiones (INECC-SEMARNAT, 2006 y SEMARNAT, 2012). Actualmente, el INEM 2008 está en proceso de publicación y el INEM 2011 se encuentra en la etapa de planeación (SEMARNAT, 2012).

1.5 Cobertura geográfica

La cobertura geográfica, o dominio del inventario, representa el área geográfica donde se ubican las fuentes de contaminantes atmosféricos incluidas en el inventario. Esta área generalmente está limitada por fronteras geopolíticas; es decir, los inventarios de emisiones de fuentes fijas generalmente son elaborados para un municipio, un estado o un país. Sin embargo, existen ocasiones en las cuales se pueden desarrollar inventarios por región que pueden abarcar más de un municipio o estado. Por ejemplo, el inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México de 2010 abarca todas las delegaciones del Distrito Federal y también municipios del estado de México, debido a la influencia de sus fuentes de contaminación en la calidad del aire de la región (SMA-DF, 2012).

1.6 Resolución espacial

Además de delimitar claramente la cobertura geográfica del inventario, es necesario establecer el grado de detalle geográfico con el que se reportarán las emisiones. Los reportes pueden consistir solo en uno o algunos datos o para toda el área geográfica de estudio; por ejemplo, un inventario con cobertura geográfica nacional podría incluir emisiones por estado o por municipio. En otros casos, como pueden ser los inventarios para modelación, las emisiones se reportan con mayor resolución, ya sea por celdas o polígonos de cierto tamaño, o bien por fuente o punto de emisión, para lo cual las fuentes fijas deben localizarse geográficamente utilizando coordenadas de longitud y latitud, o coordenadas universales transversales de Mercator (UTM). La precisión de la ubicación geográfica de las fuentes fijas dependerá de la precisión de los instrumentos de medición empleados.

1.7 Contaminantes a incluir

La selección de los contaminantes a incluir en el inventario resulta de suma importancia para los procesos que se fijaron al inicio de su elaboración; por ejemplo, para el caso de un inventario de emisiones de contaminantes criterio provenientes de fuentes fijas con el que se realizará la gestión de la calidad del aire en el área en

estudio, normalmente se reportan óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x), partículas suspendidas (PM), monóxido de carbono (CO) y compuestos orgánicos volátiles (COV), porque estos contaminantes y los que se forman a partir de ellos tienen impactos en la salud de la población y del ambiente, y por ello al controlar sus emisiones se pueden reducir sus impactos.

Para algunos propósitos específicos, como la modelación fotoquímica de la calidad del aire, puede ser necesario desagregar aún más la especie química de algún contaminante. Por ejemplo, los hidrocarburos que pueden ser expresados en subconjuntos como compuestos orgánicos totales (COT), compuestos orgánicos volátiles (COV), gases orgánicos no metánicos (GONM), hidrocarburos no tetánicos (HCNM), o bien hidrocarburos totales (HCT) (ver INECC-SEMARNAT, 2005).

Así mismo, es aconsejable seguir las recomendaciones de la *Guía de elaboración y usos de inventarios de emisiones*, que sugiere realizar una lista de verificación de las categorías de las fuentes y a la vez priorizar los contaminantes que serán incluidos en el inventario (ver cuadro 1.2). La información proporcionada por esta guía permite identificar los contaminantes y las especies químicas que son generadas por las diferentes subcategorías de fuentes fijas, así como los contaminantes criterio.

Cuadro 1.2 Principales contaminantes emitidos a la atmósfera por subcategorías de fuentes fijas

^a Solo incluye emisiones relacionadas con procesos; las emisiones de la combustión en fuentes puntuales se incluyen aparte como un proceso con su propia categoría.

Fuente: INE-SEMARNAT, 2005

COT	Compuestos orgánicos totales	CTA	Contaminantes tóxicos del aire
COV	Compuestos orgánicos volátiles	CO₂	Bióxido de carbono
CO	Monóxido de carbono	N₂O	Óxido nitroso
NO_x	Óxidos de nitrógeno	CH₄	Metano
SO_x	Óxidos de azufre	CFC	Clorofluorocarbonos
PM	Partículas suspendidas	Contaminantes a considerar para el desarrollo de un inventario de:	
PM₁₀	Partículas con diámetro aerodinámico menor a 10 micras		Contaminantes criterio
PM_{2.5}	Partículas con diámetro aerodinámico menor a 2.5 micras		Carbón negro (BC, por sus siglas en inglés), considerando solamente el Cele
NH₃	Amoniaco		Contaminantes tóxicos del aire
Cele	Carbón elemental		Gases de efecto invernadero
Corg	Carbón orgánico		

Fuentes fijas	Contaminantes																
	PM	PM ₁₀	PM _{2.5}	NOx	SOx	CO	COV	COT	NH ₃	Cele	Corg	CTA	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	CFC	
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)	✓	✓	✓				✓	✓				✓					
Rellenos sanitarios				✓			✓	✓				✓	✓		✓		
Incineradores municipales	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	
Quema de residuos a cielo abierto	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	
Plantas de asfalto (a)	✓	✓	✓				✓	✓				✓					
Industria alimentaria y agricultura (a)	✓	✓	✓				✓	✓			✓	✓					
Uso de combustibles en fuentes fijas	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

1.8 Técnicas de estimación

La cuantificación de las emisiones provenientes de fuentes fijas se realiza comúnmente mediante métodos de estimación directos e indirectos. Estos métodos se aplican para los dos tipos de emisiones que se describen en la sección 1.3. Las emisiones que son *conducidas* a la atmósfera por medio de chimeneas o ductos de ventilación son usualmente calculadas con métodos directos o indirectos; usualmente se decide entre ellos dependiendo de la disponibilidad de la información. En el caso de las emisiones *no conducidas*, estas se estiman regularmente utilizando métodos indirectos.

Métodos directos

Estos métodos están basados en estudios de campo para recolectar información. La técnica de mayor uso entre los métodos directos es el muestreo en la fuente; sin embargo, hay que tener en cuenta que este muestreo no es realizado directamente por el desarrollador del inventario. A continuación se describe brevemente el método de muestreo en la fuente; para mayor detalle, referirse al capítulo 4 de esta guía.

- *Muestreo en la fuente.* El muestreo en la fuente es una prueba que se realiza directamente en la fuente de emisión, es decir, en la chimenea o conducto por donde se dirigen los gases contaminantes hacia la atmósfera. Con esta prueba se obtiene la concentración, esto es, la tasa de la masa del contaminante y el volumen de aire que lo transporta. Esta técnica de estimación de emisiones se caracteriza por su precisión y confiabilidad, así como por sus altos costos, ya que se requiere de la aplicación de procedimientos de muestreo estandarizados, equipos de medición específicos y personal calificado.

Métodos indirectos

A diferencia de los métodos directos, estos métodos están basados en información general sobre el comportamiento típico de un proceso o equipo similar al de interés. Las técnicas de mayor uso para emisiones conducidas son los factores de emisión y los cálculos de balance de masa.

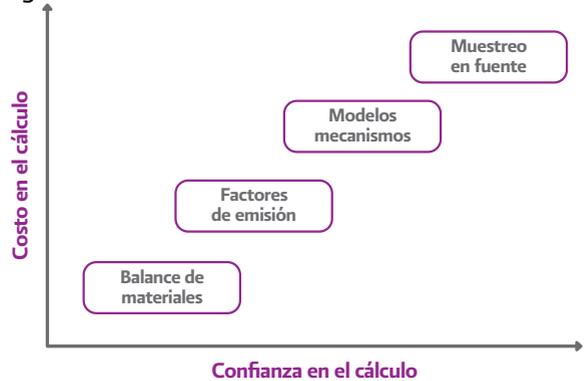
- *Factores de emisión.* Los factores de emisión son valores que relacionan la cantidad emitida de un contaminante con la actividad del equipo asociada con dicha emisión. Estos factores se expresan normalmente como un cociente entre la masa del contaminante emitido y el peso, volumen, distancia o duración de la actividad que provoca la emisión; por ejemplo, kilogramos de partículas

por tonelada de hierro gris producido, o kilogramos de compuestos orgánicos volátiles por días de operación de la planta industrial, etc. Por lo general, en la elaboración de inventarios de emisiones de fuentes fijas se utilizan los factores de emisión por proceso reportados en el documento *AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors* (US EPA, 1995). El compendio AP-42 contiene factores de emisión para diversas actividades y procesos⁶ y puede ser consultado vía Internet en el sitio de la EPA ubicado en <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html>.

- *Balance de masa*. La técnica de balance de masa generalmente se utiliza para estimar las emisiones considerando que la masa del contaminante es igual a la diferencia entre las entradas y las salidas del proceso; se entiende por entradas las materias primas que inician el proceso de transformación, y por salidas los productos finales. Los balances de masa pueden realizarse a nivel de un equipo, de un proceso o de todo un establecimiento industrial (SEMARNAT, 2001).

En resumen, estas técnicas de estimación tienen ventajas y desventajas en cuanto a la confiabilidad y a los costos asociados. La figura 1.4 muestra que, generalmente, el muestreo continuo en la fuente suele ser la técnica más confiable y también la que requiere más recursos para su implementación, en tanto que el uso de factores de emisión y balances de masa tiende a ser más económico pero menos confiable. Si bien esta última aseveración suele ser cierta, es importante notar que el método de balance de masa y de factores de emisión en procesos específicos puede llegar a ser altamente confiable; por ejemplo, la estimación de emisiones de SO_2 en el proceso de quema de combustibles mediante balance de masa es muy precisa. Por ello, es necesario poner atención a la planeación del desarrollo del inventario (ver sección 1.2.) y considerar los recursos con los que se cuenta al seleccionar los métodos y técnicas a utilizar.

Figura 1.4 Técnicas de estimación de emisiones



Fuente: INE, adaptada de INE-SEMARNAT, 2005

⁶ Sin embargo, la propia agencia ambiental EPA recomienda verificar la consistencia en el tipo y el diseño del equipo, así como en las materias primas utilizadas, antes de aplicar los factores de emisión.

1.9 Codificación de la información

Debido a la gran cantidad de información que se maneja en un inventario, resulta especialmente útil la generación de un código que permita identificar cada establecimiento, su giro industrial, el número de chimeneas dentro de sus instalaciones, y otras características de la fuente, de manera que el manejo de la información resulte ágil y accesible a sus usuarios.

Códigos de identificación de establecimientos

El código de identificación de un establecimiento es un dato indispensable para el inventario, ya que contiene información útil acerca de la fuente de emisión y siempre se relaciona exclusivamente con un solo establecimiento. Los datos contenidos en este código pueden indicar el nombre de la fuente, su ubicación geográfica (estado o municipio), el tipo de industria a la que pertenece, el número de chimeneas con las que cuenta el establecimiento en cuestión, etc. Por ello, es indispensable que este código o clave de establecimiento sea único e irrepetible para cada una de las fuentes inventariadas.

Con el fin de identificar a los establecimientos, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), como autoridad federal encargada de la actualización del inventario nacional, genera un número de registro ambiental (NRA) que es único para cada industria y se asigna a las fuentes emisoras de jurisdicción federal con el propósito de identificarlas al presentar su cédula de operación anual (COA). Adicionalmente, la misma Secretaría cuenta con otro código para referirse a las fuentes fijas de emisiones, conocido como clave de identificación (CVEIDEN). Sin embargo, existen otras fuentes que no son de jurisdicción federal, sino estatal o municipal, y están sujetas a las regulaciones locales; por lo tanto, no tienen obligación de presentar la COA y no cuentan con NRA ni con CVEIDEN.

Es por ello que el responsable del inventario debe construir un código único de identificación para fuentes fijas con una nomenclatura uniforme que permita el manejo y la actualización de la información sin importar cuál sea la jurisdicción a la que pertenecen. Para tal fin se recomienda ponerse en contacto con el personal de la Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y RETC de la SEMARNAT⁷, que es la instancia encargada de la actualización de los inventarios nacionales, a fin de

⁷ <http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/calidaddelaire/Paginas/InventarioNacionaldeEmisiones.aspx>

recibir orientación sobre los elementos de información necesarios para el código de identificación; esto tiene la finalidad de que la nomenclatura sea homogénea entre los diferentes ámbitos gubernamentales para lograr así integrar un catálogo que sea de utilidad a todos los usuarios, y que evite la generación de códigos redundantes o incompatibles.

Codificación de actividad o giro de la fuente

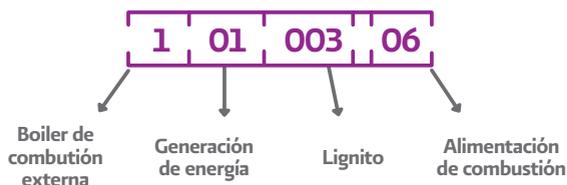
El giro o actividad principal de la fuente de emisión es un elemento de información indispensable al elaborar un inventario, ya que generalmente resulta útil agrupar las emisiones por sector industrial, comercial o de servicios con el fin de detallar la contribución de cada uno de los sectores industriales al total de las emisiones.

En México es común encontrar códigos que obedecen a distintas normas nacionales e internacionales, entre los que se encuentran:

- La Clasificación Mexicana de Actividades y Productos (CMAP) fue creada y usada por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) para el manejo de datos y estadísticas económicas en México; sin embargo, actualmente está en desuso.
- El Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN) surgió de la necesidad internacional de homologar la clasificación de las actividades económicas en Canadá, Estados Unidos y México, con el fin de desarrollar estadísticas comparables. El SCIAN se divide en 20 sectores de actividad en el nivel más general, 94 subsectores, 304 ramas, 617 subramas y, en su nivel más detallado, en 1049 clases de actividad. Este sistema cuenta un código de 6 dígitos agrupados en 5 niveles. El primer nivel (dos dígitos) se refiere al sector, el segundo (un dígito) al subsector, el tercero (un dígito) a la rama, el cuarto (un dígito) a la subrama y el quinto (un dígito) a la clase de actividad económica (INEGI, 2002). Por ejemplo, en el código 325411, el 32 inicial se refiere al sector de la industria manufacturera, el 5 especifica el subsector de la industria química, el 4 detalla la rama de los productos farmacéuticos, el 1 indica la subrama de la fabricación de productos farmacéuticos, y el 1 final indica que la actividad económica del establecimiento es la fabricación de materias primas para la industria farmacéutica. Este sistema se encuentra ampliamente difundido y ha reemplazado a la CMAP.
- El código de clasificación de fuentes (Source Classification Code o SCC, por sus siglas en inglés) es utilizado por la US EPA para clasificar las actividades de las fuentes para fines de modelación. Así, algunos inventarios de emisiones

emplean de manera complementaria tanto el SCIAN como el SCC. El SCIAN permite la comparación de inventarios de México, Estados Unidos y Canadá, y el SCC permite utilizar los inventarios de emisiones con fines de modelación de la calidad del aire. Los códigos SCC para fuentes fijas contienen 8 dígitos y, al igual que en el SCIAN, brindan detalles específicos con cada uno de los caracteres presentados de izquierda a derecha (ver figura 1.5).

Figura 1.5 Ejemplo de codificación utilizando el sistema SCC



Fuente: tomado del manual de SMOKE (<http://www.smoke-model.org/documentation.cfm>) y traducido por el INE.

Los códigos SCC se encuentran disponibles como parte de la documentación incluida en el modelo SMOKE⁸ (<http://www.smoke-model.org/index.cfm>), dentro la estructura de archivos que tiene precargada el modelo, específicamente en la ubicación \$GE_DAT/scc_desc_030804.txt. Este archivo (scc_desc_030804.txt) contiene la descripción detallada de todos los códigos

de clasificación de fuentes fijas e identifica los giros industriales por fuente de emisión.

Como puede observarse, el uso de un sistema de codificación en particular dependerá del uso que se le vaya a dar a la información; sin embargo, se recomienda el uso del SCIAN debido a su compatibilidad y aceptación en distintos ámbitos gubernamentales nacionales e internacionales. El uso del SCC puede considerarse de manera adicional cuando se desee elaborar un inventario con fines de modelación de la calidad del aire.

Las recomendaciones al usar algún tipo de código son las siguientes:

1. Que el SCIAN y el CVEIDEN sean códigos únicos e irrepetibles para cada industria en cualquiera de los ámbitos de gobierno.
2. La clasificación debe ser consistente con la actividad desarrollada por la fuente, y contener información completa y coherente.
3. La generación de esta información debe ser coordinada con la SEMARNAT, para la gestión y ordenamiento de dicha información.

⁸ El modelo SMOKE se utiliza actualmente en la Dirección de Investigación sobre la Calidad del aire del INECC para procesar las emisiones de los inventarios con fines de modelación de la calidad del aire. Para mayor detalle consulte <http://www.ine.gob.mx/dica>.

1.10 Documentación y estructura de la base de datos

La elaboración de un inventario de emisiones de fuentes fijas implica esencialmente el desarrollo de actividades secuenciales, tales como la obtención de información de diversas fuentes, la ordenación y la adecuación de esta información para que sea útil para los cálculos, la estimación de las emisiones, y el análisis y la presentación de los resultados. Durante el desarrollo de estas actividades la información recopilada y generada con frecuencia es extensa, por lo que es indispensable documentar su procedencia y los supuestos que se realizaron para el cálculo de las emisiones; estos datos deberán estar explicados claramente y sustentados documentalmenente en cada etapa del desarrollo del inventario.

Contar con un acervo documental organizado de las fuentes de información consultadas que sustente la fidelidad de la información utilizada y la justificación de las suposiciones técnicas realizadas para el cálculo de las emisiones del inventario es de suma importancia, no solo porque agiliza la revisión y la evaluación de sus resultados, sino porque en las etapas posteriores de su actualización sirve como referencia para obtener la información requerida para el desarrollo de inventarios posteriores, así como el soporte de los resultados presentados.

Dependiendo del número de instalaciones inventariadas, el manejo de su información puede ser sencillo o complejo, y para ello se cuenta con aplicaciones computacionales que van desde hojas de cálculo hasta manejadores de bases de datos. La decisión de usar tal o cual *software* estará en función del número de registros y campos, así como de la infraestructura computacional disponible. Sin embargo, independientemente del *software* que se utilice para el manejo de la información, es importante que se diseñe una estructura de la base de datos en la cual se capture la información compilada y que facilite el trabajo y la administración de datos a lo largo del proceso de elaboración del inventario.

Los campos indispensables con los que debe contar una base de datos de información de fuentes fijas se presentan en el cuadro 1.3, y constituyen las principales características de la fuente que permiten estimar sus emisiones.

Como referencia para el diseño de una base de datos de fuentes fijas, la Dirección de Gestión de la Calidad del Aire de la SEMARNAT cuenta con una hoja de datos en Excel, llamada DATAGEN, que contiene los campos principales de captura de información y permite también realizar los cálculos de las emisiones de los

Cuadro 1.3 Campos de información indispensables para la confección de inventarios de fuentes fijas

Característica	Observación
Nombre	Nombre comercial o razón social de la fuente industrial
Clave de identificación	Registro único e irreplicable para cada fuente industrial
Ubicación	Estado, municipio, dirección postal, coordenadas
Composición	Número de chimeneas o procesos
Datos de chimenea	Datos específicos de la o las chimeneas. Diámetro, altura, velocidad y temperatura de salida de los gases
Giro o actividad principal	Tipo de actividad desarrollada por la fuente industrial
Datos de actividad	Tipo y cantidad de combustible utilizado, tiempos de operación, etc.
Factores de emisión	De elaboración nacionales o del AP-42
Contaminantes asociados	Contaminantes asociados con sus procesos
Otros datos adicionales	-

contaminantes criterio; esta herramienta junto con su documentación puede ser descargada de la siguiente dirección de Internet: <http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/calidaddelaire/Documents/Calidad%20del%20aire/Inventarios/INEM%202008.pdf>.

1.11 Plan de aseguramiento y control de la calidad (A y CC)

Para garantizar la calidad del inventario de emisiones es necesario desarrollar e implementar un plan de aseguramiento y control de la calidad (A y CC) cuya finalidad sea limitar la introducción de errores e incertidumbre dentro del proceso de elaboración del inventario. El plan debe contener objetivos que permitan asegurar y controlar la calidad del inventario durante todo el proceso de su desarrollo. Así mismo, el plan debe contener indicadores que permitan evaluar la confiabilidad de los datos, lo que hará posible reportar la incertidumbre asociada con las estimaciones que integran el inventario final.

Declaración de objetivos de la calidad de los datos

Los objetivos de la calidad de los datos (OCD) del inventario deben asegurar que los datos o estimaciones finales sean adecuados para el uso que se pretende dar al inventario (Radian, 1996). Los OCD deben analizarse y establecerse antes de elaborar el inventario, de manera que se consideren, entre otros elementos, el nivel mínimo de información contenido en los datos, su grado de representatividad o su grado de comparabilidad respecto a otros documentos o métodos similares. Por ejemplo, si el objetivo del inventario es observar la contribución de diversos

sectores federales y estatales a las emisiones en la zona de estudio de manera cualitativa, los objetivos de la calidad de los datos podrían incluir (ERG, 2003):

- Contar con el 100 % de las fuentes federales.
- Contar con al menos el 75 % de las fuentes estatales (o un porcentaje mayor si se considera que la información estará disponible).
- Contar con todos los sectores de interés.

Como puede observarse en el ejemplo anterior, los OCD son declaraciones sobre el grado de calidad que el responsable de la elaboración del inventario está dispuesto a aceptar. Esto puede variar durante el desarrollo del inventario, ya que, a pesar de las mejores intenciones de quienes lo preparan, existen limitantes de tiempo, de recursos y de datos que son obstáculos que deben salvarse al desarrollar el inventario. Por lo tanto, todo el proceso de A y CC así como los OCD deben ser ambiciosos para procurar la máxima calidad del producto, y al mismo tiempo deben ser suficientemente realistas al considerar cualquier factor que pueda limitar la calidad de la información. Estos factores pueden ser errores de cálculo, duplicación de información al considerar fuentes de área como fijas, error en la selección de factores de emisión, entre otros.

Diseño de actividades de A y CC y auditorías

Dentro del plan de aseguramiento y control de la calidad del inventario deben incluirse todas las actividades que se realicen, y estas deberán ser descritas con el máximo grado de detalle posible. Para ello, es necesario que exista, como parte del plan, un protocolo específico que contenga la planificación y el diseño de las actividades de A y CC que se programen.

Es necesario señalar qué actividades de A y CC se llevarán a cabo en cada etapa del proceso de desarrollo del inventario (ver secciones 1.1.1, 2.2, 3.5, 4.4 y 5.1), así como aquellas que se desarrollarán (incluidas las auditorías) al final del proceso (ver capítulo 5). Así mismo, deberá señalarse si las actividades serán desarrolladas de manera interna o externa.

Indicadores de precisión de la información

Una vez que los OCD han sido determinados, el siguiente paso consiste en identificar los indicadores de precisión de la información que será utilizada para realizar el inventario. Estos indicadores pueden ser cuantitativos o cualitativos y están relacionados, generalmente, con dos elementos específicos de la estimación:

- Los datos sobre el establecimiento y su actividad
- La técnica de estimación seleccionada

Por ejemplo, de manera cualitativa la EPA ha propuesto un sistema de evaluación de factores de emisión que, si bien no es un método que permita asignar un valor numérico, orienta sobre su confiabilidad. Para el caso del compendio AP-42, la US EPA asigna un valor de confiabilidad a los factores de emisión con base en dos aspectos: la confiabilidad de los datos utilizados para el desarrollo del propio factor, y su posibilidad de ser extrapolado y usado como un factor promedio anual representativo para una actividad o proceso específico.

La calificación de la confiabilidad de los datos se divide en cuatro grupos, y se les asigna una letra de acuerdo con criterios referidos en el cuadro 1.4.

Con base en esta calificación de confiabilidad de los datos y las metodologías utilizadas para derivar los factores, la EPA estableció un sistema para calificar los factores de emisión con base en los criterios que se describen en el cuadro 1.5.

Finalmente, en el capítulo 5 de esta guía se propone un método de evaluación de la incertidumbre de los resultados del inventario que se basa en las fuentes de información empleadas para obtener los datos del establecimiento y su actividad, así como en la técnica de estimación seleccionada para el cálculo de la emisión. Al ser un método cualitativo, su implementación resulta sencilla, aunque sus resultados son limitados y no es posible determinar un valor numérico de la incertidumbre

Cuadro 1.4 Clasificación de origen de datos para factores de emisión AP-42

Clasificación	Criterios
A	Esta clasificación requiere de múltiples muestreos realizados en la misma fuente usando una metodología consistente y documentada con el detalle suficiente para una adecuada validación.
B	Esta calificación se otorga generalmente a los muestreos realizados con una metodología consistente, pero que carecen de suficiente detalle para su adecuada validación.
C	Esta calificación se otorga a los muestreos que se basan en una metodología nueva o que no ha sido evaluada y de la cual no existen datos de respaldo suficientes.
D	Esta calificación se otorga a los muestreos que se basan en un método generalmente inadecuado, pero que pueden proporcionar un valor útil en términos de orden de magnitud.

Fuente: US EPA, 1995

Cuadro 1.5 Calificación de factores de emisión de acuerdo con el AP-42

Calificación	Criterios
A (excelente)	El factor de emisión se desarrolló principalmente con datos clasificados como A y B, obtenidos de una muestra aleatoria de establecimientos industriales. El número de muestras realizadas en la categoría de fuente es suficiente para reducir la variabilidad.
B (por arriba del promedio)	El factor de emisión se desarrolló principalmente con datos clasificados como A o B, obtenidos de un número moderado de instalaciones. Al igual que en la calificación A, el número de muestras realizadas en la categoría de fuente es suficiente para reducir la variabilidad.
C (promedio)	El factor de emisión se desarrolló principalmente con datos clasificados como A, B y/o C, obtenidos de un número razonable de instalaciones. Al igual que en las calificaciones A y B, el número de muestras de la categoría de fuente es suficiente para reducir la variabilidad.
D (por debajo del promedio)	El factor de emisión se desarrolló principalmente con datos clasificados como A, B y/o C, obtenidos de un número pequeño de instalaciones, y se sospecha que estas no representan una muestra aleatoria de la industria. También puede haber evidencia de variabilidad en las instalaciones de dicha industria.
E (pobre)	El factor de emisión se desarrolló con datos clasificados como C y D, y se sospecha que las instalaciones estudiadas no representan una muestra aleatoria de la industria. También puede haber evidencia de variabilidad en las instalaciones de dicha industria.

Fuente: US EPA, 1995

tal como ocurre con los sistemas cuantitativos; este valor puede orientar al desarrollador del inventario para determinar, en términos generales, si la confiabilidad de los resultados obtenidos es compatible con los usos potenciales previstos para el inventario.

Este sistema para la determinación de la incertidumbre del inventario es independiente de la calidad del mismo y no excluye la aplicación de ningún paso del proceso de control y aseguramiento de la calidad ni interfiere con los objetivos de la calidad. Es decir, existe la posibilidad de contar con un inventario que sea considerado de alta calidad por la precisión en sus procesos de desarrollo, pero cuya incertidumbre sea alta debido a la falta de información específica sobre algunas fuentes o a otras causas ajenas al desarrollador, por lo que es posible que este inventario no sea útil para usos muy específicos.

Identificación de fuentes fijas

La clasificación adecuada de las fuentes fijas de emisión, en términos de su categoría y su jurisdicción, es indispensable por dos razones.

- Es importante definir lo que se considera fuente fija y diferenciarla de una fuente de área, para evitar duplicidad de información.
- La oportuna identificación de la jurisdicción a la cual corresponde cada fuente fija de emisión orienta al desarrollador sobre los instrumentos a través de los cuales se puede obtener información de su actividad y sus emisiones.

Aun cuando no es posible distinguir de manera precisa las fuentes fijas de las fuentes de área, algunos criterios usados para separarlas se muestran en este capítulo. Así mismo, se presentan algunas recomendaciones para identificar la jurisdicción y las fuentes de información sobre establecimientos que generan emisiones a la atmósfera.



2.1 Criterios para la distinción entre fuente fija y fuente de área

Aun cuando existe cierta dificultad para diferenciar las fuentes fijas de las fuentes de área, es posible establecer una definición partiendo de que las fuentes fijas son establecimientos que se ubican en un único punto fijo en el espacio y generan emisiones a la atmósfera, en tanto que las fuentes de área se entienden como un conjunto de fuentes fijas, pero tan numerosas y dispersas que no pueden ser incluidas de manera efectiva en el inventario de fuentes fijas. Con el fin de aumentar la precisión del inventario, se podría considerar cada establecimiento como una fuente fija; sin embargo, eso demandaría demasiados recursos para integrarlo y actualizarlo.

La falta de claridad para distinguir entre fuentes fijas y fuentes de área puede llevar al desarrollador del inventario a generar duplicidad de información si es que considera involuntariamente alguna fuente tanto dentro de las fijas como de las

Figura 2.1 Método general para distinguir las fuentes fijas de las fuentes de área



Fuente: Elaboración propia, INE-SEMARNAT.

de área. Sin embargo, esta imprecisión puede solucionarse mediante el uso de elementos y herramientas básicas que orienten la elaboración del inventario y delimiten claramente lo que se considerará fuente fija y lo que se considerará fuente de área.

No es posible establecer un listado que delimite las fuentes fijas, pues cada inventario tiene necesidades específicas y objetivos particulares diferentes; sin embargo, una buena solución es identi-

ficarlas según su declaración de emisiones. Esto es, todas aquellas fuentes fijas que declaren sus emisiones mediante una cedula de operación anual (COA) se integran como fuente fija, y las que no, se integran como parte de las fuentes de área. Un ejemplo de esto es la subcategoría “combustión en sector industrial, comercial, doméstico y agrícola”, que incluye toda la combustión que no es declarada bajo formato COA.

A continuación se presenta una propuesta del método general para distinguir entre las fuentes fijas y las fuentes de área a partir de ciertos criterios que se pueden aplicar de manera general a todos los inventarios de emisiones de fuentes fijas.

El método mostrado en la figura 2.1 consta de cuatro pasos. En cada paso es necesario hacer ciertas consideraciones y se requiere de ciertos insumos que permitan tomar la decisión sobre la categorización de las fuentes, como se explica a continuación.

Marco legal aplicable

Como parte del paso 1, se recomienda revisar el marco legal aplicable; es decir, tener en cuenta las definiciones de fuente fija descritas en las leyes, los reglamentos y las normas vigentes y aplicables a la zona de estudio tanto de carácter federal como estatal y local (ver anexo 1). Se sugiere revisar las definiciones de fuentes fijas que se encuentran dentro de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) así como las leyes estatales ambientales correspondientes. Así, el Reglamento de la LGEEPA en materia de prevención y control de la

contaminación de la atmósfera define las fuentes fijas como “Es toda instalación establecida en un sólo lugar, que tenga como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales, comerciales, de servicios o actividades que generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera” (arts. 6, 11 y 17 bis del Reglamento de la LGEEPA en materia de prevención y control de la contaminación atmosférica). Así mismo, es aconsejable revisar con detalle los convenios existentes entre las autoridades federales y cualquier otra entidad legal que provea una definición u orientación de lo que es considerado fuente fija o estacionaria. De este modo se obtendrá como producto final un gran conjunto de establecimientos, tanto de jurisdicción federal como estatal y municipal, dedicados a diversas actividades industriales, comerciales y de servicios.

Agrupaciones

En el segundo paso se puede comenzar a delimitar grupos dentro de este gran conjunto de fuentes estacionarias. El criterio para delimitarlos está determinado por el giro o actividad de cada instalación o establecimiento y, como se ha descrito anteriormente, el SCIAN es un instrumento que permite clasificar los giros o actividades económicas para agruparlos. Sin embargo, dependiendo de las características del inventario y los recursos con que se cuente para su elaboración, la delimitación del tamaño de estos grupos puede ajustarse; por ejemplo, si existe un grupo de dos establecimientos, pero el área de cobertura del inventario es pequeña y se cuenta con la información y los recursos para estimar sus emisiones, se pueden considerar como dos fuentes fijas individuales.

En general, los establecimientos que forman parte de los grupos identificados se considerarán fuentes de área y, por lo tanto, dichos establecimientos serán excluidos del inventario de emisiones de fuentes fijas.

Identificación de casos especiales

Las actividades del paso 3 permiten identificar casos especiales de fuentes que por su tamaño y sus características deben ser tratadas como fuentes fijas individuales, no obstante que formen parte de un grupo de establecimientos del mismo giro, por ejemplo, el caso de una panificadora que sobresalga de las demás por su tamaño.

Algunos criterios útiles para identificar este tipo de fuentes son su capacidad instalada, su producción anual o sus emisiones anuales, el número de empleados que

laboran en ellas o, por ejemplo, en el caso de los hoteles, el número de habitaciones con que cuentan. Para realizar este ejercicio es necesario establecer puntos de corte que nos ayudarán a identificar las fuentes fijas. A continuación se presentan algunos ejemplos.

- En cuanto a la capacidad instalada de la fuente, se pueden considerar fuentes fijas las de un tipo y tamaño específico. Por ejemplo, se pueden considerar fuentes fijas los establecimientos que cuenten con calderas con entrada térmica mayor a 10 000 Btu/h (u otra entrada térmica que se ajuste a las necesidades del inventario); o bien se pueden considerar fuentes fijas los establecimientos sujetos a la NOM-085-SEMARNAT-1994, que pueden ser industrias, comercios y servicios, siempre y cuando los equipos y sistemas de combustión en lo individual, o la suma de varios, rebasen los 10 cc de capacidad nominal en cada instalación.
- Otra forma de diferenciar las fuentes fijas puede consistir en establecer un umbral de emisiones. Aunque no existe un acuerdo o recomendación sobre esto, los umbrales pueden establecerse conforme a las condiciones y necesidades del inventario. Por ejemplo, durante el desarrollo del INEM 1999 se utilizaron los siguientes umbrales para distinguir una fuente fija de una de área con base en emisiones anuales:

1.0 mg/año para NO_x, SO_x y COV

1.5 mg/año para PM₁₀

“Todos los establecimientos con emisiones iguales o mayores que cualquiera de estos umbrales se incluyeron en el inventario de fuentes fijas, el resto se contabilizó en la correspondiente categoría de fuente de área, por ejemplo, uso industrial de combustibles”. Estos umbrales o parámetros fueron seleccionados con base en el hecho de que aun cuando en México predominan las pequeñas y medianas empresas, sus emisiones pueden ser significativas. Así mismo, a través de la información que se recaba, tanto en la federación como en los estados, sobre la actividad de dichas fuentes, se hace posible la estimación de sus emisiones con el grado de detalle requerido para ser consideradas fuentes fijas (INECC-SEMARNAT, 2006).

- Respecto al tamaño del establecimiento, el número de empleados permite distinguirlos en micro, pequeños, medianos y grandes, dependiendo de si su actividad es industrial o de servicios. Los rangos de cada tamaño están contenidos en el cuadro 2.1.

Cuadro 2.1 Tamaño de establecimientos por número de empleados

No. empleados	Micro	Pequeña	Mediana	Grande
Industrial	1-10	10-100	100-250	+250
Servicios	1-10	10-50	50-100	+100

Fuente: SE, 2009

Como producto de este ejercicio se obtiene la identificación de casos especiales de fuentes que recibirán, para efectos de la elaboración del inventario, el trato de fuentes fijas individuales dentro de los grupos de fuentes del mismo giro.

Identificación de actividades o giros representativos

Finalmente, en el paso 4 se identifican los grupos de fuentes que tienen el mismo giro o actividad y en primera instancia podrían ser de área, pero que por su importancia en la zona de estudio se decide tratar como fuentes fijas. Aquí pueden incluirse giros que sean representativos de un área o región que esté comprendida dentro de la zona de estudio, como los hoteles en una ciudad con alta actividad turística. Así mismo, es el caso de giros de los cuales se sabe, o se sospecha, que constituyen una contribución importante a la problemática de la calidad del aire en la zona, por ejemplo, las ladrilleras. Una vez identificados estos giros se contará entonces, como producto final, con una clasificación general de establecimientos en fuentes fijas y fuentes de área, lo cual es indispensable para el desarrollo del inventario.

Datos sobre fuentes de emisión adicionales

Existen emisiones que se generan como producto de otras actividades llevadas a cabo dentro de las instalaciones de las fuentes fijas, y que son distintas de las emisiones de procesos principales y de combustión (Radian, 1996). Entre las actividades más importantes se encuentran:

- *Los procesos adicionales alimentados con combustible:* la mayoría de los procesos industriales de manufactura cuentan con equipo adicional alimentado con combustible y que, por tanto, genera emisiones. Por ejemplo, en la industria cementera se utilizan secadores de producto que, aun cuando no forman parte de los procesos primarios de producción, son equipos que forman parte de la instalación y operan con combustible.
- *El equipo de control:* para el control de emisiones se utiliza una gran variedad de equipos (ver sección 3.4.2.) basados en principios fisicoquímicos. Sin embargo, en algunos casos estos equipos pueden constituir una fuente adi-

cional de emisiones. Por ejemplo, cuando los equipos de reducción catalítica selectiva para control de NO_x vía reducción de NO por amoníaco funcionan bajo condiciones controladas de temperatura de entre 400 y 660 °C pueden reducir las emisiones de NO_x; sin embargo, cuando lo hacen por arriba de los 660 °C el amoníaco se oxida, y cuando lo hacen por debajo de 400 °C se forma nitrato de amonio; ambos subproductos son emitidos a la atmósfera directamente (Wark, 1998).

- *Aditivos utilizados en procesos o en el equipo de control:* cualquier químico que se agregue al proceso de producción o control tiene el potencial de ser emitido a la atmósfera. Tomando el ejemplo del apartado anterior, el amoníaco se consideraría un aditivo utilizado para el control de emisiones de NO_x. Además, existen otras sustancias utilizadas por los catalizadores que pueden generar emisiones adicionales a la atmósfera. Este tipo de emisiones pueden ser calculadas mediante pruebas en fuente, factores de emisión o técnicas de balance de materiales.
- *Componentes o procesos con emisiones fugitivas:* las emisiones fugitivas son consideradas como emisiones accidentales o pérdidas involuntarias. Este tipo de emisiones se pueden presentar en las industrias de aceite y gas, refinación de petróleo y distribución de productos del petróleo por fallas o imperfecciones en los sellos de diversos componentes del equipo, tales como bombas, válvulas, compresores, etc. Otras piezas que pueden presentar fugas son las tuberías abiertas y las conexiones de muestreo. Adicionalmente, otras emisiones fugitivas derivadas de procesos incluyen, entre otras, los vapores metalúrgicos producidos en operaciones de soldadura y herrería, las emisiones de partículas provenientes de operaciones metal-mecánicas y las emisiones de amoníaco provenientes de las actividades de la industria del papel y de la imprenta. Estas emisiones son de naturaleza intermitente y pueden variar en intensidad a lo largo del tiempo; por ello, su estimación no es un proceso trivial. De acuerdo con la EPA, dicha estimación se puede realizar utilizando técnicas de factores de emisión promedio o de factores de emisión por rango (factores de emisión para valores monitoreados menores a 10 000 ppmv y mayores a 10 000 ppmv), o bien técnicas de correlación (ecuación que determina la tasa de emisión de masa en kg/h como una función de un valor monitoreado en ppmv) (US EPA, 1995).
- *Uso misceláneo de solventes:* en la industria, los solventes son frecuentemente utilizados como agentes limpiadores. La limpieza de piezas puede realizarse mediante su inmersión en algún solvente, como en el caso de las tinas de

lavado, o bien puede aplicárseles el solvente con ayuda de una brocha o un trapo. Las emisiones ocurren cuando los solventes se evaporan y pueden ser cuantificadas mediante la técnica del balance de masa.

- *Uso de vehículos en sitio:* como parte de las actividades que se llevan a cabo dentro de las instalaciones de grandes y medianas empresas, es común el uso de vehículos para el transporte del personal y el uso de vehículos o montacargas para el traslado de materias primas, productos intermedios y terminados.
- *Almacenamiento y manejo de materiales:* en las instalaciones industriales es común encontrar material que genera emisiones de partículas si no se encuentra adecuadamente cubierto durante su almacenado o al ser trasladado de un lugar a otro. Algunos ejemplos de esto son el carbón en las plantas de generación eléctrica, las rocas en plantas de producción de asfalto o concreto, y otros materiales almacenados en bultos. Estas emisiones pueden ser estimadas aplicando factores o modelos de emisión.

Este tipo de emisiones generalmente se consideran cuando se realiza el inventario de emisiones de fuentes fijas. En caso de contar con información desagregada y de buena calidad, se pueden reportar las emisiones adicionales por rubro específico; en caso de no tener datos específicos, pueden reportarse bajo el rubro general de “servicios”. En cualquier caso, es importante señalar en el reporte final la decisión que se tome respecto al manejo de las emisiones provenientes de actividades adicionales.

2.2 Actividades de aseguramiento y control de la calidad

Respecto a la delimitación de las fuentes fijas, es indispensable realizar algunas actividades destinadas a identificar errores u omisiones que puedan propagarse en otras etapas del desarrollo del inventario. Entre estas se sugiere:

- Asegurarse de que los sectores industriales relevantes en la región se incluyan como fuentes fijas. Por ejemplo, se pueden identificar aquellos giros industriales que son de jurisdicción federal y que por lo regular pertenecen a los sectores que contribuyen con grandes volúmenes de emisiones.
- Analizar si alguno de los sectores que se han designado fuentes de área, por su relevancia o contribución a la contaminación atmosférica de la región, debería considerarse fuente fija. Por ejemplo, regularmente los hoteles se consideran fuentes de área, pero en lugares en donde la actividad económica predominante es el turismo, los hoteles pueden considerarse fuentes fijas en función de la

información disponible de cada establecimiento.

- Identificar aquellos sectores que no tengan una autoridad responsable o encargada de dar seguimiento a su registro, actividades y entrega de reportes, con el fin de implementar actividades de seguimiento para obtener esta información de forma ágil y oportuna; por ejemplo, se recomienda hacer inspecciones y encuestas a este tipo de sectores.
- Cotejar el consumo de combustible total reportado en el estado o región de estudio con el consumo de combustible estimado para las fuentes fijas; este último debe ser menor en magnitud, pues de lo contrario existen errores en los datos de consumo de las fuentes fijas.
- Verificar que el consumo de combustible de las fuentes fijas más el de las fuentes de área sea aproximadamente igual al consumo total reportado en la región de estudio. Esta conciliación se aplica para diferentes tipos de combustibles; por ejemplo, en el INEM 1999 se utilizó para destilados, residuales, gas natural, gas licuado de petróleo (gas LP) y queroseno (petróleo diáfano) y se limitó a los establecimientos industriales. Con base en ello, se hicieron los ajustes en los datos de las fuentes de área, los que quedaron claramente señalados en los apéndices del inventario (INECC-SEMARNAT, 2006). Por otra parte, se puede cotejar el consumo de combustible estimado con el reportado por la Secretaría de Energía de México.

Recopilación de información

Este capítulo se enfoca en describir la información requerida para la realización del inventario y las fuentes de información más comunes en México. Así mismo, se aborda la estrategia para recopilar la información de modo que los recursos humanos y financieros que se inviertan en esta tarea sean lo más eficientes posibles.

3.1 Información requerida

Para efectos de la gestión de la calidad del aire, el inventario de emisiones de fuentes fijas debe realizarse con el mayor grado de detalle posible de la información para estimar las emisiones de acuerdo con el enfoque del inventario y con su propósito (ver capítulo 1). Para tal fin se recomienda recopilar la información que se detalla en el cuadro 3.1 en el siguiente orden secuencial:

1. Identificar las emisiones conducidas y las no conducidas (de acuerdo con la sección 1.3).
2. Recabar la información de los procesos de combustión.
3. Recopilar la información de los procesos que no son de combustión y de las fuentes fugitivas.

Probablemente la recolección de los datos de los procesos que no son de combustión y de las fuentes fugitivas sea la que requiera de mayor esfuerzo; sin embargo, es importante enfocar los esfuerzos en los procesos que por su naturaleza aporten las mayores cantidades de contaminantes al aire, como son los procesos de combustión. Como se observa en el cuadro 3.1, tanto para un inventario con fines de gestión de la calidad del aire como para uno de modelación se requiere recopilar la mayor cantidad de datos y de información del establecimiento; mientras más información esté disponible, el inventario de emisiones será más preciso y se podrán tomar decisiones con una mayor certidumbre.



Cuadro 3.1 Información requerida de acuerdo con el propósito

Enfoque		De abajo hacia arriba		
Propósito		Gestión de la calidad del aire		Para aplicar modelos de la calidad del aire
Tipos de emisiones		Emisiones conducidas	Emisiones no conducidas	Emisiones conducidas
Procesos		Combustión y no combustión	No combustión y fugitivas	
Tipo de información	Insumos requeridos			
Datos de identificación	Nombre o razón social	*	*	*
	Domicilio	*	*	*
	Clave de identificación	*	*	*
Datos de operación	Giro o sector	*	*	*(M)
	Actividad (horas al día/días del año que opera el equipo)	*	*	*
	Consumos de combustible(s)	*	*	*
Datos de chimenea y emisiones	Número de chimeneas	*		*
	Localización de cada chimenea	*		*
	Altura de cada chimenea	*		*
	Diámetro de cada chimenea	*		*
	Velocidad de salida del gas	*		*
	Temperatura de salida del gas	*		*
	Flujo volumétrico de salida del gas	*		*
	Concentración del contaminante	*		*
	Características del(os) combustible(s)	*		*
	Características del equipo de combustión (diseño/capacidad/edad)	*		*
	Propiedades de las materia(s) prima(s)	*(A)	*(A)	
	Prácticas de operación	*(A)	*(A)	*(A)
	Eficiencia del equipo de control	*		*
	Datos meteorológicos y climatológicos	*	*	*
	Información sobre procesos	*	*	*
	Emisiones que provienen del equipo de control	*		*
	Uso de aditivos	*		*(P)
	Emisiones fugitivas	*	*	*
	Uso de solventes	*	*	*
	Uso de vehículos en sitio	*	*	*(P)
	Almacenamiento y manejo de materiales	*	*	*(P)

* Dato indispensable para el cálculo del inventario

*(A) Dato adicional para mejorar la caracterización de la fuente y sus emisiones

*(M) Para el caso de modelación se requiere documentar el giro con el sistema SCC, además del SCIAN

*(P) En el caso de que la instalación se modelara como un solo punto geográfico

Fuente: elaboración propia, INECC-SEMARNAT

Existen elementos básicos que deben ser recopilados para cualquier tipo de inventario con enfoque abajo-arriba:

- Nombre o razón social.
- Ubicación geográfica que señale estado, municipio, colonia, calle, número y código postal, así como sus datos de latitud y longitud o coordenadas UTM.
- Identificación con clave única, que puede ser la que asigna la autoridad correspondiente, o bien una generada expresamente para fines del inventario (ver sección 1.9).
- Giro o actividad principal a la cual se dedica el establecimiento, que puede codificarse de acuerdo con el sistema SCIAN (ver sección 1.9).
- Actividad u operación, en términos de las horas por día, semana, mes y año de funcionamiento de los equipos.
- Consumos de combustible, de cualquier tipo.

Adicionalmente, es importante documentar otros datos que permiten mejorar la estimación y reducir la incertidumbre del inventario:

- Características de cada tipo de combustible utilizado.
- Características del equipo, en términos de su antigüedad, mantenimiento, etc.
- Propiedades de las materias primas.
- Prácticas de operación, ya que, independientemente del tipo y del estado del equipo, algunas prácticas pueden influir en la cantidad de emisiones generadas.

En lo que se refiere a los procesos u operaciones unitarias que operan en la planta/establecimiento que conduzcan o no sus emisiones, es importante conocer, entre otros:

- A. La identificación y la información de cada proceso y de los productos finales.
- B. Los datos sobre cada nivel del proceso (insumos, corrientes de proceso y características de los productos).
- C. La identificación del equipo de control de la contaminación del aire y su grado de eficiencia de captura y eficiencia de control asociado (medido o especificado por diseño).
- D. Los datos sobre el uso de aditivos en cualquier etapa del proceso o procesos.
- E. La información sobre emisiones fugitivas que puedan existir en cualquier etapa del proceso principal o los procesos asociados.
- F. Los datos sobre el uso de solventes en cualquier etapa del proceso o procesos.
- G. Referencias sobre el uso de vehículos en el sitio, ya sea para transportación de personal o de materiales.

H. Identificación del método de almacenamiento y manejo de los diversos materiales y productos que se encuentren dentro de la instalación.

Para el caso de inventarios para modelación, es indispensable documentar todas las características y los parámetros de cada punto de emisión para alimentar modelos de la calidad del aire. Entre los principales parámetros de los puntos de emisión se consideran los siguientes:

- Localización (latitud y longitud o coordenadas UTM)
- Altura del punto de emisión
- Diámetro del punto de emisión
- Temperatura de salida de los gases
- Velocidad de salida de los gases
- Tasa de flujo volumétrico en el punto de emisión
- Concentración de contaminantes

Existen también algunos datos que es importante recopilar, sobre todo cuando se elabora un inventario de emisiones para fines de modelación:

- Datos meteorológicos y climatológicos

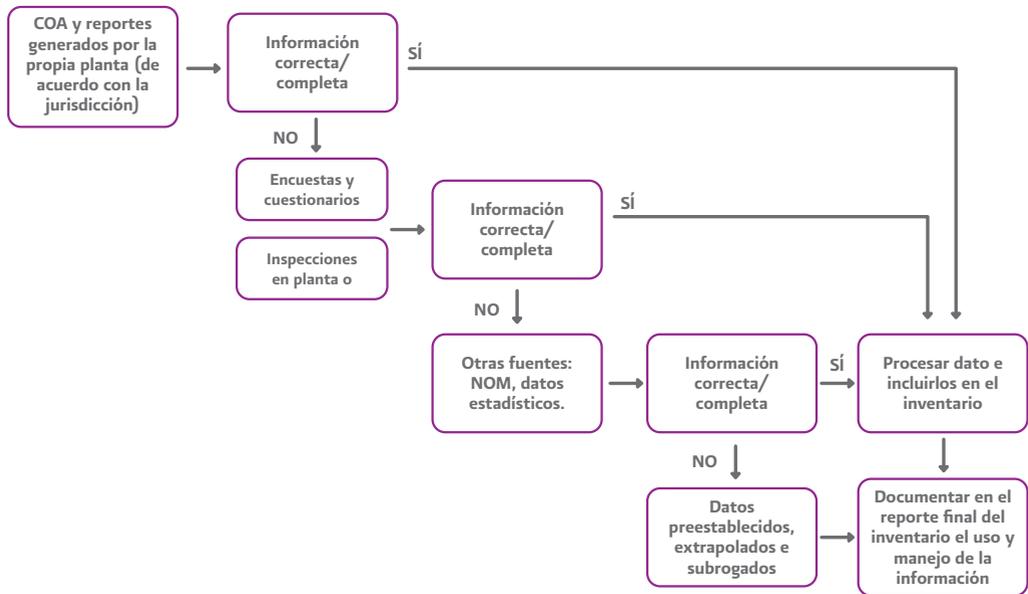
Algunas recomendaciones sobre posibles fuentes de información y formas de documentación de estos parámetros se detallan en la sección 3.2.5.

Para efectos de inventarios de emisiones, es recomendable recopilar y administrar por separado la información de los procesos con emisiones conducidas y de procesos con emisiones no conducidas. Algunas recomendaciones sobre posibles fuentes de información y formas de documentación de estos datos se detallan en la sección 3.5.

3.2 Fuentes de información general

Con el fin de reducir la incertidumbre en el inventario, es recomendable seguir la secuencia antes descrita para recabar la información. Siempre es importante documentar en el reporte final lo que el desarrollador del inventario haya decidido hacer respecto a las fuentes de información y los casos donde haya detectado datos faltantes (ver figura 3.1).

Figura 3.1 Procedimiento de revisión de la información sobre fuentes fijas



Los datos requeridos para el desarrollo del inventario de emisiones de fuentes fijas pueden ser localizados en primera instancia a través de la información generada por el establecimiento, como los formatos de reporte o COA que generan los propios establecimientos y entregan a la autoridad correspondiente según su jurisdicción (ver anexo 2). El cuadro 3.2 proporciona una guía general para la búsqueda de este tipo de información, recopilada por las autoridades ambientales.

Sin embargo, al haber diferencias entre los formatos de reporte o COA federales y los usados por las entidades, y al no ser un instrumento utilizado de manera homogénea y consistente en algunas regiones, existe todavía un cierto grado de vacío o error en el llenado de dichos formatos de reporte, especialmente a nivel estatal y local. Por ello, en caso de que falte algún dato o se detecte alguna inconsistencia, es posible buscar los datos a través de las memorias de cálculo y los reportes de cumplimiento de diversas NOM que, al igual que la COA, entregan los establecimientos a las autoridades correspondientes. Estos pueden incluir los diagramas de procesos e instrumentos (DPI), documentos que detallan mediante un diagrama de flujo el proceso productivo de la fuente fija, y contienen balances de materia o energía en los diagramas de tubería e instrumentación (DTI), los que también pueden proveer información sobre los procesos de la instalación.

Cuadro 3.2 Fuentes fijas: jurisdicción, fuente de información y fundamento legal

Tipo de fuente	Categorías	Informe o reporte de la fuente	Jurisdicción/entidad responsable de recopilar datos de emisiones	Ley o reglamento vigente
Fuentes fijas	1. Petróleo y petroquímica 2. Química 3. Pinturas y tintas 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	COA federal	Federal: SEMARNAT	LGEEPA, art. 11-bis RPCCA RRETC
	Establecimientos industriales en zonas federales, empresas paraestatales o que afectan a otros estados/países			Federal: SEMARNAT, SENER, PEMEX, CFE
		Establecimientos industriales no incluidos en las 11 categorías o sectores anteriores	COA estatal	Estatal/Secretaría de Medio Ambiente o Ecología del gobierno del estado
Fuentes fijas o fuentes de área	Establecimientos comerciales y de servicios	I/M y otros	Estatal, municipal/Secretaría de Medio Ambiente o Ecología del gobierno del estado o municipio	LGEEPA, art. 7, 8 y 11.2. Legislación y reglamentos estatales y municipales

Fuente: INE-SEMARNAT, 2005

COA-Cédula de operación anual

LGEEPA-Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente

RPCCA-Reglamento de la LGEEPA en material de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica

RRETC- Reglamento de la LGEEPA en material de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes

I/M-Procedimiento de inspección y mantenimiento

Así mismo, de no encontrarse toda la información necesaria sobre la caracterización de la fuente y su actividad en estas herramientas, se puede recurrir a otros mecanismos directos, tales como el contacto con las propias instalaciones o establecimientos a través de encuestas y cuestionarios e inspecciones en planta.

En caso de que no se localice el dato faltante en ninguna fuente de información local, esta información puede complementarse con datos obtenidos de la NOM, documentos históricos y estadísticas de entidades como SENER, CFE, PEMEX, etc., e incluso de la página de Internet del propio establecimiento. En casos extre-

mos, es posible también utilizar datos extrapolados o sustituir datos de fuentes ya reportadas.

A continuación se abordan algunas de estas fuentes de información generales, y se señalan sus principales características y el tipo de información que puede obtenerse en cada una.

Cédula de operación anual (COA)

Como se explicó en el capítulo anterior, la COA es la herramienta con la que la autoridad federal, estatal o municipal recolecta información acerca de las emisiones al ambiente de los establecimientos industriales, comerciales y de servicios. Las COA son el primer recurso donde se puede buscar la información para elaborar el inventario, ya que se asume que en ellas se puede encontrar toda la información necesaria para realizar la estimación.

En la COA están disponibles los datos generales de los establecimientos, tales como el nombre o razón social, la clave de identificación única que maneja la autoridad ambiental encargada de recibir el reporte, así como el giro o actividad principal al cual se dedica la instalación. Estos datos son indispensables para ir caracterizando el establecimiento y, al igual que toda la demás información que se recabe, deben ser capturados en la base de datos que se haya generado para recopilar la información (ver anexo 3).

Además, como parte de los datos de registro, también se encuentra disponible la información sobre la ubicación del establecimiento, tanto el domicilio (estado, ciudad, calle, número, etc.), como los datos de coordenadas del sitio donde se ubica la instalación. Así mismo, se pueden obtener datos de orientación sobre su tamaño con base en el número de empleados.

Respecto a la información sobre procesos y actividades adicionales, en la COA se señala el tipo de equipos utilizados, si consumen combustible y si generan emisiones al aire. También se señalan los insumos para cada etapa del proceso, sus cantidades y forma de almacenamiento.

Otros datos indispensables para realizar la estimación de emisiones de fuentes fijas y que se pueden encontrar en la COA son la cantidad y el tipo de combustible utilizado. Esta información viene desglosada por un lado por áreas de consumo,

y por otro lado por procesos productivos y servicios auxiliares, lo cual facilita la identificación del uso de combustible tanto para el caso de un inventario a nivel de chimenea como para el caso de un inventario a nivel de planta.

Cuando se realiza el inventario de emisiones de fuentes fijas para fines de modelación, como ya se ha dicho, es necesario conocer, además de las características de los equipos o actividades emisoras, las características y los parámetros básicos de cada uno de los puntos de emisión o chimeneas. En la COA pueden encontrarse ambas piezas de información.

Finalmente, en la misma COA es posible encontrar información sobre el equipo de control de emisiones utilizado y su eficiencia, así como datos propiamente sobre las emisiones del establecimiento. En este caso, estos datos sobre emisiones corresponden al dato reportado (Dr), que será necesario contrastar con el dato estimado (De) por el desarrollador del inventario con base en toda la información recopilada sobre el establecimiento inventariado.

Reportes de cumplimiento de normas para obtener información

Como se ha dicho, en caso de que la COA esté incompleta o que alguno de los datos contenidos en ella no sean correctos, es posible localizar la información en las memorias de cálculo y los reportes de cumplimiento de las normas oficiales mexicanas, tales como la NOM-085-SEMARNAT-1994 *para fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos o cualquiera de sus combinaciones, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno y los requisitos y condiciones para la operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión, así como los niveles máximos permisibles de emisión de bióxido de azufre en los equipos de calentamiento directo por combustión* y la NOM-043-SEMARNAT-1993, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas.

En estos reportes de cumplimiento de las normas oficiales mexicanas es posible encontrar también datos generales sobre el establecimiento, como el nombre y la ubicación, así como datos específicos, como el tipo de combustible que consume, los equipos con los que cuenta, los puntos de emisión, e incluso sobre sus emisiones. En este caso, al igual que cuando se toman datos de una COA, es necesario prestar atención a las condiciones en que se realizó la prueba, los ajustes que se

realizaron para proveer un dato de emisión y las unidades que se manejan en los reportes. En las secciones 3.5 y 4.5 se mencionan más actividades de aseguramiento y control de la calidad que permitirán descartar errores al usar estos documentos.

Encuestas y cuestionarios

La encuesta es una herramienta que está enfocada a averiguar información que por algún motivo no fue incluida en la COA o en el reporte correspondiente. Su diseño debe ser claro y estar enfocado a indagar información específica de la fuente fija en los casos donde falte información o esta sea imprecisa. Sin embargo, esta herramienta también es útil en el caso de las fuentes de área, y se usa frecuentemente en una muestra de los establecimientos para familiarizarse con estas fuentes y su giro o actividad. La encuesta es muy útil si los recursos para el desarrollo del inventario son limitados y no permiten hacer una inspección en planta para cada fuente.

El proceso de encuesta consta de varios pasos que deben seguirse para lograr el objetivo, y puede implementarse de manera personal o a distancia, y de manera escrita o verbal. En cualquier caso, los pasos a seguir serían (INECC-SEMARNAT, 2005):

- Elaborar un cuestionario que guíe claramente la entrevista con el fin de obtener la información deseada.
- Establecer contacto con la planta para informarle acerca del proceso de elaboración del inventario y sobre la encuesta que se pretende realizar.
- Identificar dentro de la planta a la persona que tenga la capacidad de proporcionar la información que se está buscando.
- Acordar un horario adecuado para realizar la encuesta, en caso de que sea personal, o bien enviar el cuestionario al receptor.
- Hacer una segunda llamada para entrevistar al receptor acerca de las preguntas de la encuesta.

Los cuestionarios tienen como objetivo guiar la participación del encuestado para lograr obtener la información que se está buscando, por lo que se considera que el cuestionario complementa la encuesta. El cuestionario debe diseñarse y aplicarse de manera simple y objetiva, e incluir preguntas apropiadas que contribuyan a obtener la información requerida. Es necesario que las preguntas incluidas en el cuestionario se expliquen por sí mismas y que sean fáciles de entender por la per-

sona que deberá responderlas, mediante el uso de terminología que sea familiar para quien recibe el cuestionario. Así mismo, es recomendable que el cuestionario sea tan corto como sea posible, ya que los cuestionarios muy largos pueden resultar intimidantes y aburridos; sin embargo, se debe solicitar toda la información necesaria para evitar peticiones adicionales de información.

Inspección en planta

La inspección en planta es la vía más eficaz para obtener información de primera mano sobre una planta o instalación. Esta vía para obtener información es muy útil cuando el inventario se realiza por primera vez, ya que permite recabar información específica, como los puntos de referencia geográfica del establecimiento o los datos sobre diversos parámetros de las chimeneas. También por inspección directa es posible verificar y asentar el número de procesos y el número de puntos de emisión en el sitio; adicionalmente, permite la identificación de contactos en el establecimiento para el intercambio de información. Sin embargo, la inspección en planta está restringida a la capacidad de recursos con los que se cuenta para desarrollar el inventario y al número de fuentes a incluir en el inventario de emisiones. En algunos casos, se pueden realizar inspecciones en planta solo en las instalaciones donde sea necesario, ya sea porque falte alguna información o porque sea necesario verificar los datos con los que se cuenta.

Otras fuentes de información

En algunos casos existen alternativas para obtener diversas piezas de información necesarias para la elaboración del inventario de emisiones. Entre estas alternativas se sugieren las siguientes:

- Normas oficiales mexicanas (NOM). Se puede recurrir al uso de NOM para obtener datos que permitan estimar las emisiones. Por ejemplo, en el caso de que no se tenga información específica sobre las características del combustible, se utiliza como referencia la NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005, que establece dichas características, y se da por hecho que corresponden a las de la planta en cuestión.
- Datos históricos. En el caso de requerir información sobre el uso de combustibles, es posible recurrir a los datos históricos de venta de combustible de PEMEX; otras fuentes de datos históricos pueden ser los registros de la paraestatal o el inventario nacional de plantas generadoras de electricidad de SENER, entre otros. Sin embargo, es importante resaltar que cuando se recurre a una autoridad o entidad para solicitar información, debe planearse el contacto explicando

clara y detalladamente lo que es el inventario de emisiones de fuentes fijas, el proceso para elaborarlo y su utilidad. Esto tiene como finalidad sensibilizar al receptor de la solicitud y procurar que se sume al esfuerzo de desarrollo del inventario proveyendo la información necesaria.

- Extrapolación de datos. Cuando es imposible conseguir información local respecto a la fuente de emisión o se desea hacer una estimación general como aproximación al inventario de emisiones de fuentes fijas, es posible utilizar datos extrapolados. La extrapolación puede consistir en la utilización de datos que fueron generados para fuentes de emisión o procesos similares al cual se estudia, o bien en la utilización de datos generados para la misma fuente de emisión, pero en un lugar con condiciones similares a las locales.

3.3 Documentación de parámetros de chimenea

Los datos de las chimeneas, también denominadas puntos de emisión, respiraderos, tubos u otras aberturas que liberen contaminantes a la atmósfera (Wark y Warner, 1998), deberán ser documentados con detalle en caso de tratarse de un inventario para fines de modelación. En secciones anteriores se han listado los parámetros que es indispensable documentar, y se ha mencionado también que esta información puede obtenerse de documentos y reportes generados directamente por el establecimiento en cuestión, tales como la COA o los reportes de cumplimiento de normas. Sin embargo, en los casos en que esta información no se encuentre en estos reportes o contenga algún error evidente, es necesario intentar obtenerla directamente. A continuación se proponen algunas formas básicas para documentar los parámetros de las chimeneas.

Localización de la chimenea

Toda chimenea debe ser identificada y georreferenciada mediante el uso de coordenadas geográficas, como la latitud y la longitud. Para ello, se puede recurrir al uso de sistemas de posicionamiento global (GPS), o bien al uso de mapas topográficos o de proyecciones utm, o bien se puede recurrir a sistemas de mapas por Internet.

Los sistemas de posicionamiento global o GPS, por sus siglas en inglés, son sistemas de navegación satelital que permiten determinar la posición de un objeto o una persona con una precisión típica de metros o, usando un GPS diferencial,

hasta de centímetros. El Sistema Global de Navegación por Satélite se compone de un sistema de satélites y de estaciones terrestres, así como de terminales receptoras, que son los aparatos que indican la posición del objeto deseado. Estas terminales son generalmente conocidas como unidades GPS y pueden ser adquiridas en tiendas especializadas. Los GPS son ampliamente usados como ayuda a la navegación mundial, y son una herramienta útil para trazar mapas, evaluar y trazar terrenos, para usos comerciales y científicos, así como para rastreo y vigilancia (Letham, 2001).

De no contar con sistemas GPS para determinar la ubicación de las chimeneas, es posible recurrir al uso de mapas topográficos o mapas que utilizan la proyección UTM y que son realizados por organizaciones como el INEGI u otras. Sin embargo, el uso de mapas para localizar chimeneas es poco preciso (Radian, 1996).

Actualmente es posible también tener acceso a mapas georreferenciados a través de Internet que permiten ubicar objetos y definir su latitud y longitud; por ejemplo, el programa Google Earth ofrece al usuario la posibilidad de obtener las coordenadas geográficas de cualquier ubicación en el mundo a través de imágenes de satélite, mapas y el motor de búsqueda de Google. Sin embargo, la precisión depende de la resolución de los mapas disponibles.

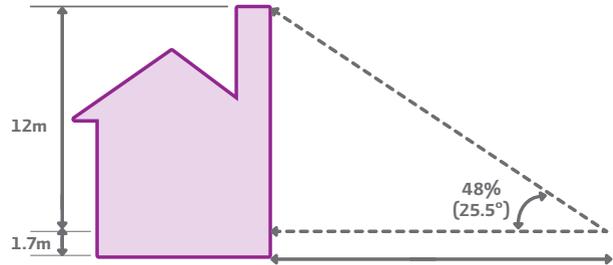
Altura de la chimenea

La altura de la chimenea se considera la distancia desde el suelo hasta la boca de salida de los humos de la chimenea. A continuación se describen brevemente tres métodos para determinar la altura de una chimenea.

- El clinómetro. Es un aparato sencillo que se utiliza para medir alturas por medio de una medición indirecta del ángulo entre una base (la altura del ojo del sujeto que sostiene el clinómetro) y la parte más alta del objetivo (Alcántara, 1990). Como se muestra en la figura 3.2, la respuesta del clinómetro es un porcentaje, que se divide entre 100 y se multiplica por la distancia entre el clinómetro y el objetivo ($48 / 100 \times 25 = 12$), se suma la altura de la base (1.7 m) y da el total de la altura de la chimenea (13.7 m). El nivel de precisión de este tipo de mediciones variará de acuerdo con la exactitud de la medición de la base y la precisión del clinómetro (Radian, 1996).
- Medición directa. Si las condiciones lo permiten, y la chimenea no es muy alta, la medición de la altura puede hacerse usando un flexómetro o una cinta métrica flexible.

- Planos arquitectónicos o ingenieriles. Si existen estos planos del edificio, de ese documento se pueden tomar datos sobre la altura de la chimenea; sin embargo, es recomendable verificarlos con alguna de las dos técnicas anteriormente mencionadas (Radian, 1996).

Figura 3.2 Uso del clinómetro para determinar la altura de una chimenea



Diámetro de la chimenea

La forma y el tamaño de una chimenea son parámetros que determinan el tiro o salida de contaminantes a la atmósfera. Para tener una menor fricción con las paredes de la chimenea y evitar estancamiento de material, generalmente las chimeneas son cilíndricas, aunque existen algunas que son rectangulares. Para el caso de una chimenea o respiradero rectangular, se calcula el área de salida midiendo los dos lados desiguales y multiplicándolos; el diámetro de una chimenea cilíndrica se puede determinar con base en una medición directa, utilizando planos o esquemas para obtener sus dimensiones, o bien, si se cuenta con el área de salida de la chimenea, según la siguiente ecuación:

$$d = 2 \times (A/p)^{1/2}$$

Donde:

d es el diámetro de la chimenea

A es el área de salida de la chimenea

Temperatura de salida de los gases

La temperatura de los gases a la salida de la chimenea debe medirse debido a que esta, aunada a la altura de la chimenea, determinará la dispersión de los contaminantes en la atmósfera. Así mismo, otros factores que intervienen en esta dispersión son la naturaleza fisicoquímica del efluente, las características meteorológicas de la zona, la ubicación de la chimenea respecto a las obstrucciones del viento y la naturaleza del terreno que rodea la chimenea. Es necesario medir la temperatura del gas saliente de una chimenea justo en el punto de salida, ya que, si la chimenea es muy alta, los gases tienden a enfriarse conforme suben hasta el orificio de salida.

Velocidad de salida de los gases

La velocidad de salida de los gases se calcula usualmente considerando el diámetro de la chimenea y la tasa de flujo volumétrico, tal como se muestra a continuación:

Tasa de flujo volumétrico

$$\text{Velocidad de salida (m/s)} = \frac{\text{Tasa de flujo (m}^3\text{/s)}}{\text{área de la chimenea (m}^2\text{)}}$$

La tasa de flujo volumétrico es el volumen de gases que salen de la chimenea, o punto de emisión, por unidad de tiempo (expresado en m³/s). La tasa de flujo volumétrico puede medirse con pruebas directamente en la fuente, o bien puede derivarse del producto de la velocidad de salida del gas y el área de la chimenea; por tanto, la tasa se puede ver afectada por las mediciones de estos parámetros. Si hay algún error en alguna de estas dos mediciones, habrá también un error en la estimación de la tasa de flujo volumétrico. Esto es importante, ya que este parámetro se utiliza directamente para la estimación de emisiones de contaminantes.

3.4 Elementos que afectan a las emisiones

Previamente a la selección de la técnica de estimación, tema que será considerado con detalle en el siguiente capítulo, es importante tomar en cuenta algunas consideraciones generales o elementos que pueden afectar o alterar las emisiones de las fuentes fijas. Para ello, es necesario recopilar datos e información adicional sobre elementos como:

- Diseño, procesos y ubicación de la planta
- Uso y eficiencia del equipo de control de emisiones

Datos sobre diseño, procesos y ubicación

Las emisiones generadas por las fuentes fijas pueden variar entre diferentes plantas o instalaciones, aun cuando sean del mismo giro y tamaño. Así mismo, las emisiones pueden variar entre dos instalaciones idénticas que se encuentren ubicadas en diferentes regiones. Estas diferencias pueden deberse a variaciones en las características de la combustión o de las materias primas, a variaciones en la operación o edad de los equipos, así como a variaciones meteorológicas y climatológicas.

Las características de la combustión son importantes debido a que, por un lado, la combustión completa genera agua (H_2O) y bióxido de carbono (CO_2) como productos de la reacción, mientras que una combustión incompleta genera diversos compuestos químicos, como hidrocarburos parcialmente oxidados (aldehídos, cetonas, ácidos orgánicos, etc.), material particulado, monóxido de carbono, dióxido de azufre, trióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, entre otros. La generación de estos productos contaminantes es fuertemente influida, entre otros factores, por las propiedades del combustible y por las características de la caldera.

- *Las propiedades de los combustibles* afectan el nivel de emisiones al momento de la combustión. Un análisis de la composición del combustible indica la calidad de este; puede ser un análisis *aproximado* que indica el contenido de humedad y de cenizas, o bien un análisis *último* que indica el contenido de carbón, hidrógeno, azufre, oxígeno, nitrógeno y agua en el combustible. Estos tipos de análisis se pueden utilizar, por ejemplo, para generar información sobre el porcentaje de conversión de azufre en óxidos de azufre, para proyectar así las emisiones de dicho contaminante (Radian, 1996).
- *Las características de diseño de la caldera* afectan la formación de NOx porque su configuración le confiere variaciones en la temperatura y en la relación aire/combustible. La formación de NOx puede derivar de dos mecanismos: 1) la conversión del contenido de nitrógeno en el combustible y 2) la oxidación del nitrógeno molecular presente en la mezcla aire/combustión, referido como formación térmica del NOx por ser altamente dependiente de la temperatura: si esta excede los 1649 °C, la producción de NOx se incrementa y, al contrario, si la temperatura de operación es menor, también lo es la producción térmica de NOx. Así, las características de la caldera pueden repercutir en la cantidad de NOx generada; por ejemplo, en una caldera de llama tangencial las emisiones de NOx son menores que en las unidades horizontales. Además, algunas otras características útiles para mejorar la combustión y reducir las emisiones de NOx en calderas son la combustión por etapas, la combustión subestequiométrica, la recirculación de gases y los quemadores de bajo NOx con sistemas de aire “sobrefuego” (OFA, por sus siglas en inglés). Estas modificaciones en la combustión pueden generar reducciones de NOx de entre 5 y 50 por ciento (Theodore et al., 1988 y Radian, 1996).
- *Las propiedades físicas y químicas de las materias primas* empleadas en el proceso de combustión de una fuente puntual también tienen influencia directa sobre la emisión de contaminantes. La composición química de un material determina de alguna manera las emisiones derivadas de su combustión; por

ejemplo, la información sobre el contenido de compuestos orgánicos volátiles (COV) en un material para recubrimiento de superficies puede ser utilizada para estimar las emisiones derivadas de una operación con dicho material. Además, el origen de la materia prima también introduce variaciones, ya sea incluso por haberse adquirido de un lote de producción o proveedor diferente, o simplemente por tratarse de un material de origen nacional en oposición a uno importado.

- *Las prácticas de operación*, los estándares de producción y las tecnologías aplicadas en un proceso pueden marcar una importante diferencia en los niveles de emisión. Si una planta desarrolla un mismo proceso automáticamente mientras que otra lo realiza manualmente, la primera emitirá menos contaminantes debido a la estandarización del proceso. Por ejemplo, un equipo automatizado para recubrimiento de superficies normalmente aplica una capa de recubrimiento más delgada y homogénea que cuando se usa un equipo manual. Así mismo, se sabe que muchas de las tecnologías estándares de producción y prácticas de operación de las maquiladoras, por ejemplo, son importadas y reflejan prácticas industriales extranjeras. En general, las plantas industriales extranjeras están automatizadas, mientras que la industria mexicana tradicional tiende a aplicar procesos manuales en mayor medida y, con frecuencia, está basada en aspectos artesanales (Radian, 1996).
- *La edad del equipo*, puede influir también en la estimación de las emisiones de dos maneras. Por un lado, los equipos más modernos tienden a aplicar tecnologías diseñadas para reducir las emisiones; por ejemplo, los *desgrasadores* de vapor para bajas emisiones usan tecnologías de aspirado total y cámaras de remoción de grasa totalmente selladas, que reducen las emisiones de manera significativa en comparación con los removedores convencionales, que incluso pueden contribuir con emisiones fugitivas. Por otro lado, es necesario considerar la edad del equipo al seleccionar un factor de emisión para una fuente específica; para que el factor de emisión sea aplicable, la edad del equipo examinado debe ser similar a la edad del equipo con el que se desarrolló el factor. En México, las grandes instalaciones manufactureras han implementado procesos de producción limpios y competitivos que usan equipo moderno, mientras que la pequeña industria opera con equipo y tecnología más antiguos, lo que ubica a estas instalaciones como grandes consumidoras de energía y contaminadoras potenciales (Radian, 1996).
- *Los datos meteorológicos y climatológicos* generalmente se documentan como información adicional para estimar las emisiones de ciertas fuentes; por

ejemplo, para el caso de los tanques de almacenamiento es necesario documentar parámetros como temperatura ambiental y velocidad del viento (Radian, 1996). Sin embargo, este tipo de emisiones no se documentan para un inventario a nivel de chimenea o combustión, sino únicamente cuando se hace una estimación a nivel de planta; es decir, cuando se pretende contabilizar las emisiones provenientes de todas las actividades de la planta o instalación.

Información sobre el equipo de control de emisiones

Dentro del ciclo de operaciones de una industria, es común que se instalen equipos de control de emisiones. Aun cuando estos equipos tienen una efectividad que está determinada por su diseño, su antigüedad y otros factores, este impacto debe ser considerado al realizar el cálculo de emisiones.

El control de las partículas se realiza principalmente por medio de procesos físicos que no implican el cambio de la naturaleza química del contaminante. En contraste, el control de los gases, como los óxidos de azufre y de nitrógeno, por lo regular se realiza a través de transformaciones químicas que se llevan a cabo al final del proceso.

Para el control de gases se emplean, entre otros, los procesos de absorción, adsorción, condensación y combustión. En el caso del control de partículas se basa en procesos físicos en los cuales están involucradas la distribución del tamaño de partícula, su forma, densidad, higroscopicidad y adherencia y sus propiedades eléctricas, así como las propiedades del gas de acarreo y la concentración de las partículas en dicho gas. Existen varios procedimientos para el control de partículas, entre ellos los separadores ciclónicos, los colectores húmedos o lavadores, los filtros de tela y los precipitadores electrostáticos (Peavi, 1986 y Wark y Warner, 1998).

Un mayor detalle sobre el funcionamiento y el uso de estas técnicas para control de contaminantes puede encontrarse en el *Manual de tecnologías para el control de contaminantes peligrosos del aire* aprobado por la US EPA (*Control Technologies for Hazardous Air Pollutants Handbook*), o en la página de Internet del INECC puede consultarse la Tecnoteca, que presenta una recopilación de los diferentes equipos de control de gases y partículas, y aborda estos temas de manera más profunda (INECC, 2002). A continuación, se hace una breve referencia a los equipos comúnmente utilizados, tanto para control de gases como para control de partículas:

Absorción: proceso en el que los gases contaminantes se disuelven en un líquido limpiador que absorbe el contaminante, y dan como resultado un gas limpio y un líquido de desecho que lleva disuelto el contaminante. El equipo más usado para este fin son las torres o columnas empacadas, en las que el flujo de gas con impurezas entra por la parte inferior de la columna y circula hacia arriba a través de una cama recubierta húmeda, y el líquido limpiador entra por la parte superior de la columna y se distribuye uniformemente en la cubierta de esta. Como resultado, el gas limpio se libera a través de una chimenea y el líquido residual es recirculado o sujeto a un tratamiento adicional para remover el contaminante (Wark y Warner, 1998).

Adsorción: es un proceso de separación que se basa en la capacidad que tienen ciertos sólidos para remover componentes gaseosos de una corriente. En este caso, las moléculas de gases contaminantes denominadas adsorbatos se acumulan en la superficie de un material sólido que se denomina adsorbente. Las características que distinguen a los adsorbentes son su naturaleza química, la extensión de su área de contacto y el tamaño y su porosidad; el adsorbente más comúnmente utilizado en la industria es el carbón activado (A&WMA, 2000).

Condensación: es una técnica usada para controlar COV extrayéndolos de una corriente de gas mediante un proceso de saturación seguida por un cambio a estado líquido. Para producir el cambio de estado de estos compuestos es posible aplicar dos técnicas: la primera funciona al incrementar la presión del sistema a una temperatura dada, y la segunda al reducir la temperatura del sistema a una presión constante (Radian, 1996).

Incineración: es el proceso de oxidación a altas temperaturas que se usa para controlar la emisión de gases como los COV o el CO. Estas moléculas son destruidas y dan paso a la formación de sustancias más simples, como el dióxido de carbono y el agua. La incineración puede ser térmica, controlando la temperatura, la velocidad del flujo y el tiempo de residencia; o bien puede ser catalítica, cuando se utiliza algún catalizador para promover la reacción de oxidación y reducir la temperatura. Para el control de la contaminación atmosférica los catalizadores usualmente consisten en metales nobles como el paladio o el platino (A&WMA, 2000).

Separadores ciclónicos: es un método de bajo costo y pocos requerimientos de mantenimiento, usado para remover partículas de un flujo de gas. Normalmente se utilizan como limpiadores primarios para remover partículas grandes y pesadas; esto permite alargar la vida útil de otros limpiadores secundarios que se usan para remover partículas más finas, como los filtros de tela (A&WMA, 2000).

Colectores húmedos o lavadores: los colectores húmedos emplean un líquido, por lo general agua, para capturar las partículas o aumentar el tamaño de los aerosoles, lo que facilita la remoción del contaminante de la corriente de gas. Existen diversos tipos de colectores húmedos; entre los principales se encuentran los lavadores de cámaras de aspersión, los lavadores ciclónicos y los lavadores venturi (Wark y Warner, 1998).

Filtros de tela: este es uno de los sistemas de control de partículas más antiguos y más eficientes; consiste en separar las partículas de una corriente de gas haciendo pasar dicha corriente a través de los poros del filtro de tela. Existen varios tipos de tela que son utilizados para este fin, como la lana, el algodón, el nylon, las fibras de vidrio y el poliéster; la selección de la tela varía dependiendo de la composición química, la temperatura y la humedad del gas. Para limpiar grandes volúmenes de gas se utilizan arreglos de varios elementos filtrantes, conocidos como casas de bolsas debido a que por lo general la tela está confeccionada en forma de bolsas cilíndricas (Wark y Warner, 1998).

Precipitadores electrostáticos: utilizados para controlar partículas y aerosoles, los precipitadores electrostáticos se basan en la mutua atracción entre las partículas con una carga eléctrica y un electrodo recolector de polaridad opuesta (Wark y Warner, 1998). De este modo, las partículas son removidas (atraídas electrostáticamente) de un flujo de gas y son llevadas a un plato recolector (electrodo con carga opuesta) para después ser enviadas a una tolva de recolección (Radian, 1996).

La eficiencia del control (EC) de emisiones está determinada por el porcentaje de contaminantes que el equipo puede prevenir o remover (ver cuadro 3.3). Este valor está determinado por la eficiencia del equipo de control, que reduce la generación de contaminantes en el proceso, así como por la eficiencia del sistema de captura, que atrapa los contaminantes después de ser generados pero antes de ser liberados a la atmósfera.

Cuadro 3.3 Resumen de los equipos típicos y su eficiencia de control (%)

Equipo o técnica	Contaminante ^a			
	Partículas	COV	NOx	SOx
Ciclón	80-90+			
Filtro de tela	80-99+			
Precipitador electrostático	95-99+			
Lavador	80-95			
Absorción		--	80-98	-- ^b
Adsorción		90-99	--	-- ^b
Condensación		50-99	-- ^b	-- ^b
Incineración térmica	--	50-95+		
Incineración catalítica	--	95-99+		--

Fuente: Radian, 1996 con datos de Emission Inventory Improvement Program (EIIP), Julio 1995a y Nevers, 1995

^a Las eficiencias son estimadas con base en las especificaciones del diseño del proceso y del equipo de control; usando estos valores, el cálculo de la eficiencia es más precisa.

^b Técnica de control de emisiones experimental.

-- Datos no disponibles.

Entonces:

Donde:

n_{ec} = porcentaje de eficiencia del equipo de control

$$EC = \frac{n_{ec} \times n_c}{100}$$

n_c = porcentaje de eficiencia de captura

Por ejemplo, si se cuenta con un quemador para reducir emisiones de COV que logre una destrucción del 99 %, y el sistema de captura tiene una eficiencia de captura del 80 %, entonces la eficiencia total de control de COV es = $(99 \times 80) / 100$, lo cual da un resultado de 79.2 % (Radian, 1996).

La eficiencia del equipo de control y del equipo de captura puede ser documentada de varias formas; a continuación se describen las más comunes: a) pruebas en fuente, b) especificaciones del fabricante y c) valores reportados en la literatura (Radian, 1996).

Pruebas en fuente: se realizan en la planta bajo condiciones de operación específicas, y se miden las concentraciones de contaminantes antes y después del equipo de control. Así mismo, es posible realizar la prueba en un equipo similar en otra

planta bajo condiciones de operación similares; sin embargo, debido a las posibles variaciones en la operación de los equipos de control ocasionadas por deterioro, mal funcionamiento o falta de adaptación al proceso, es posible que estas mediciones tengan limitaciones para ser extrapoladas a otros equipos.

Especificaciones del fabricante: indican la eficiencia con base en el diseño del equipo y en su desempeño garantizado bajo condiciones de operación óptimas. Generalmente, esta información está disponible mediante una hoja técnica de especificaciones proporcionada por el fabricante. Sin embargo, las condiciones óptimas de operación pueden no ser representativas de las condiciones reales de operación en la planta donde se encuentra instalado el equipo de control, o bien el equipo pudiera no ser apto para el proceso al que se aplica. En estos casos la eficiencia de control será diferente a la especificada por el fabricante.

Valores reportados en la literatura: estos pueden utilizarse para aproximar la estimación de la eficiencia del equipo de control cuando los datos de pruebas en fuente o las especificaciones del fabricante no estén disponibles. Sin embargo, es recomendable tomar estos datos con cautela debido a que en ocasiones no pueden ser aplicados a equipos específicos o no se apegan a las condiciones de operación del equipo que se está evaluando. Una alternativa en estos casos es recurrir al conocimiento del proceso y hacer una evaluación basada en juicios ingenieriles para complementar la estimación.

Finalmente, es necesario ajustar los estimados de eficiencia del equipo de control de acuerdo con los periodos de falla y las condiciones del equipo. Si los equipos de control son desconectados periódicamente para mantenimiento o por descompostura, es posible que las emisiones liberadas durante estos periodos sean mucho mayores que las que se emiten durante la operación del equipo de control en condiciones normales. Si no se consideran las emisiones que resultan durante el tiempo en el que los equipos de control no operan u operan deficientemente, se puede generar un error de subestimación en los cálculos (Radian, 1996).

3.5 Actividades para el aseguramiento y el control de la calidad

El realizador del inventario deberá ejecutar algunas actividades de aseguramiento y control de la calidad (A y CC) en relación con la tarea de recopilar la información. En específico, se deben centrar los esfuerzos en verificar que:

- Se cuenta con los datos necesarios para realizar el inventario acorde con el propósito fijado al inicio.
- Se cuenta con datos completos y correctos para realizar una estimación.
- Se cuenta con un dato reportado sobre emisiones para contrastar con la estimación que se realizará.

Para verificar si se cuenta con los datos necesarios para realizar el inventario, es recomendable verificar que en el plan original se haya establecido el propósito que motivó el desarrollo del inventario. Posteriormente, debe revisarse con detalle la lista de necesidades de datos para el tipo de inventario seleccionado y cotejar, en la base de datos que se integra con la información recopilada, que se cuente con todos los datos necesarios.

Una vez que se ha verificado que se tiene la información necesaria para el tipo de inventario seleccionado, es necesario determinar si los datos están completos y son correctos. Para ello, es posible tomar una muestra representativa de los establecimientos a inventariar y proceder a realizar algunas actividades de aseguramiento y control de la calidad, entre las cuales se sugiere verificar que:

- Se cuente con todos los nombres o razones sociales completas de los establecimientos.
- Los domicilios de los establecimientos se encuentren efectivamente dentro del área geográfica que abarca el inventario.
- Las coordenadas de ubicación de los establecimientos sean adecuadas y no caigan fuera de la zona geográfica de estudio o en el mar, por ejemplo.
- Las claves de identificación asignadas cuenten con la misma nomenclatura, pero que no se repitan.
- Se cuente con los seis dígitos del sistema de codificación SCIAN y que cada uno de los dígitos refleje verazmente el sector, subsector, rama, subrama y clase de actividad que se realiza en el establecimiento.
- La actividad u operación reportada sea razonable para el tipo de instalación, que no sobrepase las 24 horas en un día o los 365 días en un año.

- El diagrama de funcionamiento sea congruente con los datos de insumos, productos y subproductos.
- Los equipos de combustión y control sean acordes con el producto elaborado.
- El consumo de combustible sea proporcional a la producción anual y a la capacidad de producción instalada.
- La eficiencia del equipo de control de emisiones que se reporta sea congruente con la documentada en la literatura o la reportada por los fabricantes.
- La altura reportada para la chimenea sea mayor que el diámetro ($a > d$).
- No haya confusión en las unidades que se utilizan.

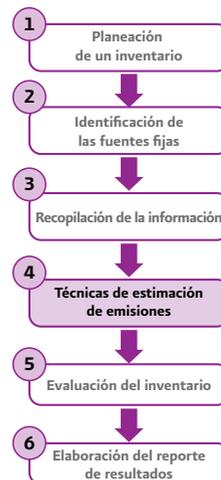
Con ayuda de estos ejercicios de aseguramiento y control de la calidad, se intenta que los datos sean congruentes. Así, se procura que la información sea de buena calidad para posteriormente tomar en cuenta el dato reportado (D_r) y proceder a reproducir el dato mediante un cálculo o estimación de emisiones (D_e) a través de diversas técnicas disponibles, como lo indica el siguiente capítulo.

Estas actividades, sin embargo, no excluyen otras etapas del proceso de aseguramiento y control de la calidad, como las actividades de aseguramiento y control de la calidad al aplicar técnicas de estimación (ver capítulo 4), o solicitar auditorías internas o externas en el momento oportuno (ver sección 5.1).

Técnicas de estimación de emisiones

En este capítulo se exponen las principales características de cada una de las técnicas de estimación de emisiones para fuentes fijas, así como algunas actividades que se pueden implementar para reducir la posibilidad de incurrir en errores al realizar el cálculo.

Todas las técnicas de estimación, tanto las correspondientes a los métodos directos e indirectos y a la estimación de emisiones fugitivas, requieren de la recopilación de información adicional sobre la fuente que está siendo inventariada. Esta información incluye datos de identificación, datos de operación o características de la actividad que realizan, y los factores que afectan la emisión, como el uso y la eficiencia de equipos de control. Sin embargo, existen datos específicos que deben ser recopilados minuciosamente para permitir la aplicación de las técnicas de estimación. Estos serán abordados a continuación.



4.1 Muestreo en la fuente

El muestreo en la fuente es un método común para estimar emisiones de procesos que permite obtener medidas de emisión en el corto plazo (tomadas en las chimeneas o respiraderos). Este método se caracteriza por la alta precisión y confiabilidad de los datos que reporta; sin embargo, representa una de las técnicas con mayores costos de implementación, los cuales dependen de las características y la confiabilidad del equipo de muestreo empleado, que puede ser manual o automático (Radian, 1996).

1. *Muestreadores manuales*: el muestreo manual o a corto plazo se integra con mediciones de periodos que van de una a cuatro horas. Para recolectar una muestra representativa deben hacerse, al menos, tres muestreos en una chimenea o en un escape para cada contaminante de interés. Una desventaja de este tipo de muestreo es que no siempre es realizado en condiciones normales de operación del equipo; es decir, cualquier cambio en la operación, como una

disminución de temperatura en la cámara de combustión o alguna variación en el mantenimiento del equipo, puede alterar significativamente las emisiones obtenidas. Por lo tanto, no es recomendable realizar este tipo de muestreo para la estimación de emisiones con fines de inventarios a menos que se pueda asegurar que los datos han sido obtenidos en condiciones representativas de la operación normal del proceso.

2. *Monitoreo continuo*: este tipo de monitoreo se realiza con equipo automático que debe tomar un mínimo de 15 lecturas en un periodo no menor a 60 minutos y no mayor a 360 minutos; el resultado del monitoreo es el promedio del periodo muestreado (NOM-085-SEMARNAT-1994). La estimación de emisiones realizada con este tipo de monitoreo se considera más confiable que la realizada manualmente, ya que al cubrir periodos más largos de muestreo se pueden tener representadas las variaciones en la operación del equipo durante un periodo más largo e incluso durante diferentes épocas del año (USEPA,1999).

Para estimar las emisiones en términos del flujo másico para fines de inventario a partir de mediciones en la fuente, es necesario identificar los siguientes parámetros básicos:

Cuadro 4.1 Resultados del monitoreo continuo en una caldera que quema petróleo

Periodo	O ₂ (% V)	SO ₂ (ppmv)	Velocidad de salida de los gases (dscfm ¹)
11:00	2.1	1004.0	155 087
11:15	2.0	1100.0	155 943
11:30	2.1	1050.0	155 087
11:45	1.9	1070.0	154 122
12:00	1.9	1070.0	156 123
.	.	.	.
.	.	.	.
n	n	n	n
Promedio	2.0	1058.8	155 272

HHV, poder calorífico del combustible: 18 000 Btu/lb

SO₂, peso molecular: 64 lb/lb-mol

V, volumen molar: 385.5 ft³/lb-mol (68 °F y 1 atm)

Q_f, consumo del combustible: 46 000 lb/h

OpHrs, total de horas anuales de operación: 5400 h

¹ Dry standard cubic feet per minute, esto es: pies cúbicos por minuto secos estándar

- concentración del contaminante en un volumen definido del gas de salida;
- tasa de flujo volumétrico de los gases de salida de la chimenea; y
- datos de operación del equipo o los equipos presentes en el establecimiento.

Una vez identificados estos datos, se utilizan algunos algoritmos ingenieriles y matemáticos con el fin de calcular el dato de emisión. A continuación se presenta un ejemplo genérico del tipo de cálculos que se realizan para determinar las emisiones a partir de dichos parámetros.

Ejemplo: estimación de las emisiones de SO₂ basadas en un monitoreo continuo de una chimenea (USEPA, 1999)

Se presentan los siguientes parámetros de operación considerando periodos cortos (ver cuadro 4.1):

Estimación de la emisión horaria de SO₂

$$E_{\text{SO}_2} = \frac{C \times MW \times Q \times 60}{V \times 10^6}$$

Donde:

E_{SO₂}: estimación de la emisión horaria de SO₂

C: partes por millón en volumen de aire seco (ppmvd)

MW: peso molecular en lb/lb-mol

Q: caudal (dscfm)

V: volumen molar (ft³/lb-mol)

Sustituyendo:

$$E_{\text{SO}_2} = \frac{1\ 058.8 \times 64 \times 155\ 722 \times 60}{385.5 \times 10^6} = 1\ 644.5 \text{ lb/h}$$

Estimación de las emisiones anuales de SO₂

Emisión anual SO₂ = emisión horaria SO₂ ' horas de operación en el año

$$\text{Emisión anual SO}_2 = \frac{1\ 644.5 \times 5\ 400}{2000} = 4440.1 \text{ t/año}$$

Sin embargo, en los casos en que los datos provenientes de un estudio de muestreo en la fuente son extrapolados, ya sea para estimar las emisiones anuales dentro de la misma planta, o bien para verificar cálculos en plantas o procesos similares, se debe corroborar si las condiciones de operación se mantienen en un régimen continuo. En algunos casos no es posible hacer este supuesto; por ejemplo, en situaciones donde haya variaciones estacionales de demanda de energía que influyan en el volumen de las emisiones generadas. En esos casos es necesario contar con una serie de mediciones representativas de cada estación del año para incluir esta variación en la estimación anual.

Por otro lado, algunas veces los resultados de los muestreos utilizan unidades diferentes a las deseadas, o algunos de los datos necesarios para el cálculo fueron determinados en condiciones de operación diferentes a las requeridas. Por lo tanto, en estos casos es necesario convertir las unidades de concentración y ajustar algunos parámetros necesarios a las condiciones estándar. A continuación se presentan algunos ejemplos básicos de estos cálculos.

Conversión de concentraciones de ppm a kg/h

Se midió una concentración de 100 ppm de óxidos de nitrógeno (NO_x) en los gases de salida de una chimenea que tiene un flujo de 500 m³ por minuto. Para calcular las emisiones de NO_x en kg/h se utilizan los siguientes datos:

$$\text{ppm} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3 \times 24.13} \times \frac{M}{M}$$

Donde:

Volumen molar del gas (NO_x) a 20 °C y 1 atm de presión = 24.13 l/kg-mol
= 0.024 m³/kg-mol

Peso molecular (M) del NO_x medido como NO₂ = 46 kg/kg-mol

Despejando de la ecuación anterior y multiplicando por el flujo volumétrico:

$$\frac{\text{kg}}{\text{h}} = \frac{\text{ppm} \times M}{0.024} \times \frac{\text{m}^3 \text{ aire}}{\text{h}}$$

Sustituyendo:

$$\left[\frac{100 \text{ kg} \cdot \text{mol}_{\text{NO}_x}}{10^6 \text{ kg} \cdot \text{mol}_{\text{aire}}} \right] \left[\frac{46 \text{ kg}_{\text{NO}_x}}{\text{kg} \cdot \text{mol}_{\text{NO}_x}} \right] \left[\frac{\text{kg} \cdot \text{mol}_{\text{aire}}}{0.024 \text{ m}^3_{\text{aire}}} \right] \left[\frac{60 \times 500 \text{ m}^3 \text{ aire}}{\text{h}} \right] = 5750 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \text{ de NO}_x$$

Cabe mencionar que usualmente se usa el peso molecular del NO₂ (M = 46 g/mol) para calcular la masa de las emisiones de NO_x, porque aunque la mayor parte del NO_x emitido en la combustión es NO, este se transforma rápidamente en NO₂.

Ajuste de flujo volumétrico por temperatura

El ajuste se realiza multiplicando el flujo por la relación de las temperaturas absolutas (en grados Kelvin (K)), como se expresa en la siguiente ecuación:

Como ejemplo se calculará el ajuste por temperatura de un flujo de gas de salida (en m³/min), a la temperatura de referencia de 20 °C. Los datos son los siguientes:

$$\text{Flujo (m}^3\text{/min a 20}^\circ\text{C)} = (\text{flujo}) \left[\frac{20^\circ\text{C} + 273.15}{X^\circ\text{C} + 273.15} \right]$$

Flujo volumétrico = 300 m³/min

X °C es la temperatura de muestreo o real = 80 °C

Sustituyendo en la ecuación:

$$\text{Flujo (m}^3\text{/min a 20}^\circ\text{C)} = (300\text{m}^3\text{/min}) \left[\frac{20 + 273.15}{80 + 273.15} \right] = 249.03\text{m}^3\text{/min}$$

Cabe señalar que el flujo de salida de gas a temperaturas elevadas también debe ajustarse por su contenido de vapor de agua; a continuación se ilustra con un ejemplo.

Ajuste de flujo volumétrico por contenido de vapor de agua

Para realizar el ajuste por el contenido de vapor de agua de un flujo de gas (en m³/min) a condiciones estándares secas se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Flujo}_{\text{SECO}} = \text{Flujo}_{\text{húmedo}} \times (1 - \text{gracH}_2\text{O})$$

Los datos son los siguientes:

Flujo volumétrico húmedo = 250 m³ / min a la temperatura estándar (20 °C)

Fracción de vapor agua contenida en los gases (fracH₂O) = 2.1% = 0.21 en volumen.

Sustituyendo en la ecuación:

$$\text{Flujo}_{\text{SECO}} = 250\text{m}^3\text{/min} \times (1 - 0.021) = 247.8\text{m}^3\text{/min}$$

Ajuste de concentración por contenido de oxígeno

En el flujo del gas que sale de una chimenea se determinó la concentración de PM igual a 20 mg/m³ estándar seco, la concentración de NO_x igual a 48 ppm, y la concentración de oxígeno resultó del 4 % del volumen del gas. Para ajustar las concentraciones de PM y NO_x al 7 % de oxígeno se utiliza la siguiente expresión:

$$\text{Conc}_{7\%} = \text{Conc}_{x\%} \left[\frac{21\% + 7\%}{21\% - x\%} \right]$$

donde el 21 % corresponde a la fracción natural de oxígeno del aire.

Sustituyendo los datos:

$$20 \text{ mg/m}^3 \text{ estándar seco PM} \left[\frac{21\% + 7\%}{21\% - 4\%} \right] = 16.74 \text{ mg/m}^3 \text{ estándar seco PM al 7\% de O}_2$$

$$48 \text{ ppm NOx} \left[\frac{21\% + 7\%}{21\% - 4\%} \right] = 39.53 \text{ ppm NOx al 7\% de O}_2$$

Se pueden aplicar también otras técnicas o métodos que permiten conocer las emisiones con mayor detalle; por ejemplo, a partir de la estimación de emisiones de partículas suspendidas totales (PST) es posible hacer una distribución de emisiones de PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$, o bien es posible hacer una especiación de COV con base en la información sobre el tipo de materia prima que se utiliza en la instalación, siempre y cuando se cuente con la fracción de PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$ en la emisión total de PST, y con el perfil de emisión de hidrocarburos para el proceso específico que se esté estudiando.

Actividades de A y CC para muestreo en la fuente

Cuando se estima un dato de las emisiones de una fuente fija a partir de los resultados de mediciones en fuente, es necesario realizar algunas actividades con el propósito de asegurar que la información utilizada y el dato estimado son correctos. Entre estas actividades se sugiere realizar lo siguiente:

- Verificar si las pruebas fueron realizadas de manera manual o continua.
- Verificar si las pruebas en la fuente han sido realizadas por laboratorios u organismos certificados por la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA) y con equipo calibrado.
- Revisar que se cumpla con los métodos de referencia de muestreo de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) y las NOM aplicables o, en su caso, normas mexicanas (NMX) que establecen métodos y condiciones de medición, tales como:
 - NMX-AA-54. Determinación del contenido de humedad en los gases que fluyen por un conducto.
 - NMX-AA-10. Determinación de la emisión de partículas sólidas contenidas en los gases que se descargan por un conducto.
- Evaluar si las pruebas se realizaron en condiciones representativas de la operación cotidiana del establecimiento (días y horarios), para lo cual es posible consultar la siguiente documentación:

- Informes originales de laboratorio
- Certificados de calibración de equipos de medición
- Hojas de campo y protocolos detallados de muestreo, etc.
- Revisar las unidades (temperatura en grados Celsius, Kelvin o Fahrenheit), las condiciones de la medición (de temperatura, presión, etc.) y los conceptos técnicos (p. ej. flujo volumétrico vs. flujo másico) para descartar algún error o confusión respecto a los datos.
- Aplicar las actividades de aseguramiento y control de la calidad descritas en el capítulo anterior sobre la recopilación de información.

Estas actividades permitirán un estrecho control de la calidad de los datos obtenidos mediante el muestreo en la fuente, y evitarán que se cometa algún error en el uso de la información para estimar las emisiones del establecimiento y que se arrastren errores en la elaboración del inventario.

4.2 Uso de factores de emisión

Para realizar una estimación con base en el uso de factores de emisión es necesario conocer, además de los datos generales de identificación del establecimiento, los datos de operación de la instalación y los factores que afectan las emisiones, entre los que se encuentran:

- El giro o sector al que pertenece el establecimiento
- Los detalles sobre su actividad (horas y días de funcionamiento)
- El tipo de combustible que utiliza (gas, diésel, combustóleo, etc.)
- El volumen o masa de combustible (diario, mensual y anual) que se utiliza
- Las características del combustible (contenido de azufre, agua, etc.)
- Las características del equipo (diseño, configuración de quemadores, capacidad volumétrica y térmica, antigüedad, eficiencia, mantenimiento, etc.)
- El uso y la eficiencia del equipo de control de emisiones
- Datos sobre procesos y emisiones adicionales

Una vez recopilada toda la información es posible aplicar el factor de emisión de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$E = FE \times DA \left[1 - \frac{ER}{100} \right]$$

Donde:

F: es la emisión del contaminante,

FE: es el factor de emisión,

DA: es el dato de actividad y

ER: es la eficiencia de reducción de emisiones de un equipo de control, expresada en porcentaje (si no existe equipo de control, entonces $ER = 0$).

Si el factor de emisión utilizado se desarrolló bajo la consideración de la operación de un equipo de control, este factor trae consigo incorporada la efectividad de control de dicho sistema; por lo tanto, la ecuación toma la siguiente forma simple:

$$E = FE \times DA$$

Al seleccionar un factor de emisión para equipos de combustión, es necesario asegurarse de contar con la información necesaria para caracterizarlo y buscar el factor de emisión más apropiado, pues no siempre la versión más actualizada del compendio AP-42 es aplicable. Estas actualizaciones suelen contar con información relacionada con equipos modernos, y en México es común encontrarse con casos de equipos muy longevos.

Ejemplo del uso de factores de emisión:

A fin de ejemplificar la consulta y la aplicación de los factores de emisión contenidos en el AP-42, se estimarán las emisiones de SO_2 y NO_x de una caldera (equipo de combustión externa) con las siguientes características:

- Consumo: 1 millón de m^3 de combustóleo por año, con un contenido de azufre de 3 % en peso.
- Capacidad térmica nominal: 2000 millones de Btu/h.
- Configuración de los quemadores: normal.
- Equipo de control: sin equipo de control.

El procedimiento de consulta del AP-42 es el siguiente⁹:

1. En el AP-42 se deberá consultar el capítulo correspondiente al tipo de equipo de que se trata; en este caso es un equipo de combustión externa (*External Combustion Sources*).
2. Una vez ubicado el capítulo, se identifica la sección específica del tipo de com-

⁹ Se recomienda la lectura detenida de todo el documento AP-42, lo que incluye la introducción, las generalidades de los combustibles y de los tipos de configuración de los equipos de combustión, así como los tipos de contaminantes que pueden estimarse y la nomenclatura utilizada en el documento; además, en algunos casos, los dispositivos de control comúnmente utilizados en estos equipos.

Cuadro 4.2 Ejemplo de factores de emisión para combustóleo, contenidos en el AP-42 tabla 1.3-1

Configuración del equipo (SCC)	SO ₂		SO ₃		NOx		CO ^e		PM filtrable	
	FE	Clasificación Del FE	FE	Clasificación del factor de emisión	FE	Clasificación del FE	FE	Clasificación del FE	FE	Clasificación del FE
Calderas > 100 millones Btu/h										
Combustóleo, entrada normal (1-01-004-01), (1-02-004-01-), (1-03-004-01)	157S	A	5.7S	C	47	A	5	A	9.19(S)+3.22	A
Combustóleo, entrada normal. Baja quema de NOx (1-01-004-01),(1-02-004-01)	157S	A	5.7S	C	40	B	5	A	9.19(S)+3.22	A
Combustóleo, entrada tangencial (1-01-004-04)	157S	A	5.7S	C	32	A	5	A	9.19(S)+3.22	A
Combustóleo, entrada tangencial. Baja quema de NOx (1-01-004-04)	157S	A	5.7S	C	26	E	5	A	9.19(S)+3.22	A
Calderas < 100 millones Btu/h										
Combustóleo (1-02-004-02/03), (1-03-004-02/03)	157S	A	2S	A	55	A	5	A	9.19(s)+3.22 ¹	B

Fuente: US EPA, 1995 (<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch01/final/c01s03.pdf>)

bustible usado, que en este ejemplo corresponde a la de combustibles derivados del petróleo (*Fuel Oil Combustion*).

- En la parte final de esta sección se presentan los factores de emisión para contaminantes criterio (cuadro 4.2). Dentro de esos factores se verifica la capacidad del equipo, que en este caso es mayor de 100 millones de Btu/h. Así mismo, se identifica la clase específica de combustible, que se considera aproximadamente equivalente al denominado *No. 6 oil fired*. Se verifica la configuración de los quemadores que corresponden a normal (*normal firing*) y la ausencia de algún equipo de control. Los factores encontrados para el SO₂ y los NOx son:

$FE_{SO_2} = 157 S \text{ [lb/103 gal]}$; donde S = % de azufre en peso de combustible

$FE_{NO_x} = 47 \text{ [lb/103 gal]}$

- Es indispensable tener cuidado con el uso de las unidades, ya que, al tratarse de un documento de origen estadounidense, los factores de emisión se reportan en libras por cada 1000 galones (lb/10³ gal); sin embargo, es posible encontrar los factores de conversión al sistema métrico decimal en el mismo docu-

mento. Aplicando el factor de conversión de 0.120, los factores de emisión para el SO₂ y los NO_x son:

$$FE_{SO_2} = 18.84 S \text{ [kg/10}^3 \text{ l]}; \text{ donde } S = \% \text{ de azufre en peso de combustible}$$

$$FE_{NO_x} = 5.64 \text{ [kg/10}^3 \text{ l]}$$

5. En la columna contigua a los factores de emisión se especifica una calificación con letras, que van de la A hasta la D, las cuales representan el grado de confiabilidad del factor (esta calificación se comentó en el capítulo 1).
6. Sabemos que el dato de actividad (DA) o consumo anual de combustóleo es de 1 millón de m³ por año; considerando que 1 m³ es igual a 1000 l, que el combustóleo contiene 3 % de azufre en peso y que se ha establecido que no hay equipo de control, al aplicar la ecuación para el cálculo de emisiones con el uso de factores de emisión se obtienen los siguientes resultados:

$$E_{SO_2} = \left[\frac{18.84 \text{ kg}_{SO_2}}{10^3 \text{ l}_{\text{combustóleo}}} \right] \left[\frac{10^3 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} \right] \left[\frac{10^6 \text{ m}^3 \text{ combustóleo}}{\text{año}} \right] (3) = 56\,520\,000 \frac{\text{kg}_{SO_2}}{\text{año}}$$

$$E_{NO_x} = \left[\frac{5.64 \text{ kg}_{NO_x}}{10^3 \text{ l}_{\text{combustóleo}}} \right] \left[\frac{10^3 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} \right] \left[\frac{10^6 \text{ m}^3 \text{ combustóleo}}{\text{año}} \right] (3) = 5\,640\,000 \frac{\text{kg}_{NO_x}}{\text{año}}$$

Procedimientos de A y CC para factores de emisión

El uso de los factores de emisión constituye una técnica de estimación que resulta rápida y sencilla, por lo que se utiliza frecuentemente tanto para estimar emisiones como para verificar aquellas contenidas en algunos reportes, tales como las COA. Sin embargo, el que se trate de un método indirecto agrega incertidumbre a los resultados.

Los factores de emisión generalmente se desarrollan a partir de mediciones realizadas en una muestra representativa de fuentes de emisión pertenecientes a una misma categoría o sector, por ejemplo, a un grupo de calderas de quemadores tangenciales para la generación de energía eléctrica. Por lo tanto, al aplicar un factor para estimar las emisiones de un equipo se está haciendo una serie de supuestos que asocian sus características con las de los equipos que fueron muestreados para calcular el factor. Por eso, para evitar caer en errores al aplicar los factores de emisión es importante verificar, entre otras características, el diseño, la edad y el registro del mantenimiento al que se han sujetado tanto el equipo de combustión como el equipo de control.

Así mismo, es importante considerar la calidad y la confiabilidad del factor, que depende de la calificación asignada a este, conforme a lo recomendado por la US EPA y conforme a los requerimientos de los objetivos de la calidad de los datos y los indicadores de confiabilidad de la información establecidos en el plan para el aseguramiento y control de la calidad del inventario.

4.3 Balance de masa

El balance de masa de un proceso u operación unitaria considera el volumen y la composición química de las materias primas de entrada (MP) y de los materiales de consumo indirecto (CI), así como de los productos de salida (P) y las emisiones vertidas al aire (Ea), agua (Eaq) y suelo (Es). La ecuación general del balance de masa de una sustancia específica se expresa en la siguiente ecuación (SEMARNAT, 2001):

$$MP + CI = P + Ea + Eaq + Es$$

Para resolver esta ecuación, es indispensable contar con la información de al menos cinco de las variables que presenta, por lo que resulta fácil intuir que la cantidad de información que debe estar disponible para utilizar esta técnica supone una de sus principales limitaciones, y que hacer suposiciones llevará a serios errores al realizar la estimación (INECC-SEMARNAT, 2005).

El conocimiento de la presencia y las concentraciones de ciertos elementos y compuestos en los combustibles puede resultar útil para calcular su comportamiento en las corrientes de emisión resultantes de la combustión. Esto es válido para algunos metales presentes en algunos combustibles como el carbón, para el azufre presente en el diésel, etc.

Por ejemplo, el análisis del azufre (S) en la reacción de combustión puede idealizarse suponiendo que todo el contenido de este se convierte en bióxido de azufre (SO₂) (INECC-SEMARNAT, 2005):

$$E_{SO_2} = C_{comb} \times C_{cc} \times \left[\frac{PM_{ce}}{PM_{cc}} \right]$$

Donde:

E_{SO_2} : es la emisión de SO_2

C_{comb} : es el consumo de combustible, flujo másico (kg/h)

C_{cc} : es la concentración del contaminante en el combustible (% en masa)

PM_{ce} : es el peso molecular del contaminante emitido (g/g-mol)

PM_{cc} : es el peso molecular del contaminante en el combustible (g/g-mol)

Entonces, las emisiones de SO_2 como producto de la quema de combustóleo pueden calcularse basándose en su contenido de azufre suponiendo una conversión completa del azufre a SO_2 y que por cada gramo de azufre ($PM_{ce} = 32\text{g/g-mol}$) en el combustible se emiten dos gramos de SO_2 ($PM_{cc} = 64\text{g/g-mol}$) al quemarlo (con base en la relación estequiométrica entre el S y el SO_2). Esta misma relación se utiliza en la NOM-085-SEMARNAT-1994 para el cálculo de las emisiones de SO_2 . En la tabla 3 de dicha norma se observa que el factor de emisión en kg de $SO_2/10^6$ Kcal es aproximadamente el doble del porcentaje en peso del azufre en el combustible. Por ejemplo, al combustóleo que tiene un contenido de azufre del 2 % le corresponde un factor de emisión de 4.08 kg de $SO_2/10^6$ Kcal; el factor de emisión está referido a unidades de energía, y no de masa, con la finalidad de extender el cálculo a otros combustibles (como el diésel o el gas natural).

Ejemplo del uso del balance de masa

Calcular las emisiones de SO_x por hora (reportado como SO_2) de una máquina de combustión interna que quema diésel, con base en los datos del análisis del combustible (contenido de azufre). El consumo estimado de combustible es de 150 l/h, y la densidad del diésel es de 0.85 kg/l. El contenido de azufre en el diésel es 0.05 % en masa, suponiendo una conversión completa: $S \rightarrow SO_2$; entonces $PM_{ce} = 32$ g/g-mol, $PM_{cc} = 64$ g/g-mol (INECC-SEMARNAT, 2005).

$$C_{comb} = (150 \text{ l/h}) (0.85 \text{ kg/l}) = 127.5 \text{ kg/h}$$

$$C_{cc}(S) = 0.05/100 = 0.0005$$

$$E_{so_2} = (127.5 \text{ kg/h}) (0.0005) (64 \text{ g/g mol} / 32 \text{ g/g mol}) = 0.127 \text{ kg/h}$$

En este ejemplo, el balance de materiales se simplificó porque se asumió que todo el material que se está balanceando es emitido a la atmósfera; sin embargo, existen procesos en los cuales se utilizan dispositivos de control de emisiones que es necesario considerar (INECC-SEMARNAT, 2005). Además, en este ejemplo se proporcionó un contenido de azufre específico, cuando en la realidad existen di-

ferentes contenidos de azufre en combustibles para diferentes regiones del país (zona fronteriza, zonas metropolitanas y resto del país), por lo que es necesario verificar la región geográfica.

Actividades de A y CC para balance de masa

El balance de masa debe ser realizado por personal calificado, quien además tiene que llevar a cabo algunas acciones de control y aseguramiento de la calidad que permitan la temprana detección y corrección de errores al aplicar la técnica. Para ello se deben considerar, entre otras, las siguientes acciones:

- Evitar el uso del balance de masa en los procesos en donde los materiales de entrada sufran cambios químicos significativos (nuclear, atómico, etc.), salvo que se tenga bien caracterizada la cinética química de las reacciones (SEMARNAT, 2001).
- Identificar y cuantificar adecuadamente las entradas y salidas del proceso o actividad.
- Asegurar que los supuestos establecidos para la aplicación de esta técnica sean razonables.
- Realizar los cálculos con datos precisos del material de entrada y de salida para evitar, en lo posible, errores en la estimación de las emisiones calculadas a través de la diferencia.
- Revisar que las emisiones sean razonables (comparando estas con resultados de años anteriores o con otros datos de referencia).

4.4 Método de estimación de emisiones fugitivas

Los métodos de estimación de emisiones fugitivas representan técnicas altamente complejas. Todas ellas requieren de realizar una amplia recopilación de datos, así como del análisis de estos o su evaluación estadística o ambos. La metodología de estimación se encuentra detallada en el *Protocolo para estimados de emisión por fugas en equipos* (US EPA, 1995); sin embargo, en esta sección se presentarán de forma resumida las cuatro técnicas propuestas por la EPA (cuadro 4.3). Es necesario mencionar que cada una de ellas necesita un recuento exacto de los componentes clasificados por tipo (válvulas, bombas, conexiones, etc.), y para algunos equipos el recuento debe indicar el tipo de servicio (líquido pesado, líquido ligero y gas); además, siempre que sea posible es preferible realizar un balance de emisiones para estimar las que correspondan al tipo de las fugitivas.

Cuadro 4.3 Resumen de las técnicas de estimación de emisiones de fuentes fugitivas propuesta por la EPA

Método de estimación	Descripción
Factor de emisión promedio (MFEP)	Estos factores han sido desarrollados por la EPA para unidades SOCMI ² , refinerías y terminales comerciales, y para la producción de gas y gasolina. Son utilizados para estimar las emisiones cuando no se cuenta con datos de monitoreo real; además, hay que tener en cuenta que estos factores propuestos por la EPA proporcionan velocidades de emisión para COV, sin incluir el metano.
Rangos de medida (MRM)	Este método se aplica de forma similar al MFEP; sin embargo, en el MRM el número de componentes se multiplica por un factor de emisión. Además, este método puede ser usado cuando los datos medidos están distribuidos en dos rangos: uno de ellos recoge los componentes con medida de fuga igual o superior a 10 000 ppmv, y el otro los valores menores a 10 000 ppmv.
Ecuación de correlación de la emisión (MECE)	Este corresponde al método más preciso cuando es posible la toma de mediciones. Consiste en introducir el valor medido por el instrumento utilizado en una ecuación, la cual predice la velocidad de emisión másica, basada en dicha medida. Cuando no es posible realizar medidas reales, pueden usarse factores de emisión promedio temporalmente para determinar las emisiones fugitivas. Es válido para estimar emisiones de un conjunto de componentes y no está preparado para estimar emisiones de un componente individual a lo largo de un periodo corto (por ejemplo 1 hora).
Correlación para una unidad específica (MCUE)	Este método recomienda que antes de desarrollar las correlaciones EPA para una unidad concreta se recomienda que sea evaluada la validez de estas correlaciones. Esto puede realizarse midiendo alrededor de cuatro velocidades de fuga para un tipo de componente concreto en un proceso determinado. Las velocidades de emisión másica medidas pueden ser comparadas con aquellas que predicen las ecuaciones EPA. Si se observa una tendencia consistente (por ejemplo, todos los valores medidos son menores -o mayores- que los estimados por la correlación EPA), las ecuaciones que facilita la EPA no se ajustan al proceso. Existe una prueba estadística, llamada el test de Wilcoxon, que realiza una comparación del logaritmo de la velocidad de emisión másica medida con el logaritmo de las velocidades estimadas por uso de las ecuaciones EPA.

La toma de datos debe realizarse sobre cada equipo con detectores especializados, algunos de los cuales basan su funcionamiento en los principios de ionización de llama (FID) y fotoionización (PID). El *detector de ionización de llama* mide el contenido de carbono total del vapor, pero no el CO₂ ni el CO. Es necesario instalar un filtro a fin de eliminar el vapor de agua y particulados. El *detector de fotoionización* (PID) presenta problemas para detectar un compuesto específico si existen otros en el aire. No obstante, puede utilizarse para compuestos que la FID no puede medir bien.

Una vez que se han aplicado las técnicas de estimación adecuadas y se han llevado a cabo las actividades de A y CC propias de cada técnica, es necesario implementar algunas actividades adicionales para asegurar la calidad del dato que se va a

reportar. Para ello se deben considerar, entre otras, las siguientes acciones:

- Llevar una memoria de cálculo detallada y tener a la mano toda la información de respaldo que ha sido utilizada, con el fin de que sea posible replicar los datos que se han generado como parte del proceso de elaboración del inventario.
- Verificar nuevamente, independientemente de la técnica de estimación utilizada, los datos de emisiones que resulten evidentemente anómalos, ya que es posible que exista algún error.
- Realizar una comparación de emisiones respecto a fuentes puntuales que resulten similares por sus procesos, tamaño, giro o actividad, etc.
- Seleccionar un conjunto que incluya las fuentes con mayores contribuciones a las emisiones por contaminante y realizar las siguientes acciones:
 - Realizar nuevamente el cálculo de emisiones de fuentes utilizando la misma técnica para descartar algún error en el procedimiento.
 - Verificar la estimación a través del uso de otra técnica, si es que esto es posible. Aunque no existe un estándar, se pueden esperar variaciones aproximadas para SO_2 de entre 5 y 10 % (este rango de variación aceptada es menor que para otros contaminantes debido a que las emisiones de este compuesto están directamente ligadas con los contenidos de azufre del combustible); para los otros contaminantes criterio dicha variación puede ser de hasta el 20 %.¹⁰
- Documentar detalladamente los procedimientos de estimación y las consideraciones realizadas, con la finalidad de identificar áreas de mejora para inventarios posteriores, tales como:
 - El desarrollo de datos sobre las fuentes fijas y su operación que no estén disponibles en el momento de la elaboración del inventario.
 - El desarrollo de factores de emisión para fuentes fijas específicas que no estén disponibles en el momento de la elaboración del inventario.
 - La mejora o perfeccionamiento de instrumentos de reporte o fuentes de información que provean datos sobre las fuentes fijas y su operación.
 - El fortalecimiento de capacidades para el llenado de instrumentos de reporte por parte de los propios establecimientos.
- Comparar el dato estimado (De) de las emisiones del establecimiento con el dato de emisión reportado (Dr) por la propia fuente fija en los instrumentos de reporte correspondientes, en específico la COA. Si el dato estimado es aproxi-

¹⁰ Información sugerida por la SEMARNAT en conversaciones respecto del contenido de la guía, 2009.

madamente similar al dato reportado, dentro de los parámetros arriba mencionados para la estimación a través de diferentes técnicas, se considera un dato verificado y validado; si no es similar, debe definirse entonces cuál de los dos datos se va a reportar en el inventario. En estos casos se sabe que existen las siguientes opciones:

- a. Utilizar el dato cuyo resultado sea más elevado, sea el reportado o el estimado. Aunque el dato esté sobreestimado, con ello se procura que en el siguiente inventario se aprecie cualquier reducción en el valor de esa estimación, ya sea debido a que los datos utilizados para el cálculo sean más precisos o a que existan ajustes por parte del establecimiento para controlar sus emisiones. Esto evita mostrar inconsistencias en el valor final reportado en el inventario a través del tiempo en sus actualizaciones.
- b. Utilizar el dato estimado. Esta es la mejor opción debido a que la estimación de este valor (De) ha involucrado un procedimiento exhaustivo por parte del desarrollador del inventario y deriva de un procedimiento que asegura que es la mejor estimación posible obtenida con la mejor técnica y la información disponible.

Evaluación del inventario

En este capítulo se hace referencia a la importancia de la calidad y la confiabilidad de la información que formará parte del inventario de emisiones de fuentes fijas. Esta evaluación es importante debido a que los procesos de gestión de la calidad del aire, y cualquier otro uso que pretenda darse al inventario, dependen de su calidad y de la incertidumbre que se le asocia. Para apoyar un proceso de implementación o evaluación de medidas de control de las fuentes fijas que contribuyen a la contaminación atmosférica en una región, es necesario tener un inventario con baja incertidumbre, o al menos con una incertidumbre menor al cambio en emisiones que se pretende detectar.

Es por esto que al final del proceso es necesario aplicar una auditoría externa para asegurarse de que todo el proceso es congruente y que los resultados preliminares son correctos. Esta auditoría debe llevarse a cabo con base en el diseño que se haya establecido al hacer el plan de aseguramiento y control de la calidad, y puede ser del tipo de abajo hacia arriba, o bien de arriba hacia abajo. Así, se pueden concentrar los esfuerzos para encontrar errores o inconsistencias a partir de la información utilizada en cada etapa, o también se pueden buscar errores o inconsistencias a partir de los resultados generales de las estimaciones, por ejemplo, contrastando los resultados con datos históricos o con resultados de otros inventarios relacionados.

Respecto a la evaluación de incertidumbre, es necesario considerar que una vez implementada la auditoría final, si el procedimiento de aseguramiento y control de la calidad hasta este punto ha sido desarrollado eficientemente, los resultados deben tener la mejor calidad posible y deben estar basados en la mejor información disponible. Sin embargo, hay ocasiones en las que, al no existir mayor información sobre el sector o la fuente de emisión, es necesario utilizar datos extrapolados o aproximados, o bien debido a la cantidad de información disponible se requiere seleccionar una técnica de estimación indirecta o basada en factores de emisión. Cada decisión de este tipo acarrea incertidumbre a los resultados finales; debido a ello, es necesario realizar una evaluación que tiene por objetivo orientar al desarrollador respecto a las posibles debilidades de la estimación. Estas debilidades



pueden estar relacionadas con la información utilizada o con la técnica seleccionada para realizar la estimación. Aun cuando no estén directamente relacionadas con las capacidades del desarrollador del inventario, estas debilidades pueden convertirse en oportunidades de mejora para los siguientes inventarios, y deben documentarse para tenerse presentes cuando llegue el momento de realizar la actualización del inventario correspondiente.

A continuación se presentan, de manera general, las actividades relacionadas con el aseguramiento y control de la calidad del inventario final. Así mismo, se presentan los posibles elementos, asociados tanto con la información como con las técnicas de estimación utilizadas, que pueden acarrear incertidumbre a los resultados finales de la estimación de emisiones de fuentes fijas.

Finalmente, en este capítulo se presenta una propuesta general para realizar una evaluación cualitativa de la incertidumbre del inventario final de emisiones de fuentes fijas; generalmente esta evaluación es interna, y se realiza con el fin de corroborar su confiabilidad y su compatibilidad con los usos que se pretende darle a la información que contiene.

5.1 Actividades de aseguramiento y control de la calidad

Cuando se tienen los resultados preliminares de la estimación de las emisiones de fuentes fijas, después de haber seguido el proceso de aseguramiento y control de la calidad hasta este punto, es necesario contar con una visión interna y una opinión externa capaces de revisar objetivamente la calidad de esos resultados. Para lograr asegurar la calidad del inventario final se pueden llevar a cabo, de manera interna o externa, diversas actividades relacionadas con las características del inventario, las piezas de información utilizadas, los cálculos o los resultados (ver cuadro 5.1).

Verificación de las características del inventario

Debe hacerse una revisión exhaustiva y detallada, generalmente de manera interna, del plan inicial o plan para la preparación del inventario para corroborar si se han cubierto todas las características deseadas. De esta manera, se confirma si se ha logrado cubrir:

- el área geográfica de interés

- el nivel de resolución temporal
- el nivel de resolución espacial
- las fuentes de interés
- los contaminantes planeados

Esta verificación debe ser objetiva e identificar las características que se han logrado cubrir totalmente, las que han sido cubiertas con algunos elementos que han comprometido su calidad y las que no han podido ser cubiertas. Por ejemplo, si se han cubierto todas las fuentes fijas localizadas en el área de interés, se ha cubierto el área geográfica planeada. Si se ha logrado estimar las emisiones para el año deseado para la mayoría de las fuentes, pero para algunas cuyos datos no estuvieron disponibles se utilizó la información del año inmediato anterior o posterior, se considera que la resolución temporal ha sido cubierta; sin embargo, ha sido comprometida por algunos casos específicos que deben reportarse, especificando para qué año se consiguió la información. Finalmente, si se deseaba reportar las emisiones a nivel municipal pero la información no es suficiente o tiene alta incertidumbre y se decide reportarlas por estado, entonces no se cumplió con la característica de resolución espacial planeada.

Cuadro 5.1 Análisis de la calidad de un inventario de emisiones de fuentes fijas

Tipo de análisis	Quién lo realiza	Instrumento base	Objetivo del análisis
Verificación de las características del inventario	Interno	Plan inicial o plan para la preparación del inventario	Señalar las fortalezas del inventario así como los elementos que comprometen sus características;
Auditoría para determinar la efectividad y la eficiencia del proceso de cálculo y de A y CC	Interna y/o externas	Plan inicial, plan para el A y CC, plan o diseño para la realización de la auditoría	identificar problemas con el personal (insuficiente o poco calificado); evaluar la efectividad del proceso de A y CC; identificar si se cumplieron los objetivos de la calidad;
Validación o revisión con enfoque "arriba-abajo"	Interna y/o externa	Resultados de la estimación con proceso de A y CC, datos de referencia	verificar si los resultados generales de la estimación de emisiones de fuentes fijas son razonables con respecto a valores de referencia.

Fuente: elaboración propia, INE

Auditorías internas y externas

El objetivo principal de las auditorías es identificar el origen de los errores y asegurar que dichos errores sean eliminados a través de acciones correctivas específicas, para permitir la mejora continua del desempeño del personal, los procesos y los sistemas involucrados en el desarrollo del inventario. Una vez que logra implementarse esta mejora continua, es factible que se cuente con métodos eficientes, que la calidad de los datos mejore e, incluso, que los costos del desarrollo del inventario sean reducidos (Radian, 1997).

Para la realización de estas auditorías, ya sean las intermedias aplicables en cada etapa o las finales en relación con los resultados de la estimación final de emisiones de fuentes fijas, es necesario que se elabore previamente un plan, agenda, diseño o protocolo que se seguirá para evitar subjetividades e inconsistencias en el proceso. En el caso de las actividades intermedias, el diseño puede estar contenido explícitamente en el plan de aseguramiento y control de la calidad; para el caso de las actividades de revisión final de los resultados, puede diseñarse una guía para la realización de auditorías a incluirse en el plan de A y CC.

Entre las actividades básicas que deben ser incluidas en el plan para la auditoría están las siguientes (Radian, 1997):

- la revisión del plan inicial para la preparación y el desarrollo del inventario,
- la revisión del plan para el aseguramiento y control de la calidad,
- la identificación de los pasos clave en el desarrollo del inventario que pueden comprometer su calidad,
- la revisión de procedimientos determinantes de la calidad del inventario,
- la revisión de resultados de auditorías anteriores, si es que las hay,
- el desarrollo de material para la auditoría, con una lista de todas las actividades a incluir para verificar su cumplimiento, y
- el desarrollo de un cronograma que incluya la auditoría de todos los pasos y procedimientos que pueden generar errores al desarrollar el inventario.

Como parte de la revisión del plan inicial para la preparación del inventario y el plan para el aseguramiento y control de la calidad, es necesario incluir algunas preguntas clave, tales como (Radian, 1997):

- ¿Hay suficientes recursos materiales, económicos, humanos y de información disponibles para elaborar el inventario planeado en el tiempo estimado?
- ¿Las responsabilidades del personal están claramente definidas?

- ¿El objetivo del inventario y el uso que pretende darse a la información que se genera son claros?
- ¿El enfoque técnico, la metodología y las características del inventario son razonables?
- ¿El diseño de la base de datos y el procedimiento para el manejo y el almacenamiento de datos son adecuados?
- ¿Los requisitos estatales y federales para la elaboración de inventarios han sido verificados e incluidos?
- ¿El plan para el aseguramiento y control de la calidad fue aprobado por personal calificado?
- ¿Las actividades de aseguramiento y control de la calidad (internas y externas) están claramente definidas?

De esta manera, pueden hacerse también cuestionarios para atender los temas que requieren ser auditados, tales como el mecanismo de codificación de información sobre giro o actividad de las fuentes fijas, el sistema de almacenamiento y manejo de datos o base de datos, el proceso para recolectar información o para realizar la propia estimación de emisiones de fuentes fijas. Por ejemplo, algunas preguntas sugeridas para auditar el sistema de almacenamiento y manejo de datos pueden ser, entre otras (Radian, 1997):

- ¿La base de datos cuenta con campos para todos los datos requeridos para la elaboración de un inventario de emisiones de fuentes fijas?
- ¿Existe un campo para identificar la fecha y la persona (con sus iniciales) que realiza la captura o modificación de datos?
- ¿La base de datos cuenta con un sistema de detección de datos (número y tipo de caracteres) antes de registrar la entrada de datos en los campos?

La mayoría de las actividades relacionadas con la auditoría son aplicables también a inventarios de otro tipo de fuentes, y algunas pueden ser realizadas al interior de la organización o institución que desarrolla el inventario, es decir, a través de auditorías internas. Sin embargo, para el caso de la revisión final del inventario de emisiones es recomendable contar con la opinión de algún experto ajeno a dicha organización o institución, es decir, contar con una o más auditorías externas.

Generalmente, las auditorías deben finalizar con un reporte por escrito que contenga, entre otros elementos (Radian, 1997):

- datos de identificación del auditor,
- fecha en que se realiza la auditoría,
- lugar donde se realiza la auditoría,
- objetivo de la auditoría,
- descripción del sistema, datos o proceso que se audita,
- nombres de las personas que participan,
- hallazgos y recomendaciones correctivas y de mejora, y
- discusión sobre el seguimiento de resultados de auditorías previas.

Es posible que existan otros instrumentos útiles para lograr que el proceso de elaboración del inventario se desarrolle con la mejor calidad posible. Por ejemplo, existe información generada y utilizada por la EPA como parte de su programa de mejora de inventarios de emisiones (*Emissions Inventory Improvement Program*). Dentro de esta información se cuenta con un reporte técnico que explora y detalla cada uno de los diferentes métodos disponibles para asegurar la calidad de los resultados del inventario, e incluso existe un *software* que puede automatizar algunas de estas actividades, conocido como DARS (*Data Attribute Rating System*) (Radian, 1997). Algunos de los métodos referidos por la EPA en su reporte técnico, tales como los recálculos, las comparaciones con datos de referencia y las auditorías externas, ya han sido considerados como parte de las actividades de A y CC en cada capítulo de esta guía.

Otra alternativa, si se quiere ver el proceso del desarrollo del inventario como un sistema que requiere administrar sus procesos y actividades para asegurar el cumplimiento de sus metas y sus objetivos de la calidad, sería aplicar normas o estándares internacionales tipo ISO.

Validación de resultados de la estimación

Según la literatura, existen dos formas de abordar el inventario de emisiones para revisar su contenido y detectar algún error general o inconsistencia. Una aproximación es la evaluación conocida como abajo-arriba (*bottom-up*) y la otra es la evaluación denominada arriba-abajo (*top-down*) (NARSTO, 2005).

La evaluación abajo-arriba se enfoca en cada uno de los componentes del estimado para identificar los elementos que pueden introducir un error al inventario. Con este enfoque se realiza una evaluación en cada paso o etapa del desarrollo

del inventario, mediante actividades encaminadas a revisar con detalle todos los elementos, los datos y los procesos correspondientes a dicha etapa para identificar y corregir errores o inconsistencias. Por tanto, esto puede ser parte de lo que involucra la implementación del plan de aseguramiento y control de la calidad a lo largo del desarrollo del inventario.

Por otro lado, la principal característica de la evaluación arriba-abajo es que toma el inventario como un todo y no mira sus componentes por separado, sino que compara sus atributos y resultados con datos generados en procesos externos para determinar si estos son razonables y confiables, es decir, para validarlos. Sin embargo, la validación no implica que los resultados de la estimación representen exactamente la realidad, sino que con la validación puede detectarse que en el desarrollo del inventario existe un error o una inconsistencia que afecta a los resultados, pero no puede llegar a especificarse en qué parte de la información o proceso se encuentra dicha inconsistencia.

Los métodos más sencillos para realizar una validación del inventario de emisiones de fuentes fijas es tomar los resultados del inventario y contrastarlos con datos externos, es decir, generados de manera independiente a la del desarrollo del inventario. Por ejemplo, es posible realizar una comparación de los resultados con otros inventarios anteriores de la misma ciudad, o bien con inventarios de emisiones de otras ciudades que cuenten con fuentes fijas de emisión similares para ver, a grandes rasgos, si los resultados parecen razonables. Así mismo, es posible estudiar las estadísticas de consumo de combustible y determinar con base en ellas si los resultados parecen moderados haciendo, por ejemplo, un balance de masa para SO_2 o un recálculo de la emisión de todos los contaminantes considerados en el inventario con base en el consumo de combustible, número de empleados, cantidad de materia prima utilizada o cantidad de producto generado.

Es posible también implementar métodos inversos para realizar una validación general de los resultados del inventario. Los métodos inversos utilizan modelos de la calidad del aire que asocian los niveles de emisiones requeridos para explicar los niveles de concentración observados (Molina, 2002). Sin embargo, para estos casos es necesario contar con el inventario no solo de fuentes fijas, sino de todas las fuentes que contribuyen con sus emisiones a las concentraciones que puedan observarse a través del monitoreo atmosférico.

Además, existen métodos para evaluar, por ejemplo, la estimación de las emisiones de plantas de energía eléctrica a través de su contraste con tendencias históricas; si los resultados siguen la tendencia esperada, se toman como confiables; si no son acordes con la tendencia esperada, puede haber un problema de incertidumbre en la información o en los cálculos. Otras formas de aplicar este tipo de evaluaciones consisten en realizar transectos de las plumas de contaminantes a través de aeronaves equipadas con instrumentos que realizan mediciones rápidas que permiten derivar el flujo de emisiones a partir de las concentraciones ambientales, aunque esto puede resultar costoso; o bien es posible aplicar técnicas de modelación inversa para contaminantes específicos como el NH_3 (NARSTO, 2005).

Una vez implementado todo el procedimiento contemplado en el plan del aseguramiento y control de la calidad, incluidas las actividades intermedias y las auditorías y validaciones finales, se considera que se ha evitado al máximo la incidencia de errores tanto en la recopilación de la información como en el cálculo de las emisiones de fuentes fijas. Se recomienda entonces mencionar en el inventario final los puntos relevantes que no hayan podido ser atendidos o resueltos como parte del procedimiento de A y CC, y que comprometen o limitan de alguna manera la calidad del inventario. Aun cuando la resolución de estos asuntos no esté al alcance del desarrollador del inventario, su socialización permitirá generar la oportunidad de estudiar las acciones requeridas para mejorar la calidad y la disponibilidad de la información necesaria para estimar las emisiones de fuentes fijas, y promoverá la acción conjunta y participativa de las diferentes entidades encargadas de generar, manejar y usar dicha información.

El hecho de que existan elementos que comprometan la calidad del inventario y que no haya sido factible subsanarlos nos indica que aun los inventarios de la mejor calidad disponible pueden verse afectados en cuanto a la confiabilidad de sus resultados. Es por ello que, aunado a la realidad de que no es posible contar con una estimación de emisiones que tenga una precisión perfecta, se recomienda evaluar el grado de incertidumbre que afecta a los resultados una vez finalizado el inventario.

5.2 Evaluación de la incertidumbre asociada con el inventario

La incertidumbre no se refiere al tipo de errores que se pueden evitar o detectar y corregir con las actividades de control de la calidad, sino que tiene que ver con la confiabilidad del inventario; es decir, con el grado de confianza con el que la información y los resultados de las estimaciones se acercan o se alejan de la realidad. La incertidumbre puede provenir tanto del uso de datos e información sobre las fuentes fijas y sus procesos, como de la implementación de las diferentes técnicas de estimación de emisiones.

Incetidumbre asociada con la información utilizada como insumo para la estimación

En general, la información recolectada para el desarrollo del inventario de emisiones de fuentes fijas, incluidas las características de la fuente, sus especificaciones, los datos de actividad e incluso la información sobre los parámetros de la chimenea y el equipo de control, puede acarrear incertidumbre a los resultados. Esto puede deberse a diversos factores asociados con la fuente de información del dato o pieza de información, así como con el uso o manejo que se hace de ese dato.

Respecto a las fuentes de información que proporcionan datos generales de la fuente emisora y su operación, existe en la práctica una preferencia por obtener información de manera indirecta; por ejemplo, a través de documentos reportados por los propios establecimientos, como es el caso de la COA. Estos instrumentos son eficaces, ya que permiten adquirir gran cantidad de información de manera rápida, conjunta y a bajo costo; sin embargo, suelen estar sujetos a faltas u omisiones durante su llenado, y no siempre es posible subsanarlas. Cuando se utiliza la información contenida en la COA, ya sea federal o estatal, es necesario que el desarrollador del inventario procure distinguir los datos que puedan ser confiables de acuerdo con el procedimiento de A y CC. Como se ha mencionado en el capítulo 3, en caso de que haya datos faltantes se recurre entonces a otros métodos o fuentes de información.

Cuando se utilizan fuentes de información como las encuestas o entrevistas y las inspecciones en fuente, se considera que se obtienen datos que suelen ser más confiables, ya que provienen directamente de la fuente y son recopilados por personal experto o familiarizado con la información que se está manejando. Sin

embargo, no siempre es posible tener acceso a las instalaciones de la fuente fija y a los detalles de sus procesos y, aunque se tuviera, no siempre se cuenta con los recursos económicos y humanos para obtener la información directamente de cada fuente.

Entonces, cuando no hay suficiente información local y específica disponible respecto a la fuente fija, su actividad, el combustible que utiliza, o cualquier otro detalle necesario para la estimación, y no es factible medirla directamente, entonces hay que recurrir a datos históricos, estadísticas e incluso a datos extrapolados de otros países o regiones o de otras fuentes, y hacer algunas suposiciones. En estos casos se introduce mayor incertidumbre al posterior cálculo de emisiones debido a que el dato es menos confiable, ya que es menos probable que sea un dato cercano a la realidad.

Durante el procesamiento de la información sobre las fuentes fijas es posible también generar incertidumbre que se acarrea hasta los resultados de las emisiones. Por ejemplo, cuando se tiene un dato medido en una cierta época del año o en ciertas condiciones de operación en un momento dado y se extrapola a periodos más largos, como un año completo. Entonces se introduce incertidumbre debido a que no se puede asegurar que el comportamiento del equipo o las condiciones de operación sean constantes durante todo ese tiempo.

Así, cada pieza de información sobre la fuente de emisión que se obtiene de manera indirecta o que se estima a partir de datos de referencia o datos subrogados acarrea un cierto grado de incertidumbre que se refleja en una menor confiabilidad en los resultados, es decir, en la estimación de emisiones.

Incertidumbre asociada con las técnicas de estimación

Además de la información utilizada, es posible también introducir incertidumbre al estimado al implementar las técnicas de estimación. Como se dijo en el capítulo anterior, la confiabilidad de cada técnica es directamente proporcional a su precisión y, por tanto, a su costo.

Se considera que las pruebas en la fuente proporcionan información más precisa, por lo que su incertidumbre sería muy baja, siempre que el equipo esté calibrado y el monitoreo sea continuo y permita observar variaciones a lo largo del tiempo. Sin embargo, no todos los establecimientos cuentan con este tipo de monitoreo,

porque no lo exige así la normatividad; el tipo de monitoreo depende del tamaño del equipo, del contaminante de interés y del tipo de combustible empleado. Por ejemplo, la NOM-085-SEMARNAT-1994 establece el monitoreo continuo para el caso de los NO_x provenientes de equipos de combustión con capacidad mayor a 5250 MJ/h, y establece que el monitoreo continuo de NO_x será permanente en las zonas metropolitanas de las ciudades de México, Guadalajara y Monterrey, con una duración de cuando menos 7 días una vez cada 3 meses en las zonas críticas, y con una duración de cuando menos 7 días una vez cada 6 meses en el resto del país. Por tanto, no es factible recurrir a los resultados del monitoreo continuo en todos los casos.

El monitoreo a corto plazo o manual no es tan confiable como el monitoreo continuo; esto se debe a que, en ocasiones, el monitoreo a corto plazo es realizado en condiciones de operación que no son representativas de la operación del establecimiento a lo largo del tiempo. Así, puede haber monitoreos manuales realizados en días u horarios con baja actividad, lo que resulta en una subestimación de las emisiones al utilizar ese dato como representativo de un periodo más largo y, por ende, hace poco confiable la estimación. Este caso se aplica para contaminantes como PM, NO_x, SO₂ y CO.

Por lo tanto, hay casos en los que debe recurrirse a otras técnicas de estimación, tales como los factores de emisión. Los factores de emisión son la herramienta más común empleada para estimar las emisiones de un establecimiento; sin embargo, el uso de factores de emisión también puede acarrear incertidumbre a la estimación. Esto se debe a la cantidad inherente de variabilidad y cambios en los equipos de cada establecimiento, y a las variaciones en las condiciones ambientales, sin olvidar la variabilidad natural intrínseca de todo proceso (Harris et al, 2005 y Molina, 2002). Si bien los factores de emisión han sido determinados con base en mediciones directas en fuentes o equipos con similares características, no es posible que todos los equipos con las mismas características se comporten exactamente igual. Además, como ya se ha mencionado y documentado, en nuestro país se utilizan factores de emisión desarrollados en Estados Unidos, que pueden no ajustarse a la realidad nacional debido a variaciones en las condiciones ambientales así como en el propio diseño y el mantenimiento de los equipos.

Cuantitativamente, es posible evaluar la incertidumbre de los factores de emisión; sin embargo, este es un proceso complicado basado en modelos probabi-

lísticos y análisis Montecarlo. Por ejemplo, la EPA ha desarrollado un sistema de evaluación de factores de emisión contenidos en el AP-42, a través de radios de incertidumbre basados en las estadísticas de la distribución del propio factor. Así, se determinan radios de incertidumbre en el percentil 10, 25, 75 y 95, y para diferentes valores de n , que en este caso es el número de mediciones o muestras con las que se derivó el factor. Lo que se ha observado en este estudio es que mientras más grande es la n , el valor del radio de incertidumbre disminuye (US EPA, 2007).

Los factores de emisión están disponibles para diversos contaminantes, como SO_x, NO_x, PM, HCT y CO. Sin embargo, en algunos casos es recomendable implementar otra técnica de estimación de emisiones para obtener las emisiones de algún contaminante. Tal es el caso de la aplicación del balance de masa para determinar los COV emitidos como resultado de algunos procesos y el SO₂ resultante de la combustión de combustibles fósiles.

Como ya se dijo en el capítulo 4, la complejidad intrínseca al balance de masa radica en que requiere contar con toda la información respecto a las características y cantidades de materiales y sustancias de entrada como de salida, y también con la caracterización de los procesos químicos involucrados. Tratándose, por ejemplo, de emisiones de SO₂ por quema de combustibles fósiles, no siempre es posible conocer en detalle la composición del combustible. Generalmente, se asumen las características del combustible requeridas por la NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005; sin embargo, esas características no son constantes y están sujetas a variaciones. Por lo tanto, al usar esta técnica con este tipo de supuestos se introduce incertidumbre en la estimación.

Procedimiento para le evaluación de la incertidumbre

Existen mecanismos acertados y aceptados para evaluar la incertidumbre del inventario de manera cuantitativa; de esta manera, se puede llegar a asignar un valor numérico o un porcentaje de incertidumbre al inventario. Sin embargo, estos métodos son generalmente demandantes en cuanto a recursos técnicos, ya que normalmente involucran el uso de modelos probabilísticos. Así, es necesario determinar la desviación estándar y la distribución de las principales variables involucradas en la estimación; posteriormente, se hace un análisis Montecarlo para determinar la incertidumbre asociada (Radian, 1996).

Algunos métodos combinados, o semicuantitativos, reconocen no ser la herramienta idónea, pero también ayudan a evaluar el inventario de manera más objetiva con base en la información y las técnicas utilizadas (NARSTO, 2005). Tal es el caso del *software* DARS (Data Attribute Rating System)¹¹, desarrollado por la EPA, que permite asignar una calificación semicuantitativa a la calidad de un inventario a partir de la evaluación de la aplicación de las técnicas de estimación y de los datos utilizados, en relación a su origen y a su congruencia espacial y temporal. Por ejemplo, tanto para el factor de emisión como para el dato de actividad, se le asignan valores entre 1 y 10 para su calificación, logrando al final obtener un valor general para el inventario. Los resultados no aseguran que el inventario con mejor calificación sea el más confiable, pero indican que el estimado está basado en mejor información y técnicas de estimación. Este sistema se puede aplicar a los inventarios de emisiones de fuentes fijas, pero con algunas restricciones debido a que no pueden evaluarse las instalaciones por separado, sino que deben agruparse por conjuntos de estimaciones realizadas de manera similar (ERG, 1997).

Sin embargo, la incertidumbre es un concepto que generalmente se entiende como algo cualitativo, ya que no existen valores de referencia para comparar las estimaciones con las emisiones reales y cuantificar su confiabilidad. De manera cualitativa también es posible reportar la incertidumbre utilizando la forma narrativa. Para ello, es necesario hacer una lista de las fuentes de incertidumbre y discutir las más relevantes; incluso, si se cuenta con algunos datos estadísticos de las variables utilizadas, se discuten también (Radian, 1996).

Con base en lo anterior, es evidente que la forma más sencilla de evaluar la incertidumbre de un inventario de emisiones, en este caso de fuentes fijas, es un método semicuantitativo o cualitativo. Es por ello que a continuación se presenta una propuesta de evaluación; cabe resaltar que esta evaluación es para fines de orientación y no tiene ningún reconocimiento ni validación por parte de la autoridad ambiental. Sin embargo, puede ayudar al desarrollador a verificar si las estimaciones son aptas para los usos y objetivos planeados para el inventario.

Esta evaluación muestra un indicador basado en la asignación de valores a las fuentes de incertidumbre; así, se le asignan valores del 1 al 3 tanto a las fuentes de información como a las técnicas de estimación. Considerando esta escala, el

11 Sistema de clasificación de atributos de datos

número 1 indica menor confiabilidad y mayor incertidumbre y el número 3 indica mayor confiabilidad y menor incertidumbre (ver cuadro 5.2). Para realizar esta evaluación se sugiere tomar únicamente las fuentes fijas que tienen la mayor contribución al inventario; por ejemplo, que en su conjunto contribuyan con un 80 % o 90 % de las emisiones. Una vez asignados los valores, se obtiene un promedio aritmético para las fuentes de información y otro para las técnicas de estimación, y se suman. Posteriormente, se puede recurrir al cuadro 5.3 y consultar la recomendación sobre la incertidumbre y los usos asociados con cada inventario dependiendo de los resultados de su evaluación. Se reitera que esta evaluación es meramente de carácter informativo y es también perfectible, por lo que cualquier sugerencia para mejorarlo será bienvenida, tanto por el INECC como por todos los usuarios potenciales de este documento.

Cuadro 5.2 Análisis de incertidumbre: información y técnicas de estimación

RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN		
Grupos de datos a analizar	Fuentes de información	Puntuación
1. Datos generales del establecimiento <ul style="list-style-type: none"> Datos de identificación: nombre, ubicación geográfica, clave de identificación, descripción de categoría o giro (SCIAN), fecha de inicio de operaciones, elevación sobre el nivel del mar, etc. Datos de actividad: calendario de operación del establecimiento (horas/día, días/semana, semanas/año, y porcentaje mensual) e información sobre tipo y usos de combustible, así como de emisiones para el periodo del inventario. 	INSPECCIÓN EN PLANTA	3
	COA	2
	ENCUESTAS Y CUESTIONARIOS	2
	ENCUESTAS Y CUESTIONARIOS PARA VERIFICAR DATOS DE LA COA	3
2. Parámetros de la chimenea <ul style="list-style-type: none"> Ubicación, altura, diámetro, temperatura y velocidad de salida de gases y tasa de flujo volumétrico. 		
3. Factores que afectan la emisión <ul style="list-style-type: none"> Condiciones ambientales y datos sobre el diseño y procesos. Identificación del equipo de control, sus características y eficiencia. 		
4. Fuentes de emisión adicionales <ul style="list-style-type: none"> Datos de procesos adicionales, uso de aditivos y solventes, emisiones del equipo de control, emisiones fugitivas, uso de vehículos y montacargas, manejo y almacenamiento de materiales. 	OTRAS (NOM, datos estadísticos o históricos, especificaciones del fabricante del equipo, etc.)	1

Fuente: INE con base en Radian, 1996

TÉCNICAS DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES					
Categoría de fuente	Tipo de emisión	Contami-nante	Muestreo en la fuente	Factor de emisión	Balace de masa
Generación de energía eléctrica	Combustión	CO	3	2	
		NOx	3	2	
		SOx	3	1	2
		COV	3	2	
		PM	3	2	
		NH ₃	3	2	
Manufactura química	Proceso	COV	3	2	
	Combustión	NH ₃	3	2	
		CO	3	2	
		NOx	3	2	
		SOx	3	1	2
		COV	3	2	
		PM	3	2	
Refinación de petróleo	Combustión	NH ₃	3	2	
		COV	3	2	
		CO	3	2	
		NOx	3	2	
		SOx	3	1	2
		COV	3	2	
	Proceso	PM	3	2	
Siderurgia básica y secundaria (para secundaria no se aplican los datos de SOx)	Combustión	NH ₃	3	2	
		COV	3	2	
		SOx	3	1	2
		PM	3	2	
		CO	3	2	
		NOx	3	2	
	Proceso	COV	3	2	
Producción de cemento	Combustión	NH ₃	3	2	
		PM	3	2	
		COV	3	2	
		SOx	3	1	2
		NOx	3	2	
		CO	3	2	
	Proceso	PM	3	2	
Industria automotriz	Combustión	NH ₃	3	2	
		PM	3	2	
		COV	3	2	
		SOx	3	1	2
		NOx	3	2	
		CO	3	2	

TÉCNICAS DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES					
Categoría de fuente	Tipo de emisión	Contami-nante	Muestreo en la fuente	Factor de emisión	Balace de masa
Industria del papel	Proceso	COV	3	2	
		SOx	3	2	
		PM	3	2	
	Combustión	CO	3	2	
		NOx	3	2	
		SOx	3	2	1
		COV	3	2	
		PM	3	2	
		NH ₃	3	2	
Producción de gas y petróleo	Proceso	COV	3	2	
	Combustión	CO	3	2	
		NOx	3	2	
		SOx	3	1	2
		COV	3	2	
		PM	3	2	
		NH ₃	3	2	
Manufactura de productos de madera	Proceso	COV		2	3
		PM	3	2	
	Combustión	CO	3	2	
		NOx	3	2	
		SOx	3	2	1
		COV	3	2	
		PM	3	2	
		NH ₃	3	2	
Producción de azúcar	Proceso	PM		3	
	Combustión	CO	3	2	
		NOx	3	2	
		SOx	3	2	1
		COV	3	2	
		PM	3	2	
		NH ₃	3	2	
Curtido y acabado de pieles	Proceso	COV	3		
	Combustión	CO	3	2	
		NOx	3	2	
		SOx	3	2	1
		COV	3	2	
		PM	3	2	
		NH ₃	3	2	

TÉCNICAS DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES					
Categoría de fuente	Tipo de emisión	Contami-nante	Muestreo en la fuente	Factor de emisión	Balace de masa
Producción de vidrio	Proceso	PM	3	2	
		COV	3	2	
	Fundición y combustión	CO	3	2	
		NOx	3	2	
		SOx	3	2	
		COV	3	2	
		PM	3	2	
NH ₃	3	2			
Partes de hule y plástico	Proceso	COV	3	2	
	Combustión	CO	3	2	
		NOx	3	2	
		SOx	3	2	1
		COV	3	2	
		PM	3	2	
	NH ₃	3	2		
Fabricación de productos metálicos	Proceso	PM	3	2	
	Combustión	CO	3	2	
		NOx	3	2	
		SOx	3	2	1
		COV	3	2	
		PM	3	2	
	NH ₃	3	2		
Industria textil	Proceso	COV	3	2	
	Combustión	PM	3	2	
		CO	3	2	
		NOx	3	2	
		SOx	3	2	1
		COV	3	2	
	PM	3	2		
NH ₃	3	2			
Plantas de asfalto	Proceso	PM	3	2	
	Combustión	CO	3	2	
		NOx	3	2	
		SOx	3	2	1
		COV	3	2	
		PM	3	2	
	NH ₃	3	2		

Ejemplo de la aplicación de método de evaluación cualitativa del inventarios

Considérese cuatro plantas cementeras hipotéticas cuyos puntajes y promedios en cuanto a sus fuentes de información y técnicas de estimación se presenta a continuación (ver cuadro 5.2).

	Fuentes de información (puntaje)	Técnicas de estimación (puntaje)
Planta 1	3	2
Planta 2	2	2
Planta 3	2	1
Planta 4	1	2
Promedio	$(8/4) = 2$	$(7/4) = 1.8$

La suma de ambos puntajes es 3.8, así que de acuerdo con el cuadro 5.3 el inventario tiene una incertidumbre media, lo que a su vez indica que se tiene un riesgo medio de tomar decisiones equivocadas. Finalmente, se importante decir que este tipo de ejercicios son de gran utilidad para identificar los datos o cálculos que requieren de un mayor esfuerzo para incrementar su confiabilidad, lo que proporciona elementos adicionales de información para su actualización y mejoramiento.

Cuadro 5.3 Incertidumbre del inventario y usos potenciales

Puntuación	Incertidumbre	Principales características	Usos potenciales
1-2.5	Alta	Inventario creado a partir de insumos y técnicas de estimación generales a los que se les asocia una gran incertidumbre.	Inventario que puede ser empleado solamente como una primera aproximación o evaluación diagnóstica de las emisiones provenientes de fuentes fijas en un lugar determinado.
2.6-4.5	Media	Inventario creado a partir de insumos y técnicas de estimación, tanto generales como específicas; sin embargo, se les asocia un cierto grado de incertidumbre.	Inventario que puede ser empleado en la evaluación de los impactos (sentido y magnitud) que tienen diferentes medidas de control en las emisiones de fuentes fijas. Por el grado de incertidumbre de los datos empleados en su elaboración aún puede haber algún riesgo de tomar decisiones equivocadas; sin embargo, este grado de riesgo es manejable.
4.6-6	Baja	Inventario creado a partir de insumos y técnicas de estimación más confiables a los que se les asocia una menor incertidumbre.	Inventario que puede ser empleado en la evaluación de los impactos (sentido y magnitud) que tienen diferentes medidas de control en las emisiones de fuentes fijas o fines más específicos como la modelación. El riesgo de tomar decisiones equivocadas a partir de la información derivada de este tipo de inventarios es menor.

Fuente: elaboración propia, INE

Elaboración del reporte final

Elaborar un inventario de emisiones es un proceso integral que requiere no solo del cálculo o estimación de las emisiones, sino también de un buen formato de presentación de resultados. Podría decirse incluso que el impacto del inventario depende, en parte, de la forma en que se comunican sus resultados. Generalmente, la manera en que se presentan los resultados de un inventario de emisiones a sus potenciales usuarios consiste en la publicación y la distribución de un reporte final. Este reporte debe ser claro y detallado en la medida que permita un buen manejo de la información y la transmita en un formato útil para los usuarios. Este capítulo aborda la descripción de los elementos mínimos requeridos para elaborar un reporte final de inventario de emisiones, entre los cuales se encuentran los siguientes:

- Título
- Agradecimientos
- Índice de contenido
- Resumen ejecutivo
- Introducción
- Características del inventario
- Integración del inventario
- Presentación de resultados
- Análisis de resultados
- Conclusiones y recomendaciones
- Bibliografía
- Apéndices
- Documentos derivados del reporte



6.1 Título

La primera información que se proporciona al lector es el título o nombre de un trabajo, de modo que este debe ser atractivo, informativo y preciso respecto al contenido que se quiere transmitir. Se recomienda incluir en el título datos que permitan identificar el tipo de inventario de que se trata, su alcance o cobertura

y el año base para reflejar el periodo al cual se refieren las emisiones reportadas. Por ejemplo: “Inventario de emisiones de fuentes fijas del estado de Veracruz, 2004”; este título refleja que el contenido del reporte incluye la estimación de emisiones de fuentes fijas, que abarcó todo el territorio del estado de Veracruz y que los datos reportados corresponden a las emisiones generadas durante el año 2004.

Adicionalmente, conviene incluir en el título el tipo o grupo general de contaminantes que contiene el inventario y el medio que se ve afectado. Las posibilidades incluyen los contaminantes criterio o locales, los contaminantes tóxicos y los gases de efecto invernadero; en este caso, por ejemplo, se trata de inventarios de emisiones de contaminantes criterio o locales. En cuanto al medio que se ve afectado, las opciones incluyen el aire, el agua y el suelo; sin embargo, en este caso particular se trata de emisiones al aire o a la atmósfera. Así, el título completo del inventario sería, por ejemplo: “Inventario de emisiones a la atmósfera de contaminantes criterio provenientes de fuentes fijas en el estado de Veracruz, 2004”.

Para la publicación del reporte final, generalmente se incluye el título así como el nombre y el logotipo de la institución o instituciones que participan en la elaboración del inventario en la portada del documento.

6.2 Agradecimientos

Generalmente, la elaboración de un inventario de emisiones constituye un gran esfuerzo conjunto de diversos actores. Incluso, las autoridades responsables de la elaboración del inventario procuran la ayuda y el apoyo de muchas otras autoridades y entidades públicas, privadas y académicas. Normalmente, en esta sección, los autores reconocen por escrito la participación de todas estas personas, instituciones, organizaciones, universidades o entidades que ayudaron o contribuyeron de alguna manera. Así mismo, se reconoce a quienes apoyaron con información o con recursos económicos la elaboración del propio inventario, de manera que la mención de todos ellos se considera una cortesía.

Schemelkes (1992) sugiere que en primer lugar se debe citar a los individuos que específicamente han colaborado en el desarrollo de la investigación (en este

caso en la elaboración del inventario), en segunda instancia a las instituciones que permitieron el desarrollo del trabajo aportando información o algún otro apoyo, y finalmente a las fuentes de ayuda financiera.

También es indispensable considerar los protocolos locales para la publicación de este tipo de documentos. Por ejemplo, en algunos estados o entidades se acostumbra incluir un directorio de los funcionarios que estuvieron involucrados en el proceso del inventario, o bien se acostumbra recabar e incluir en la publicación las firmas del gobernador del estado, del secretario del ramo correspondiente, etc.

6.3 Índice

El índice de contenido en un libro, reporte u otra publicación es imprescindible; consiste en una lista ordenada del título, así como los capítulos, temas y subtemas contenidos en el documento con indicación precisa de la página donde se ubican. Esto permite al lector la identificación de un tema específico y su fácil acceso. Para el caso de un informe final de inventario de emisiones de fuentes fijas, es altamente recomendable que se incluya también, por separado, un índice para los cuadros y uno para las figuras empleadas; de este modo, se consigue que la información y los resultados sean fáciles de encontrar y de utilizar para el usuario.

6.4 Resumen ejecutivo

El resumen ejecutivo consiste en una síntesis de todo el documento, y se elabora con la finalidad de brindar información condensada que sirva al lector para identificar los principales componentes y resultados del inventario.

Dentro de este apartado se debe incluir una breve descripción de los objetivos, las características del inventario (cobertura espacial y temporal), la metodología empleada en la estimación de las emisiones (sin entrar en mayores detalles), los resultados más importantes y las conclusiones generales.

Muchos usuarios, incluidos los tomadores de decisiones, acuden de entrada al resumen ejecutivo para tener una visión rápida del contenido. De la calidad del resumen depende, entonces, que el usuario se interese y emprenda una lectura

exhaustiva del resto del documento. Por ello, es indispensable invertir tiempo y creatividad en esta sección, para asegurar el impacto deseado en el lector.

6.5 Introducción

La introducción ofrece una perspectiva global del trabajo desarrollado para la generación del inventario y el contexto en el que este se ubica. Como parte esencial de su contenido, se deben desarrollar los siguientes puntos:

- *Situación actual sobre la calidad del aire*, la cual se apoya en estudios previos sobre inventarios de emisiones de fuentes fijas y medición de concentración de contaminantes en la zona de cobertura del inventario; se inicia esta descripción con los aspectos generales que definan el avance en el conocimiento que se tiene sobre este tipo de emisiones.
- *Justificación y objetivos de la elaboración del inventario*. En esta etapa se recomienda mencionar, a manera de antecedente, el origen legal, administrativo o de investigación que avale la responsabilidad de la entidad que elabora el inventario; es decir, el fundamento en el cual se basa la elaboración del inventario, haciendo referencia a las leyes aplicables y a otros documentos relacionados. Así mismo, es oportuno incluir los argumentos que justifican la elaboración de dicho inventario y los objetivos que se pretende alcanzar al generarlo.
- *Estructura del informe*. La introducción concluye con un repaso general muy breve del contenido del informe que indique la forma en que está integrado el reporte del inventario, y se acompaña de una descripción concisa del contenido de cada capítulo que lo integra.

6.6 Características del inventario

Esta sección expresa las principales características que debe contener un inventario de emisiones de fuentes fijas. Entre estas se mencionan la cobertura geográfica, la resolución espacial, la resolución temporal, los contaminantes a considerar o inventariar y las categorías de fuentes emisoras que han sido incluidas en el inventario. Aquí se explican las razones por las cuales se han seleccionado dichas características específicas y también se reporta si existen elementos que comprometan dichas características; por ejemplo, si hubo información que no estuvo disponible para el año base seleccionado y se utilizó información de un año diferente para subsanar dicha falta.

6.7 Integración del inventario, limitaciones y actualización

En este apartado se explica clara y detalladamente la forma en que fue integrado el inventario y las limitaciones encontradas. Se describe el proceso de planeación y desarrollo del inventario, los procesos de recopilación de información y datos sobre las fuentes fijas, las técnicas de estimación utilizadas para obtener las emisiones y la composición del plan de aseguramiento y control de la calidad, así como el proceso de implementación de dicho plan. En general, se recomienda que en esta sección del informe se aborden, al menos, los puntos mencionados de la sección 6.7.1 a la 6.7.4.

Panorama general del proceso de desarrollo del inventario

En esta sección se describe de manera clara y detallada el proceso que se ha seguido para la integración del inventario; se consideran todas sus etapas, tanto de planeación como de ejecución, incluidas las limitaciones encontradas. Así mismo, se debe dar cuenta del proceso que se estima necesario seguir para la actualización del inventario. Se deberá abordar el tema de la periodicidad con la que será actualizado el inventario y las fechas estimadas para generar estas actualizaciones, que generalmente son cada 2 o 3 años. Es posible también considerar los aspectos técnicos, administrativos, de acceso a la información, de regulación vigente e incluso de recursos económicos requeridos para la realización de dichas actualizaciones.

Recopilación de datos

Esta sección describe el proceso para la recopilación y el almacenamiento de datos, así como la forma en que los datos clave fueron obtenidos y procesados para realizar los cálculos de las emisiones. Se puede especificar la fuente de donde se obtuvieron los datos, así como las limitaciones en la información que se hayan enfrentado y las medidas que el desarrollador haya tomado al respecto. También deben mencionarse las actividades de aseguramiento y control de la calidad que se hayan llevado a cabo durante la recopilación de los datos e información sobre las fuentes fijas y su actividad.

Metodología

Describe los aspectos relacionados con las técnicas de estimación de emisiones, así como las limitaciones encontradas al implementar alguna de las opciones para esta estimación, ya sea el muestreo en la fuente, el uso de factores de emisión o el balance de masa. Independientemente del método que se use, este deberá ser

documentado y también debe justificarse su uso. Así mismo, deben mencionarse tanto las actividades de A y CC que se hayan llevado a cabo al implementar cada técnica de estimación como la existencia de la bitácora de actividades y la memoria de cálculo, y referir al anexo donde estas se ubiquen o la institución donde se puedan obtener mediante solicitud formal.

Aseguramiento y control de la calidad

Este es el elemento fundamental no solo para la estimación de las emisiones, sino para asegurarse de que todo el proceso de elaboración del inventario sea confiable. Además de mencionar las actividades de A y CC llevadas a cabo durante la recopilación de información y la propia estimación de emisiones, es necesario mencionar cualquier otra actividad implementada. Así, se hace referencia a las auditorías tanto internas como externas llevadas a cabo y todas las actividades que se hayan implementado para validar los resultados que se presentarán en el reporte del inventario.

6.8 Presentación de resultados

Esta parte del informe final se debe redactar con la mayor claridad posible. Existen diversas formas de presentar estos resultados; es conveniente que el reporte dé cuenta de varias de ellas con la finalidad de ofrecer toda la información generada de manera estructurada y clara. Las emisiones se pueden reportar por giro o tipo de actividad industrial y por contaminante, así como con diferente resolución espacial.

La presentación de resultados se apoya en el uso de cuadros y figuras. Estas herramientas son útiles para comunicar los resultados de manera efectiva e ilustrativa a los lectores. Los cuadros son ayudas visuales que organizan los resultados de forma numérica y los comunican al lector. Se recomienda su uso cuando se desea indicar una relación que es difícil de explicar por escrito o cuando se quiera facilitar la presentación de la información. El cuadro debe ser independiente del texto; sin embargo, es necesario mencionarlo en él. Las figuras, que suelen incluir gráficas, por lo general son una representación sintetizada para ilustrar los resultados de la emisión de contaminantes. Todos los cuadros y las figuras deben estar numerados y poseer títulos claros y concisos que indiquen su contenido, así como estar enlistados en un índice correspondiente.

Al reportar los resultados del inventario con apoyo de datos, cuadros y gráficas, es recomendable atender las siguientes consideraciones:

- Presentar la contribución de diversas categorías de fuente en porcentaje de emisiones por cada contaminante (ver figura 6.1).
- Presentar las emisiones de diversos contaminantes por categoría, giro o sector estratégico (ver figura 6.2).
- No presentar las emisiones sumadas de todos los contaminantes provenientes de fuentes fijas en una sola gráfica (ver figura 6.3).
- No presentar información reservada o confidencial, como es el caso de algunos datos específicos sobre procesos y fuentes de emisión.

Figura 6.1 Ej. A. Presentación de resultados por fuente y por contaminante

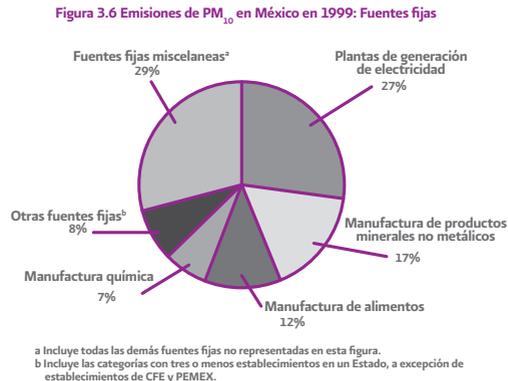
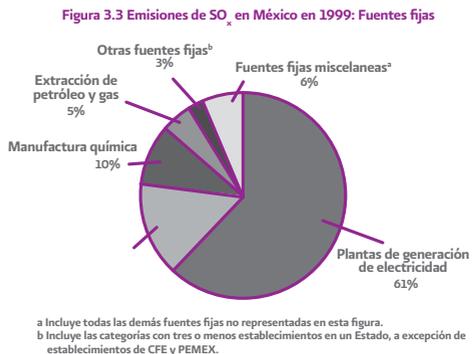
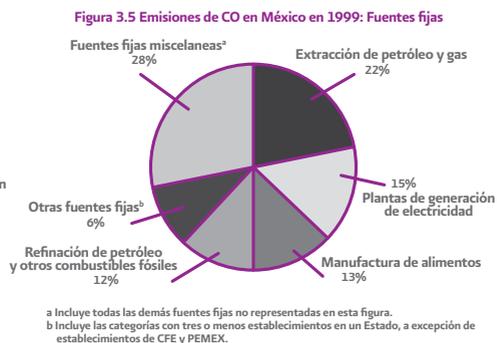
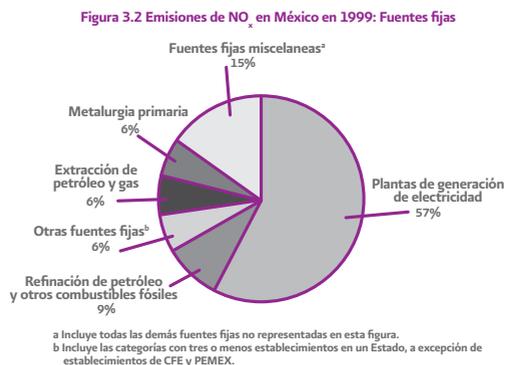


Figura 6.1 Ej. A. Presentación de resultados por fuente y por contaminante

CUADRO 3-2. EMISIONES DE FUENTES FIJAS EN MÉXICO EN 1990, POR CATEGORÍA

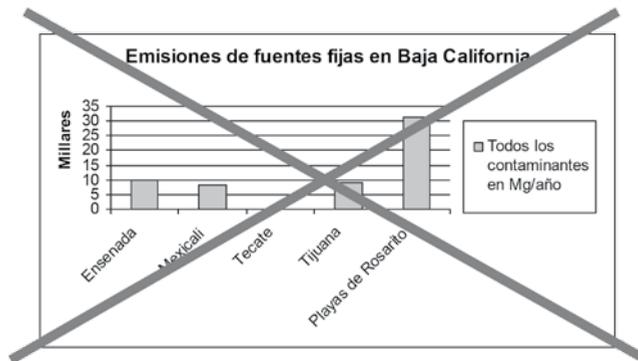
CATEGORÍAS DE FUENTES FIJAS	SCIAN	NÚM. DE ESTABLECIMIENTOS	EMISIONES ANUALES (Mg/año)					
			NO _x	SO _x	COV	CO	PM ₁₀	PM _{2.5}
Fabricación de prendas de vestir	315	47	251.5	1,714.0	26.1	39.0	170.8	83.4
Manufactura de bebidas y derivados del tabaco	312	57	656.0	2,640.1	81.0	238.3	241.7	140.0
Manufactura química	325	631	19,325.0	274,483.3	31,605.7	7,194.3	22,058.5	14,469.7
Manufactura de computadoras y equipos electrónicos	334	47	153.0	4.2	2,350.7	118.5	245.3	212.7
Manufactura de equipo eléctrico, electrodomésticos y sus componentes	335	41	253.3	4.7	1,524.3	1,212.8	3,440.4	3,186.1
Manufactura de productos metálicos elaborados	332	395	4,033.4	476.1	6,878.7	1,584.5	5,449.1	4,885.1
Manufactura de alimentos	311	335	14,755.9	55,122.4	12,492.3	21,816.7	36,708.8	15,395.8
Manufactura de muebles y productos relacionados	337	68	9.6	5.5	2,195.9	1.6	80.1	53.4
Manufactura de artículos de piel y derivados	316	43	40.6	173.6	564.3	7.7	21.8	14.9
Manufactura de maquinaria	333	10	38.1	0.1	216.9	5.7	5.6	5.2
Comercialización al mayoreo de bienes perecederos	424	86	47.6	31.6	47,276.4	108.8	3.8	3.3
Minería (excepto petróleo y gas)	212	35	2,023.1	10,142.7	263.7	8,461.0	21,730.2	6,819.8
Manufactura miscelánea	339	65	109.2	12.1	1,223.6	23.3	42.8	38.4
Manufactura de productos minerales no metálicos	327	216	21,675.0	33,151.0	2,033.7	6,196.0	51,166.9	35,852.9
Extracción de petróleo y gas	211	73	28,186.4	136,798.2	25,279.0	37,500.3	10,044.1	8,490.7
Manufactura de papel	322	143	2,942.5	20,353.2	3,068.8	7,578.1	2,581.8	1,927.2
Servicios de tintorería y lavandería	812	12	20.1	198.0	0.6	3.4	10.7	7.0
Refinación de petróleo y otros combustibles fósiles	324	11	39,075.3	389,026.3	54,229.6	19,765.6	18,512.8	13,040.2
Manufactura de productos plásticos y de hule	326	52	111.1	564.7	1,261.4	27.0	54.1	34.2
Metalurgia primaria	331	208	24,772.5	15,807.0	6,687.5	11,574.8	18,858.4	17,629.8
Procesos de impresión y otras actividades relacionadas	323	123	34.3	3.4	4,454.9	8.9	16.6	13.3
Reparación y mantenimiento	811	21	0.4	2.4	68.8	0.1	3.9	2.7
Fabricación de insumos textiles	313	111	599.3	3,705.6	371.9	158.1	446.9	294.5
Confección de productos textiles	314	36	119.2	668.8	186.7	32.8	85.8	56.5
Manufactura de equipo de transporte	336	120	869.2	1,005.2	8,089.9	646.8	1,927.0	1,420.3
Plantas de generación de electricidad	221	73	259,833.8	1,604,849.2	11,394.4	25,310.8	79,508.3	62,884.7
Manufactura de productos de madera	321	73	72.7	255.6	1,187.0	611.3	96.4	87.5
Otras fuentes fijas ¹	999	280	28,866.4	82,735.9	22,841.4	17,385.6	23,775.7	12,001.2
Total		3,412	448,874.4	2,633,935.2	247,855.0	167,611.6	297,288.2	199,050.3

¹ Incluye categorías con tres o menos establecimientos en una entidad federativa determinada, excepto establecimientos de PEMEX y CFE.

Fuente: INE-SEMARNAT, 2006

Figura 6.3 Ej. C. Presentación de resultados no recomendada

Resultados de emisiones de todos los contaminantes sumados



Fuente: Construido exclusivamente para ejemplificar un tipo de gráfico no recomendado, con datos de INE-SEMARNAT, 2006.

No se recomienda sumar las emisiones de diferentes contaminantes, ya que esto encubre el mensaje que se quiere transmitir, pues hace la gráfica difícil de interpretar. Aun cuando todos estén en la misma unidad (p. ej. Mg/año), cada contaminante es diferente. Por ejemplo, la figura 6.3 indicaría que en 1999 los dos sitios de mayor preocupación son Playas de Rosarito y Ensenada, cuando en realidad Mexicali presenta las mayores emisiones de PM, que tienden a ser más dañinas para la salud, mientras que Tijuana presenta el segundo lugar en emisiones de COV y NOx, que son precursores de ozono. Así mismo, esta gráfica no nos permite apreciar que el principal contaminante emitido en Playas de Rosarito es el SO₂, y el principal contaminante en Ensenada son los COV (INECC-SEMARNAT, 2006). Por lo tanto, conviene evitar la presentación de este tipo de gráficos, ya que no aportan información clara.

6.9 Análisis y discusión de resultados

El análisis y discusión de resultados consiste en interpretar la estimación de las emisiones de fuentes fijas; el objetivo es determinar la importancia de los resultados y resaltar cuán significativos son dentro de un contexto específico. Así, la principal intención es dar respuestas a preguntas como las siguientes: ¿Cómo surgieron los resultados? ¿Qué significan los resultados? ¿Cuáles son las posibles explicaciones de los resultados? ¿Cómo se comparan estos resultados con otros anteriores? ¿Qué incertidumbre se asocia con los resultados obtenidos? ¿Qué utilidad tienen los resultados?

Es posible comparar los resultados del inventario con otros resultados disponibles de inventarios similares para poner las emisiones en contexto y evaluar la situación del inventario con respecto a otros. Este ejercicio brinda puntos de referencia para entender los resultados y, en caso de que existan inventarios previos realizados con metodologías comparables, permite observar tendencias de las emisiones de fuentes fijas en una línea de tiempo.

6.10 Conclusiones y recomendaciones

Esta sección permite al lector una visión global de los resultados en el contexto de la metodología y los datos usados para su generación, así como de la calidad y la

incertidumbre de estos. En esta sección se hace una recapitulación de los principales hallazgos asociados con el análisis y la discusión de los resultados obtenidos. A través del contenido de esta sección es posible realizar las siguientes acciones:

- señalar las fortalezas y las debilidades en cuanto a la calidad y la incertidumbre de la información generada,
- delimitar los alcances y la utilidad de la información, y
- resaltar las áreas de oportunidad encontradas durante el proceso de elaboración del inventario, incluidas las necesidades de información y datos para aplicar las técnicas de estimación.

En esta sección se incluyen también las recomendaciones o sugerencias respecto al procedimiento general para la estimación de emisiones de fuentes fijas que permitan mejoras significativas en futuras actualizaciones del inventario.

6.11 Bibliografía

Esta sección es importante, ya que incluye el listado de todas las fuentes de información consultadas para integrar el inventario. Esta sección debe incluir las referencias sobre documentos preparados por otras instituciones, páginas electrónicas, entrevistas, encuestas, libros, revistas arbitradas, documentos oficiales, etc., que hayan servido como insumo para la elaboración del inventario.

6.12 Anexos

Los anexos o apéndices incluyen material relevante sobre la elaboración del inventario y sirven como guía para dar mayor claridad y profundidad al reporte final. Todo anexo debe estar referido en el texto del informe final y debe aparecer en el orden en que ha sido mencionado en el cuerpo del trabajo. Entre los documentos que pueden incluirse como anexo se pueden citar los siguientes:

- Memorias de cálculo (que incluyan la información técnica suficiente para reproducir los resultados del inventario. Entre la información básica a incluir se encuentra la siguiente: número, giro y coordenadas geográficas de los establecimientos industriales, características técnicas del equipo y proceso, datos de operación del equipo, cantidad, tipo y características fisicoquímicas de los combustibles utilizados, fuentes de información de los datos, métodos de estimación, consideraciones para los cálculos y resultados).

- Bases de datos usadas como insumos en la estimación de las emisiones de fuentes fijas (por ejemplo, ventas de combustible de PEMEX, generación de energía de la SENER, datos históricos de actividad industrial del INEGI, etc.).
- Bases de datos generadas con los datos que se recopilaban y se generaban durante la estimación de emisiones.
- Encuestas o cuestionarios aplicados para recopilar información.
- Condensado de insumos utilizados para la elaboración del inventario, incluidos los factores de emisión utilizados.
- Mapas de ubicación de los establecimientos.
- Información con mayor grado de resolución o detalle, etc.

6.13 Documentos derivados de los resultados del inventario

Documentos de uso público: el reporte final de emisiones generalmente tiene un grado medio de detalle, es decir, no es tan general como un folleto, pero tampoco tan detallado como una memoria técnica. Por lo tanto, puede considerarse la opción de contar con otras herramientas o instrumentos de comunicación de los resultados, que pueden ser más o menos detallados según sea el público al que se pretende alcanzar. Estos pueden ser concebidos con fines de distribución general para informar a la población sobre los resultados más relevantes, como puede ser el caso de folletos, trípticos, pósters, etc.

Documentos internos: estos documentos suelen ser muy técnicos, como las memorias de cálculo, que son más detalladas. En ocasiones, se publica en el reporte una parte de esta información técnica en los anexos, la que incluye detalles de la metodología del cálculo, etc. Sin embargo, las memorias de cálculo exhaustivas, los documentos elaborados internamente sobre el detalle de todos los supuestos y otros temas técnicos específicos y, en general, todos los documentos utilizados o generados durante la elaboración del inventario se conservan con el propósito de utilizarlos y revisarlos en las posteriores actualizaciones del inventario. Estos documentos pueden ser compartidos a través de una petición formal, siempre y cuando la información contenida en ellos no haya sido clasificada como reservada o confidencial.

Glosario

Caldera	Equipo industrial sujeto a presión que se utiliza para generar vapor.
Combustión incompleta	Quema insuficiente que ocurre cuando el oxígeno o el tiempo disponible en el proceso resultan inferiores a lo necesario, y se produce un exceso de monóxido de carbono (CO).
Combustión subestequiométrica	Tipo de combustión en la que se utiliza una mezcla pobre, es decir, una mayor cantidad de oxígeno del que estaría presente en una combustión ideal o estequiométrica. Esto permite reducir la temperatura de la combustión y, por ende, reducir las emisiones de contaminantes, como los óxidos de nitrógeno (NOx).
Concentración	Cantidad de una sustancia, en términos de masa o de volumen, en relación con el medio que la contiene. Puede ser expresada en partes por millón (ppm) o partes por billón (ppb), o bien en unidades de masa de la sustancia por volumen que la contiene, como g/m ³ .
Contaminantes criterio	Son un conjunto de contaminantes que han sido objeto de evaluaciones publicadas en documentos sobre la calidad del aire en los Estados Unidos y otros países con el objetivo de establecer niveles permisibles de emisión y concentración para proteger la salud, el medioambiente y el bienestar de la población. Actualmente los contaminantes criterio son bióxido de azufre (SO ₂), bióxido de nitrógeno (NO ₂), material particulado (PM), plomo (Pb), monóxido de carbono (CO) y ozono (O ₃).
Dispersión	El comportamiento del contaminante en el tiempo y el espacio después de ser emitido a la atmósfera. Este fenómeno depende tanto de las características fisicoquímicas del contaminante como de las condiciones meteorológicas y geográficas del lugar donde fue liberado.
Emisión	Descarga o vertimiento a la atmósfera de contaminantes, provenientes de actividades o procesos naturales o antropogénicos.
Emisiones fugitivas	Son emisiones involuntarias o accidentales que se producen durante algunos procesos difíciles de controlar totalmente; por ejemplo, las emisiones generadas durante el manejo y la operación de líquidos volátiles.
Flexómetro	Instrumento de medición, similar a una cinta métrica, construido en una tira metálica flexible dividida en unidades de medición; se enrolla en espiral dentro de una carcasa metálica o de plástico.
Higroscopicidad	Capacidad de los materiales para absorber la humedad atmosférica.

Incinerador municipal	Aparato diseñado especialmente para la combustión de desperdicios sólidos, líquidos o gaseosos, y en el cual la temperatura, el tiempo de retención, la turbulencia y el aire de combustión pueden ser controlados a voluntad.
Quemador	Accesorio principal de la caldera cuya función es mezclar el aire con el combustible, o viceversa, para luego introducirlo a presión en forma de llama incandescente al interior de la caldera.
Recirculación de gases	Al reciclar una pequeña cantidad de los gases de escape, la temperatura de carga de la combustión se reduce, y se produce una reducción en los niveles de NOx.

Referencias

- A&WMA, 2000, *Air pollution engineering manual*, Air & Waste Management Association, Segunda Edición, Editado por Wayne T. Davis, Editorial John Wiley & Sons. Inc. USA
- Alcántara, 1990. G. D., *Topografía*, Editorial McGraw-Hill. México
- ERG, 1997. *Data Attribute Rating System (DARS) support software beta version 1.1. User's manual*, Prepared by: Eastern Research Group, prepared for: The Quality Assurance Committee Emission Inventory Improvement Program. USA
- ERG, 2003. *Emissions inventory preparation plan for the Mexico National Emissions Inventory*, Eastern Research Group, Inc. USA
- Harris A.R., B.J. Fifarek, C.I. Davison y R.L., Blackmon *Stationary sources of airborne lead: A comparison emission data for Southern California*, J. Air & Waste Management Association, 2006, No. 56, pág. 512-517
- <http://www.epa.gov/ttnchie1/efpac/uncertainty.html>
- http://www.ine.gob.mx/dgicur/calair/descargas/2002_inf_tecnoteca.pdf
- <http://www.semarnat.gob.mx/gestionambiental/calidaddelair/Pages/FormatoElectronico.aspx>
- INECC, 2002. *Tecnoteca, Tecnologías de control de contaminantes procedentes de fuentes estacionarias*, formato pdf., Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México D.F.
- INEGI, 2002. *Sistema de clasificación industrial de América del Norte*, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Segunda edición. México. 533 pp.
- INECC-SEMARNAT, 2005. *Guía de elaboración y usos de inventarios de emisiones*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, SEMARNAT y Western Governors' Association. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México D.F
- INECC-SEMARNAT, 2006, *Inventario nacional de emisiones de México, 1999*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, SEMARNAT y Western Governors' Association. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México D.F
- Letham L, 2001. *GPS Fácil, Uso del sistema de posicionamiento global*. Editorial Paidotribo. Barcelona.

- Molina L.T. y M.J. Molina, 2002, *Air quality in the Mexico Megacity, An Integrated assessment*, Massachusetts Institute of Technology, Kluwer Academic Publishers, Cambridge, MA, USA.
- NARSTO, 2005. *Improving emissions inventories for effective air quality management across North America*. North America Research Strategy for Tropospheric Ozone. NARSTO 05-001.
- Peavi H. S., D.R. Rowe y G. Tchobanoglous, 1986. *Environmental engineering*, Editorial McGraw-Hill, Singapore.
- Radian, 1995, *Programa de inventarios de emisiones para México, Manuales y Reportes*, Radian International, Sacramento, CA.
- Radian, 1996, EPA Emissions inventory improvement program, Technical Report Series, Vol. VI, Chapter 4, *Evaluating the uncertainty of emission estimates*, Radian Corporation, North Carolina.
- Radian, 1996. *Manuales del programa de inventarios de emisiones de México. Volumen IV - Desarrollo del inventario de fuentes puntuales*. Radian International, Sacramento, CA.
- Radian, 1997, EPA Emissions inventory improvement program, Technical Report Series, Vol. VI, Chapter 3, *Quality Assurance Procedures and DARS Software*, Radian Corporation, North Carolina.
- Schemelkes, C. 1992. *Manual para la presentación de anteproyectos e informes de investigación (tesis)*. Primera edición. Editorial Harla, México.
- SE, 2009, *Diagnóstico de las micro, pequeñas y medianas empresas*. Secretaría de Economía. www.economia.gob.mx
- SEMARNAT, 2001. *Guía para la correcta selección y empleo de métodos de estimación de emisiones contaminantes*, SEMARNAT y la Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte (CCA), México.
- SEMARNAT, 2009a, *Licencia Ambiental Única (LAU)*. Información general y nombre del trámite: SEMARNAT-05-002, en formato ZIP. Última visita: Julio 2009, <http://www.semarnat.gob.mx/gestionambiental/calidaddelaire/Pages/LAU.aspx>
- SEMARNAT, 2009b, *Cédula de operación Anual (COA)*. Formato electrónico de la COA. Última visita: Julio 2009,
- SEMARNAT, 2010, Comunicación con la Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y RETC de la SEMARNAT.
- SEMARNAT, 2012. *Inventario Nacional de Emisiones de México, 2005*. SEMARNAT. Primera edición, México.

- SENER 2011, Balance Nacional de Energía, año 2010.
- SMA-DF, 2012. Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal. Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México, contaminantes criterio 2010. Disponible en la página Web: http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/biblioteca/inventarios_emisiones2010/IEcriterio10_.pdf
- Theodore L. y A.J. Buonicore, 1988. *Air pollution control equipment, Volumen I, Particles y Volumen II, Gases*. CRC Press, Inc, Florida, USA
- US EPA, 1995, *Emission factors & AP-42*. U.S. Environmental Protection Agency, Technology Transfer Network Clearinghouse for Inventories & Emissions Factors, Research Triangle Park, North Carolina, January.
- US EPA, 2007. *Emission factors uncertainty assessment*, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Carolina, November. <http://www.epa.gov/ttnchie1/efpac/uncertainty.html>

Wark K. y C.F. Warner, 1998. *Contaminación del aire, Origen y Control*, Noriega Editores.

Legisgrafía

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente

Reglamento en materia de prevención y control de la contaminación atmosférica de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente

Reglamento en materia de registro de emisiones y transferencia de contaminantes de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente

Ley Estatal de Protección Ambiental del Estado de Veracruz

Ley Ambiental del Estado de Nuevo León

Norma Oficial Mexicana NOM-043-SEMARNAT-1993 que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas

Norma Oficial Mexicana NOM-085-SEMARNAT-1994, Contaminación atmosférica-fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos o cualquiera de sus combinaciones, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno y los requisitos y condiciones para la operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión, así como los niveles máximos permisibles de emisión de bióxido de azufre en los equipos de calentamiento directo por combustión

Norma Oficial Mexicana NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005, Especificaciones de los combustibles fósiles para la protección ambiental

NMX-AA-010-SCFI-2001, Contaminación atmosférica-fuentes fijas-determinación de la emisión de partículas contenidas en los gases que fluyen por un conducto-método isocinético

NMX-AA-54 Contaminación atmosférica-Determinación del contenido de hu-

medad en los gases que fluyen por un conducto. Determinación gravimétrica

ANEXO 1 Criterios para la identificación de fuentes fijas por jurisdicción

El marco legal mexicano en materia de medioambiente se encuentra en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), que tiene sustento en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y se complementa con las disposiciones establecidas tanto en otras leyes generales como en los reglamentos y normas oficiales mexicana, así como en la legislación ambiental de cada una de las entidades federativas y los instrumentos legales municipales.

Estos instrumentos prevén claramente la competencia y responsabilidad de la autoridad federal y la competencia y responsabilidad de los gobiernos de cada una de las entidades federativas, así como de los municipios. Con base en esta delimitación de funciones, se sabe que existen fuentes de emisión de jurisdicción federal, fuentes de emisión de jurisdicción estatal y fuentes de emisión de jurisdicción municipal.

La LGEEPA especifica 11 sectores industriales de jurisdicción federal, cuyas actividades y emisiones están reguladas por la autoridad federal. Así, son consideradas fuentes fijas de jurisdicción federal aquellas instalaciones industriales cuyas actividades correspondan a los siguientes giros o sectores (art. 111-bis de la LGEEPA):

- Química
- Petróleo y petroquímica
- Pinturas y tintas
- Automotriz
- Celulosa y papel
- Metalúrgica
- Vidrio
- Generación de energía eléctrica
- Asbesto
- Cementera y calera

- Tratamiento de residuos peligrosos

El reglamento de esta ley en materia de prevención y control de la contaminación atmosférica especifica los subsectores que se considerarán de jurisdicción federal. También establece que serán de jurisdicción federal las instalaciones, obras o actividades industriales, comerciales y de servicios que realicen las dependencias y entidades de la administración pública federal, así como la industria del asbesto y aquellas que por su complejidad requieran la intervención federal, entre otras (arts. 11 y 17 bis del reglamento de la LGEEPA en materia de prevención y control de la contaminación atmosférica).

El resto de los establecimientos industriales son, por exclusión, considerados fuentes fijas de jurisdicción estatal, tal como lo establecen la LGEEPA y el reglamento citado (art. 7 de la LGEEPA).

Por ejemplo, en el INEM 1999 se consideraron fuentes fijas de jurisdicción estatal los siguientes establecimientos y giros industriales (INECC-SEMARNAT, 2006):

- Productos agrícolas y alimenticios
- Productos de madera y derivados
- Bebidas y tabaco
- Productos minerales no metálicos (excepto cemento, cal y yeso, que pertenecen a la jurisdicción federal)
- Textiles y curtido de pieles
- Ingenios azucareros
- Manufactura de cerámica y productos de barro
- Recubrimiento industrial de superficies y operaciones de pintura industrial

Las fuentes fijas de jurisdicción municipal, por su parte, se refieren a los establecimientos mercantiles y de servicios ubicados en el territorio del municipio (art. 8 de la LGEEPA), como por ejemplo:

- Hospitales
- Hoteles
- Panaderías
- Baños públicos
- Tintorerías
- Lavanderías
- Talleres mecánicos automotrices

Sin embargo, algunas de estas fuentes de emisión, como las panaderías, tintorerías, estaciones de servicio, etc., se incluyen en el inventario de emisiones de fuentes de área. Ante esto, es indispensable asegurarse de tener un control estricto de la distinción entre fuentes fijas y fuentes de área para evitar el doble conteo de emisiones; para esto es recomendable considerar los criterios mencionados en la sección anterior y los mecanismos de control sugeridos en la sección 2.3.

Una vez que se ha establecido lo que se considerará fuente fija y se ha determinado la jurisdicción, es más sencillo localizar las posibles fuentes de información de cada fuente a inventariar. Existen diferentes documentos que se encuentran en poder de diversas autoridades, dependiendo de la jurisdicción de la fuente de que se trate, que pueden proveer información útil para la estimación.

A continuación se mencionan los documentos utilizados más comúnmente para obtener información de las fuentes fijas de acuerdo con su jurisdicción.

ANEXO 2 Fuentes de información de acuerdo con la jurisdicción a la que pertenecen las fuentes fijas

Para fuentes fijas de jurisdicción federal

En el ámbito federal, la *licencia ambiental única* (LAU) es el instrumento de regulación directa para el sector industrial. Entre sus principales características destaca que es única para cada establecimiento industrial y reúne los requisitos, trámites y autorizaciones de impacto ambiental y riesgo, de emisiones a la atmósfera, de generación de residuos peligrosos y de servicios hidráulicos. Así mismo, esta licencia se otorga una sola vez y en forma definitiva, aunque debe renovarse si la instalación cambia de ubicación o de giro industrial, o cuando se hacen modificaciones al proceso original que cambiarán las condiciones originales de descarga o emisiones de la instalación (SEMARNAT, 2009a).

Como fuente de información sobre instalaciones emisoras federales, la LAU nos permite conocer datos generales sobre ubicación, operación y funcionamiento de los establecimientos industriales. Estos datos son útiles al momento de realizar una estimación de emisiones de fuentes fijas en una zona determinada.

Por otro lado, la *cédula de operación anual* (COA) es, como su nombre lo indica, el instrumento que contiene el reporte anual relativo a la emisión y transferencia de contaminantes ocurrido en el año calendario anterior. La COA solicita al usuario llenar información sobre las secciones siguientes (SEMARNAT, 2009b):

- Información técnica general
- Generación de contaminantes a la atmósfera
- Uso y descargas de agua
- Generación, manejo y transferencia de residuos peligrosos
- Emisiones y transferencia de contaminantes

De esta manera, como fuente de información, la COA puede proveer al desarrollador del inventario de datos sobre cantidades de emisiones a la atmósfera, descargas de agua, generación de residuos y sustancias tóxicas que ocurrieron como resultado de la operación de la instalación. Además, puede ser posible encontrar información más detallada sobre la fuente de emisiones y su actividad, así como de sus equipos de combustión, sus procesos, y del equipo de control de emisiones con que cuenta.

Existen otras fuentes de información adicionales que proporcionan datos útiles durante el desarrollo de un inventario de emisiones de fuentes fijas. Dichas fuentes de información pueden ser los reportes de cumplimiento de NOM, cuestionarios, encuestas, datos estadísticos o históricos, entre otras, y se encuentran documentadas con mayor detalle en la sección 3.2.

Para fuentes fijas de jurisdicción local

Como se dijo anteriormente, corresponde a las entidades federativas y a los municipios el control y la prevención de la contaminación atmosférica proveniente de establecimientos industriales, mercantiles y de servicios que no se consideren federales. Para ello, cada entidad cuenta con su respectiva legislación y regulación en esta materia, y establece los instrumentos y herramientas que se utilizan en su jurisdicción para el registro de su operación y el control de sus emisiones.

Prácticamente en cada entidad se cuenta con una figura similar a la LAU y la COA utilizadas en el ámbito federal; sin embargo, es posible que entre entidades existan diferencias en las características y el formato, e incluso en los nombres de estos instrumentos de reporte y recopilación de datos sobre las fuentes fijas y su actividad. A continuación se presenta un par de casos a manera de ejemplo.

En el estado de Veracruz, la Ley Estatal de Protección Ambiental establece que todas las fuentes fijas de competencia estatal requerirán de una licencia ambiental de funcionamiento (art. 134 de la LEPA). Además de la licencia de funcionamiento, en el estado de Veracruz existe una herramienta de reporte periódico denominada cédula estatal de operación anual. El tipo de información que recopilan estas herramientas respecto a las industrias de jurisdicción estatal es similar al caso federal; se incluyen datos sobre emisiones de contaminantes atmosféricos normados, descargas y transferencia de contaminantes en el agua, así como de generación, manejo y transferencia de residuos sólidos urbanos y de manejo especial, entre otros, del año inmediato anterior. Los formatos para dar cumplimiento a estas obligaciones estatales están disponibles en Internet, y la información contenida en estos documentos es resguardada por la Secretaría de Desarrollo Social y Medio Ambiente del Estado de Veracruz, a través de la Coordinación General de Medio Ambiente.

En el estado de Nuevo León, la Ley Ambiental del estado establece que las fuentes fijas de competencia estatal requerirán de una licencia de funcionamiento

(arts. 138 de la LAE). Así mismo, la vigencia de dicha licencia se renueva con la presentación de una cédula de operación anual durante el mes de abril de cada año (art. 139 y 140 del reglamento de la LAE). Nuevamente, la información recopilada es similar a la exigida a nivel federal, o por otros estados, y es resguardada por la Agencia de Protección al Medio Ambiente y Recursos Naturales de Nuevo León.

En los dos ejemplos anteriores hemos visto cómo los estados dan seguimiento a las actividades industriales de su jurisdicción; sin embargo, aun cuando se tenga clara esta jurisdicción, es necesario tener presente que algunos gobiernos estatales han suscrito convenios con autoridades municipales con el objeto de delegarles algunas de las actividades propias de la gestión de la calidad del aire. Estas actividades pueden incluir facultades para otorgar permisos, registrar emisiones a través de cédulas de reporte e inspeccionar las fuentes fijas de jurisdicción estatal. Por tanto, existe la posibilidad de que la información relativa a una fuente fija de jurisdicción estatal se encuentre en poder de la autoridad del municipio donde se ubica dicha fuente.

ANEXO 3 Ejemplo de los campos relevantes que contiene una cédula de operación anual para la elaboración de un inventario de emisiones de fuentes fijas

DATOS DE REGISTRO PARA SER LLENADO POR EL ESTABLECIMIENTO INDUSTRIAL

1) NOMBRE O RAZÓN SOCIAL DE LA EMPRESA: ELECTRIC PLANT, CICLO COMBINADO		RFC: EPCCE380634RUA
2) REGISTRO ÚNICO DE PERSONAS ACREDITADAS (RUPA) ó NÚMERO DE REGISTRO AMBIENTAL (NRA): (Ver Art. quinto transitorio del Reglamento de la LGEEPA en materia del RETC) EPAQ1809422	3) N° DE LICENCIA AMBIENTAL ÚNICA: ó	4) N° LICENCIA DE FUNCIONAMIENTO: LAU 02/15/089/005/2000
5) PRINCIPAL ACTIVIDAD PRODUCTIVA DEL ESTABLECIMIENTO: GENERACION Y TRANSMISION DE ENERGIA ELECTRICA		
6) RESPONSABLE TÉCNICO (Asignado en el establecimiento para consulta y/o aclaración de información, sólo en caso de ser diferente al Representante Legal)		
NOMBRE: JOHN DOE		Principio del formulario <input checked="" type="radio"/> Interno <input checked="" type="radio"/> Externo Final del formulario
7) NOMBRE O RAZÓN SOCIAL DEL CONSULTOR: (En el caso en que la Cédula haya sido elaborada por un consultor)	8) NOMBRE Y FIRMA DEL REPRESENTANTE LEGAL O PERSONA FÍSICA OBLIGADA JOHN DOE SMITH BAJO PROTESTA DE DECIR VERDAD declaro que la información contenida en este formato y sus anexos es fidedigna y que puede ser verificada por la SEMARNAT cuando sea requerida, que en caso de omisión o falsedad podrá invalidar el trámite y/o aplicar las sanciones correspondientes.	9) CURP DEL REPRESENTANTE LEGAL O PERSONA FÍSICA OBLIGADA JDOS370115HVRNTN03 A efecto de que la entrega de la información presentada a la Secretaría sea aceptada ésta deberá contar con la firma autógrafa del representante legal o la firma electrónica del establecimiento sujeto a reporte, de acuerdo a los artículos 15 y 16 del Reglamento de la LGEEPA en materia de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes.

10) DOMICILIO DEL ESTABLECIMIENTO			
Centro Poblado <input type="checkbox"/>	Parque o Puerto Industrial <input type="checkbox"/>	Otros <input checked="" type="checkbox"/>	Especifique parque o puerto industrial u otros: PREDIO FEDERAL
Calle (además indicar entre qué calles o punto de referencia): 560 JUÁREZ, CALIFORNIA			
No. exterior y No. interior o No. de manzana y lote: S.N.	Colonia: RÍO FRÍO	Código Postal: 15000	
Localidad (excepto D.F.): HOLLIWOOD, CALIFORNIA	Municipio o Delegación: FRESNO	Entidad Federativa: CALIFORNIA	
Teléfonos (incluir clave de larga distancia): (21)5685234125		Fax (incluir clave de larga distancia): -	
Correo (s) electrónico (s): John.doe@ep.net			
11) DOMICILIO Y OTROS MEDIOS PARA OÍR Y RECIBIR NOTIFICACIONES (Sólo en caso de ser diferente al del establecimiento)			
Entidad Federativa:			
Teléfonos (incluir clave de larga distancia):		Fax (incluir clave de larga distancia):	
Correo electrónico:			
12) UBICACIÓN GEOGRÁFICA		13) PERSONAL	14) HORAS Y SEMANAS DE TRABAJO EN PLANTA
Coordenadas UTM: X = 0 Y = 0 ZONA UTM: 0		N° total de empleados administrativos: 59 N° total de obreros en planta: 80	Lunes a Viernes: 24 horas/día Sábado: 24 horas/día Domingo: 24 horas/día Semanas / año: 52
Coordenadas Geográficas:			
Latitud Norte: 30 Grados 23 Minutos 0 Segundos	ALTITUD: 1500 Metros sobre el nivel del mar		
Longitud Oeste: 102 Grados 50 Minutos 0 Segundos			
Indicar las coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) ó geográficas. Para mayor información de coordenadas cartográficas UTM y Zona UTM consultar el Capítulo 5 (Apartado 5.2) del Instructivo para la elaboración de la COA.			
15) FECHA DE INICIO PLANTA:		16) PARTICIPACIÓN DE CAPITAL :	
Día: 8 Mes: 5 Año: 1935	Sólo nacional <input type="checkbox"/> Mayoría nacional <input type="checkbox"/> Mayoría extranjero <input checked="" type="checkbox"/> Sólo extranjero <input type="checkbox"/>		
17) DATOS DEL ÚLTIMO CAMBIO DE NOMBRE O RAZÓN SOCIAL			
Nombre anterior :			
Día:	Mes:	Año:	RUPA ó NRA anterior :
18) CÁMARA A LA QUE PERTENECE Y NÚMERO DE REGISTRO: N.A.	19) DATOS DE LA COMPAÑÍA MATRIZ O CORPORATIVO		20) NÚMERO DUN AND BRAD-STREET DEL ESTABLECIMIENTO.
	Nombre:		Sólo en caso de contar con este número (para mayor información consultar el Apartado 5.3 del Instructivo para la elaboración de la COA).
	Ubicación País:	Estado o Provincia:	
	Número:		

SECCIÓN I. INFORMACIÓN TÉCNICA GENERAL

En esta primera sección se solicita toda aquella información relacionada con el proceso: insumos, productos y subproductos, así como el consumo energético del establecimiento industrial. Incluye el diagrama de funcionamiento, información esencial para la vinculación, comprensión y validación de los datos en las diferentes secciones de la Cédula de Operación Anual (emisiones y transferencias de sustancias al aire, agua, suelo y subsuelo, de residuos peligrosos y de aguas residuales descargadas en cuerpos receptores que sean aguas nacionales), que se integrarán a la base de datos del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes.

1.1 OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO

Elabore y presente el o los *Diagramas de funcionamiento* y la *Tabla resumen* siguiendo para su elaboración el ejemplo incluido en el Capítulo 3 del Instructivo para la elaboración de la COA, lo que le permitirá visualizar la información solicitada en las diferentes secciones. Los Diagramas de funcionamiento y la Tabla resumen deberán incluir todos los pasos de la producción y servicios auxiliares dentro del establecimiento, identificando gráficamente el uso de insumos y agua, consumo de combustibles, emisiones a la atmósfera, descargas de agua, generación de residuos peligrosos, pérdida de energía y transferencia de aguas residuales y residuos tomando en cuenta la siguiente simbología: (Ver Capítulo 3 del Instructivo para la elaboración de la COA).

No. del Diagrama	Nombre del equipo, maquinaria, actividad u operación sujeto a norma	ENTRADA			SALIDA				TRANSFERENCIA		
		Entrada de insumo	Consumo de Combustible	Uso de Agua	Emisión al Aire	Descarga de agua Residual	Generación de Residuos Peligrosos	Generación de Residuos Sólidos	Liberación de Energía	Total	Parcial
1. Gen. de Energía 2 Turbinas de Gas y 1 de Vapor Paquete Sur											
1.1	Turbina de gas (1)	X	X			X					X
1.1.0	Torre de Enfriamiento Paquete Sur	X		X		X			X		X
1.2	Generador Eléctrico (1)										
1.2.1	PRODUCCION Energía Eléctrica										
1.3	Turbina de Gas (2)	X	X				X				X
1.4	Generador Eléctrico (2)										
1.4.1	PRODUCCION Energía Eléctrica										
1.5	Planta de Tratamiento Agua Desmineraliza	X		X		X					X
1.6	Generador de Vapor Recuperador (1)	X	X	X					X		
1.6.7.1	Turbina de Vapor (3)										
1.7	Generador de Vapor Recuperador (2)	X	X	X					X		
1.8	Generador Eléctrico (3)										
1.8.1	PRODUCCION Energía Eléctrica										
1.9	Condensador+										X
2. Gen. de Energía 2 Turbinas de Gas y 1 de Vapor Paquete Norte											
2.1	Turbina de Gas (4)	X	X				X				X
2.2	Generador Eléctrico (4)										
2.2.1	Energía Eléctrica PRODUCCION										
2.3	Turbina de Gas (5)	X	X				X				X
2.4	Generador Eléctrico (5)										
2.4.1	Energía Eléctrica PRODUCCION										
2.5	Generador de Vapor Recuperador (4)	X		X					X		
2.5.6.1	Turbina de Vapor (6)										
2.6	Generador de Vapor Recuperador (5)	X	X	X					X		
2.7	Generador Eléctrico (6)										
2.7.1	Energía Eléctrica										
2.8	Condensador (6)										X
2.9	Torre de Enfriamiento Paquete Norte	X		X			X		X		X
3. Servicios Auxiliares y Administrativos											
3.1	Servicios Administrativos			X		X				X	
3.2	Comedor			X		X				X	
3.3	Baños			X		X					
3.4	Mantenimiento MECANICO-ELECTRICO			X		X				X	
3.5	Almacen Temporal de Residuos Peligrosos										

1.2 INSUMOS . Incluyen todos los involucrados en el proceso y servicios auxiliares. No se considera en esta tabla el consumo anual de combustibles para uso energético.

Insumos involucrados en	Nombre 4			Punto de Consumo 5	Estado Físico 6	Forma de Almacenamiento 7	Consumo anual	
	Comercial	Químico	Nº CAS				Cantidad	Unidad 8
Proceso	Gas Natural	Metano	74-82-8	1.1	GP	OF:Ducto de Petrogas	206862953	m3
		Metano	74-82-8	1.3	GP	OF:Ducto de Petrogas	198092855	m3
		Metano	74-82-8	2.1	GP	OF:Ducto de Petrogas	214568009	m3
		Metano	74-82-8	2.3	GP	OF:Ducto de Petrogas	184009847	m3
	Hidrazina	Hidrazina	302-01-2	1.6	LA	CM	87	kg
		Hidrazina	302-01-2	1.7	LA	CM	87	kg
		Hidrazina	302-01-2	2.5	LA	CM	68	kg
		Hidrazina	302-01-2	2.6	LA	CM	68	kg
	Ácido Sulfúrico	Ácido Sulfúrico	7664-93-9	1.10	LA	CM	1294987	kg
	Ácido Sulfúrico	7664-93-9	2.9	LA	CM	1494986	kg	
Servicios Auxiliares								

- 1 Proceso productivo para generar un bien o servicio, o en su caso, proceso de manejo de residuos peligrosos o procesos de tratamiento de agua residual (en estos dos últimos casos, cuando sea la actividad principal).
- 2 Indicar las sustancias químicas, compuestos y combustibles que se utilicen en el proceso como materia prima.
- 3 Actividades o equipos que son auxiliares para el proceso productivo, por ejemplo: calderas, sistemas de enfriamiento, baños, cocinas, mantenimiento, montacargas, entre otros.
- 4 Proporcionar el nombre comercial y químico de los insumos empleados. Cuando se trate de sustancias puras proporcionar el número CAS (Chemical Abstract Service), cuando no aplique indicar NA o cuando no exista información disponible indicar ND.
- 5 Anotar el número que aparece en los Diagramas de funcionamiento y en la Tabla resumen, correspondiente al punto (equipo, proceso, etc.) en el cual se consume el insumo que se reporta.
- 6 Indicar si es gaseoso (GP), líquido no acuoso (LN), líquido acuoso, (LA), sólido (S) o semisólido (SS).
- 7 Indicar si el tipo de almacenamiento es a granel bajo techo (GT), a granel a la intemperie (GI), en tambor metálico (TAM), en tanque metálico (TAN), en bolsa de plástico (BP), en contenedor de plástico (CP), en contenedores de cartón (CC) u otras formas (OF), especifique. Si es el caso indicar más de una clave.
- 8 El consumo anual se reportará en unidades de masa: mg/año (miligramos/año), g/año (gramos/año), kg/año (kilogramos/año), t/año (toneladas métricas/año) o lb/año (libras/año), o de volumen: L/año (litros/año), gal/año (galones/año), brl/año (barriles/año), m³/año (metros cúbicos/año) o ft³/año (pies cúbicos/año).

1.3 PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS. (No incluye subproductos y combustibles formulados que se produjeron y se consumieron en la misma planta)

Nombre del producto o subproducto	Nombre Químico 1	Estado Físico 2	Forma de Almacenamiento 3	Capacidad de producción instalada 4	Producción anual	
					Cantidad	Unidad 5
Energía Eléctrica	Energía Eléctrica	EE	OF: Líneas de Transmisión	489	3570390415	MWhr

1 Si cuenta con el nombre químico del producto o subproducto reportarlo. En caso de no aplicar indicar NA o cuando no exista información disponible indicar ND.

2 Indicar si el producto o subproducto es gaseoso (GP), líquido no acuoso (LN), líquido acuoso (LA), sólido (S) o semisólido (SS).

3 Indicar si el tipo de almacenamiento es a granel bajo techo (GT), en contenedor metálico (CM), en bolsa de plástico (BP), en contenedor de plástico (CP), en contenedores de cartón (CC) u otras formas (OF), especificarlo en el mismo espacio. Si es el caso indicar más de una clave.

4 Indicar la capacidad de producción de la planta en las mismas unidades en que se reporta la producción anual.

5 La producción anual se reportará en unidades de masa: mg/año (miligramos/año), g/año (gramos/año), kg/año (kilogramos/año), t/año (toneladas métricas/año) o lb/año (libras/año); unidades de volumen: L/año (litros/año), gal/año (galones/año), brl/año (barriles/año), m³/año (metros cúbicos/año), ft³/año (pies cúbicos/año); o unidades/año o piezas/año.

1.4 CONSUMO ENERGÉTICO

1.4.1 Consumo anual de combustibles para uso energético.

Área de consumo	Tipo de Combustible 1	Contenido de azufre en combustible 3	Consumo anual	
			Cantidad	Unidad 2
Proceso Productivo	GN		594707149	m ³

1 Indicar si el combustible empleado es gas natural (GN), gas LP (LP), combustóleo pesado (CBP), combustóleo ligero (CBL), gasóleo (GO), diáfano (DF), diesel (DI), gasolina (GA), carbón (CA), coque de carbón (CCA), coque de petróleo (CPE), bagazo (BG), celulosa (CL), madera (MA), combustibles formulados (RC), especifique cuál u otros (RO) indicando el nombre del combustible en el mismo espacio. Cuando no aplique indicar NA.

2 El consumo anual de combustible se reportará en unidades de masa: mg/año (miligramos/año), g/año (gramos/año), kg/año (kilogramos/año), t/año (toneladas métricas/año) o lb/año (libras/año), o de volumen: L/año (litros/año), gal/año (galones/año), brl/año (barriles/año), m³/año (metros cúbicos/año) o ft³/año (pies cúbicos/año).

3 Indicar el porcentaje o contenido de azufre en el combustible.

1.4.2 Consumo anual de energía eléctrica.

Consumo anual	Cantidad 1	Unidad 2
Suministro Externo	66334019	MWhr

- Indicar la cantidad del suministro externo anual de energía eléctrica. Cuando no aplique indicar NA.
- Para el consumo anual de suministro externo, autogeneración y de transferencia de energía eléctrica se emplearán unidades de: KWhr (kilowatts hora) o MWhr (megawatts hora).

SECCIÓN II. REGISTRO DE EMISIONES DE CONTAMINANTES A LA ATMÓSFERA

Las emisiones de Bióxido de azufre (SO₂), Óxidos de nitrógeno (NO_x), Partículas suspendidas totales (PST), Monóxido de carbono (CO), Bióxido de carbono (CO₂), Partículas PM 10, Hidrocarburos Totales (HCT) y Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) serán reportadas en esta sección, así como las características de la maquinaria, equipo o actividad que generó la emisión y las características de los ductos y chimeneas por donde se condujeron las emisiones. Para esta sección requerirá consultar las claves de las Tablas 4.1, 4.2 y 4.3 del catálogo de claves del Instructivo para la elaboración de la COA.

2.1 GENERACIÓN DE CONTAMINANTES A LA ATMÓSFERA (gases y/o partículas sólidas o líquidas)

2.1.1 Características de la maquinaria, equipo o actividad que genera contaminantes.

Clave del equipo maquinaria, o actividad 1	Punto de generación 2	Tiempo de operación (horas/año)	Tipo de emisión 3	Capacidad de diseño del equipo	Capacidad de operación del equipo (4a, 8)		Equipo de combustión y/o actividad que genera emisiones a la atmósfera			
				Cantidad	Cantidad	Unidad 4	Tipo de quemador	Consumo anual de combustible(s)		
								Tipo 5	Cantidad	Unidad 6
230	1.6	6794	C	0	248400	Mj/h	331	GN	206862953	m3
230	1.7	4925	C	0	248400	Mj/h	331	GN	198092855	m3
230	2.5	8100	C	0	259200	Mj/h	339	GN	214568009	m3
230	2.6	6991	C	0	259200	Mj/h	331	GN	181009847	m3

- Indicar la clave del equipo, maquinaria o actividad, en la cual se generan contaminantes atmosféricos de acuerdo a la Tabla 4.1 del catálogo de claves del Instructivo para la elaboración de la COA.
- Anotar el número de identificación de la maquinaria, equipo o actividad en que se generan contaminantes atmosféricos, el cuál debe corresponder a lo establecido en los diagramas de funcionamiento y en la Tabla resumen solicitados en el punto 1.1 Operación y Funcionamiento.
- Indicar si la emisión es conducida (C), fugitiva (F) o al aire libre (A) si es combustión a cielo abierto. Cuando la emisión es conducida se relacionará la maquinaria, equipo o actividad con la siguiente Tabla 2.1.2 en la que se solicitan las características de las chimeneas y ductos de descarga.

- 4 Indicar las unidades de la capacidad del equipo tal y como es definida por el fabricante. Cuando se trate de equipos de combustión indicar la capacidad térmica nominal del equipo en: cc (caballos caldera), MJ/hr (megajoules/hora), kcal/hr (kilocalorías/hora), BTU/hr (British Thermal Unit/hora) o lb/hr (libras de vapor/hora). En caso de no aplicar indicar NA.
 - 4a La capacidad de diseño del equipo se reportará en las mismas unidades en que se reporta la capacidad de operación del equipo.
- 5 Indicar si el consumo anual de combustible empleado es gas natural (GN), gas LP (LP), combustóleo pesado (CBP), combustóleo ligero (CBL), gasóleo (GO), diáfano (DF), diesel (DI), gasolina (GA), carbón (CA), coque de carbón (CCA), coque de petróleo (CPE), bagazo (BG), celulosa (CL), madera (MA), combustibles formulados (RC), especifique cuál u otros (RO) indicando el nombre del combustible en el mismo espacio. Cuando se utilice más de un combustible se deberá especificar tipo y cantidad de cada uno de ellos. En caso de no aplicar indicar NA.
- 6 El consumo anual se deberá reportar en unidades de masa: mg/año (miligramos/año), g/año (gramos/año), kg/año (kilogramos/año), t/año (toneladas métricas/año) o lb/año (libras/año), o de volumen: L/año (litros/año), gal/año (galones/año), brl/año (barriles/año), m³/año (metros cúbicos/año) o ft³/año (pies cúbicos/año).
- 7 El consumo anual se reportará preferentemente en unidades de masa ton/año (toneladas métricas/año) o de volumen m³/año (metros cúbicos/año). También podrá reportarse en las siguientes unidades de masa: mg/año (miligramos/año), g/año (gramos/año), kg/año (kilogramos/año) o lb/año (libras/año), o Volumen: L/año (litros/año), gal/año (galones/año), brl/año (barriles/año), o ft³/año (pies cúbicos/año).
- 8 Capacidad real de operación a la que trabajo el equipo de proceso o combustión en el año

2.1.2 Características de las chimeneas y ductos de descarga de las emisiones conducidas en la Tabla anterior 2.1.1

Ducto o chimenea 1	Punto de emisión 2	Punto(s) de generación relacionados 3	Altura 1 4 (m)	Altura 2 5 (m)	Diámetro interior o diámetro equivalente (m)	Velocidad de flujo de gases 6 (m/s)	Presión de gases (mm Hg)	Fracción seca (%)	Gasto volumétrico 6 (m ³ /min)	Temperatura de gases de salida (°C) 6
Chimenea	1.6	1.6	25.9	2.05	5.05	14.25	0	0	9589.23	116.9
Chimenea	1.7	1.7	25.9	2.05	5.05	14.58	0	0	9008.73	117.9
Chimenea	2.5	2.5	25.9	2.05	5.05	20.2	0	0	9216.79	107.6
Chimenea	2.6	2.6	25.9	2.05	5.05	16.06	0	0	9769.71	106.8

- 1 Anotar el nombre o número de identificación usado en el establecimiento para el ducto o chimenea que se reporta.
- 2 Anotar el número de identificación del ducto o chimenea del que se emiten contaminantes atmosféricos, según corresponda en los diagramas de funcionamiento.

- 3 Se deberán indicar los puntos de generación (establecidos como emisión conducida en la Tabla 2.1.1.1 de equipo, maquinaria o actividad de esta sección), asociados con cada chimenea o ducto, de tal forma que se refleje la relación de los puntos de emisión con los puntos de generación.
- 4 Altura en metros de la chimenea o ducto de emisión, medida a partir del nivel del piso.
- 5 Altura en metros de la chimenea o ducto de emisión medida después de la última perturbación.
- 6 Indicar el promedio de los resultados obtenidos de todos los monitoreos practicados en el año de reporte tomando en cuenta el promedio entre la primera y segunda corrida de cada monitoreo, a condiciones de 1 atm, 25°C y base seca. Estos datos deberán corresponder al muestreo de gases y partículas en chimenea cuando apliquen los lineamientos de la norma establecida. En los casos en que no aplique ninguna norma y/o se desconozca la velocidad de salida de los gases, el gasto volumétrico o la temperatura, y/o cuando se trate de ductos de venteo, deberá indicarse ND (no disponible) e indicará las razones en el espacio de OBSERVACIONES Y ACLARACIONES de este formato.

2.2 CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS NORMADOS. Reportar los resultados de los muestreos y análisis de acuerdo a la normatividad aplicable.

Punto de Emisión 1	Equipo o Actividad sujeto a norma 2	Norma Aplicable 2	Parámetros Normados 2	Valor Máx Permissible		Monitoreos 4						Sistema o Equipo de Control		
				Cantidad	Unidad 3	Valor Monitoreado 5				Valor Promedio 6	Unidad 7	Clave 7	Eficiencia (%) 8	Método de Cálculo de Eficiencia 9
						1	2	3	4					
1.6	230 'Recuperador de calor'	NOM-085-SEMARNAT-1994:Combustión	Nox	375	ppm	309	304	304	326	310	ppm	ON2, OC1:Celda Electroquímica	77.1	
1.7	230 'Recuperador de calor'	NOM-085-SEMARNAT-1994:Combustión	Nox	375	ppm	319	301	309	325	313	ppm	CG1, PS2, OC1:Celda Electroquímica	77.2	
2.5	230 'Recuperador de calor'	NOM-085-SEMARNAT-1994:Combustión	Nox	375	ppm	70	68	84	71	73	ppm	CG1, OC1:Celda Electroquímica	76.1	
2.6	230 'Recuperador de calor'	NOM-085-SEMARNAT-1994:Combustión	Nox	375	ppm	313	307	296	332	312	ppm	CG1, OC1:Celda Electroquímica	76.6	

- 1 Anotar el número del punto de emisión correspondiente al ducto o chimenea del que se emiten contaminantes atmosféricos, según corresponda en los diagramas de funcionamiento y la Tabla resumen solicitados.

- 2 Listar los equipos u operaciones relacionados con cada punto de emisión, según Tabla 2.1.2 de este Formato e indicar el contaminante normado que le corresponde de acuerdo a la actividad que realiza y el número de la norma vigente según se lista en la Tabla 4.2.1 del catálogo de claves del Instructivo para la elaboración de la COA.
- 3 Las unidades de reporte para cada contaminante se deberán indicar conforme a la norma correspondiente.
- 4 Deberá conservar las bitácoras de muestreo así como la documentación técnica relacionada para mostrarla en caso de que ésta sea requerida por SEMARNAT o PROFEPA. En el caso de las mediciones de los siguientes parámetros CO₂, CO, O₂, N₂ y NO_x según la NOM-085-SEMARNAT-1994 se deberá reportar el promedio del periodo muestreado. En el caso de que no estén disponibles estos datos anotar ND e indicar las razones en el espacio de OBSERVACIONES Y ACLARACIONES de este formato.
- 5 Indicar los valores de cada monitoreo practicado en el año tomando en cuenta el promedio entre la primera y segunda corrida de cada monitoreo.
- 6 Indicar el promedio de todos los monitoreos practicados en el año de reporte. Promedio de las mediciones del punto anterior.
- 7 Indique el o los sistemas y/o equipos de control de emisiones atmosféricas de acuerdo con la Tabla 4.3 del catálogo de claves del Instructivo para la elaboración de la COA. Cuando sea el caso indicar más de una clave. En los casos en que no se cuente con sistemas o equipos de control de emisiones deberá indicarse NA (no aplica) o cuando no exista información disponible indicar ND en la columna correspondiente.
- 8 Deberá reportarse el último valor calculado de la eficiencia del equipo de control correspondiente al año de reporte que se presenta. Cuando no aplique indicar NA o cuando no exista información disponible indicar ND.
- 9 Indicar si la eficiencia fue calculada por medición directa, cálculo matemático, si esta especificada por diseño u otra (indique).

2.3 EMISIONES ANUALES. El registro de las emisiones anuales que se solicitan en la siguiente tabla para cada punto de emisión, corresponden a las emisiones provenientes de la maquinaria, equipo o actividad que genera contaminantes reportados en la Tabla 2.1.1. Las emisiones de los parámetros normados deberán obtenerse a partir de la medición de emisiones de acuerdo a lo especificado en las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes. Cuando esto no aplique, las emisiones se estimarán teóricamente a través del uso de factores de emisión, balances de masa, aproximación mediante datos históricos o modelos matemáticos de emisión. Se deberá conservar la memoria de cálculo correspondiente para ponerla a disposición de SEMARNAT o PROFEPA si así se solicita. La medición de parámetros normados deberá realizarse después del sistema o equipo de control. Es importante mencionar que esta tabla no debe de incluir información que se reportará en la sección V.

Contaminante	Punto de Emisión 1	Emisión Anual		
		Cantidad 2	Unidad 3	Método de Estimación 4
Óxidos de nitrógeno (NOx)	1.6	2446	ton	MD
	1.7	2303	ton	MD
	2.5	521	ton	MD
	2.6	1995	ton	MD
Monóxido de carbono	1.6	158.12	ton	MD
	1.7	62.71	ton	MD
	2.5	343.26	ton	MD
	2.6	274.76	ton	MD
Bióxido de carbono	1.6	334.524	ton	FE:(AP-42,3.1)
	1.7	2.756	ton	FE:(AP-42,3.1)
	2.5	292.681	ton	FE:(AP-42,3.1)
	2.6	210.37	ton	FE:(AP-42,3.1)

- 1 Anotar el número del punto de emisión correspondiente al ducto o chimenea del que se emiten contaminantes atmosféricos según corresponda a los Diagramas de funcionamiento y la Tabla resumen solicitados.
- 2 Anotar la cantidad anual del contaminante emitido.
- 3 La emisión anual se reportará preferentemente en toneladas métricas/ año (ton/año). Sin embargo también podrá reportarse utilizando las siguientes unidades de masa: mg/año (miligramos/año), g/año (gramos/año), kg/año (kilogramos/año) o lb/año (libras/año).
- 4 Anotar si el método que se empleó para obtener la cantidad total anual emitida fue: medición directa (MD), balance de materiales (BM), aproximación mediante datos históricos (DH), factores de emisión (FE), cálculos de ingeniería (CI), modelos matemáticos (MM) u otros (OM), especificándolo en el mismo espacio. Deberá conservar las memorias de cálculo, así como la documentación técnica relacionada para mostrarla en caso de que ésta sea requerida por SEMARNAT o PROFEPA. Para el uso de factores de emisión indicar las referencias y para modelos matemáticos indicar el nombre y la versión en la misma columna del método de estimación.
- 5 Para el cálculo de CO₂, HCT y COVs, se recomienda utilizar los factores de emisión del AP-42 del documento "Air Chief" de la Environmental Protection Agency de Estado Unidos. Para mayor información consultar: www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html
- 6 Reportar la emisión de hidrocarburos totales (metánicos y no metánicos) emitidos a la atmósfera por equipos de combustión. Las emisiones de hidrocarburos en procesos que no involucren equipos de combustión deberán reportarse como compuestos orgánicos volátiles.
- 7 Si la industria cuenta con mediciones o estimaciones de compuestos orgánicos volátiles específicos del listado del RETC publicado por la SEMARNAT, deberá reportarlos por sustancia en la sección V de este formato (Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes).
- 8 Esta información podrá reportarla de manera opcional en esta Tabla.

9. Para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero, que no se encuentren Normados, se deberá emplear los factores de emisión del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) para los Inventarios Nacionales de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.htm> y/o las herramientas de cálculo de la Iniciativa del Protocolo de GEI del WRI/WBCSD <http://www.ghgprotocol.org/templates/GHG5/layout.asp?type=p&MenuId=OTAx>.

(Footnotes)

- 1 Dry standard cubic feet per minute, esto es: pies cúbicos por minuto secos estándar.
- 2 Industria de fabricación de productos químicos orgánicos sintéticos.

Guía metodológica para la estimación de emisiones de fuentes fijas
El tiraje consta de 300 ejemplares y se terminó de imprimir en 2013,
en los talleres de Punto Final Gráficos S.A. de C.V. ubicados en
Alfredo Nobel 37, Col. Puente de Vigas Tlalnepantla
CP 57090, Estado de México.

En 2005 las fuentes fijas contribuyeron con el 91.3 % de las emisiones de SO₂ y aproximadamente con el 30 % tanto de las partículas PM₁₀ como de las PM_{2.5} (SEMARNAT, 2011). Las emisiones de los contaminantes atmosféricos implican importantes efectos en la salud de la población y de los ecosistemas, que a su vez representan importantes costos sociales para el país. En México se estima que 14 734 personas murieron prematuramente en 2008 a causa de la exposición a la contaminación atmosférica en exteriores (Organización Mundial de la Salud, 2013).

El primer paso para aminorar este problema es cuantificar las emisiones que se liberan a la atmósfera e identificar su origen; para este fin se requiere de la aplicación de técnicas precisas y del uso de la mejor información disponible a fin de dar mayor certidumbre a las acciones contenidas en los programas de mejoramiento de la calidad del aire que elaboran coordinadamente las autoridades ambientales de los gobiernos federal y local.

La presente guía proporciona información sobre las metodologías para estimar emisiones provenientes de fuentes fijas (instalaciones industriales, comerciales o de servicios) con un enfoque orientado a las condiciones mexicanas sobre las fuentes de información disponibles y de las diversas técnicas de estimación de emisiones. En este sentido, este documento está organizado en capítulos, los cuales describen con detalle cada una de las etapas para elaborar un inventario de emisiones de fuentes fijas:

1. Planeación de un inventario
2. Identificación de las fuentes fijas
3. Recopilación de la información
4. Técnicas de estimación de emisiones
5. Evaluación del inventario
6. Reporte de resultados

Cada uno de estos pasos comprende a su vez una serie de consideraciones técnicas y de control y aseguramiento de la calidad (A y CC) que es importante tener en cuenta.

Este es uno más de los productos que el INECC desarrolla sobre el tema de fortalecimiento de capacidades para la elaboración de inventarios de emisiones de contaminantes del aire y que forma parte del esfuerzo continuo que realiza la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Para consultas diríjase a la dirección de Internet: <http://ine.gob.mx/dica>.